

CAMILA ROSAL

**Estrutura e dinâmica da comunidade
fitoplanctônica de quatro reservatórios com
diferentes graus de trofia,
Bacia do Alto Tietê, SP, Brasil**

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da
Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo,
como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do
título de MESTRE em BIODIVERSIDADE
VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de
Concentração de Plantas Avasculares e fungos em
Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2014

CAMILA ROSAL

**Estrutura e dinâmica da comunidade
fitoplanctônica de quatro reservatórios com
diferentes graus de trofia,
Bacia do Alto Tietê, SP, Brasil**

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da
Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo,
como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do
título de MESTRE em BIODIVERSIDADE
VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de
Concentração de Plantas Avasculares e fungos em
Análises Ambientais.

ORIENTADORA: DRA. ANDRÉA TUCCI

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

Rosal, Camila

R788e Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica de quatro reservatórios com diferentes graus de trofia, Bacia do Alto Tietê, SP, Brasil / Camila Rosal -- São Paulo, 2014. 97 p. il.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2014
Bibliografia.

1. Algas. 2. Cyanobacteria. 3. Grupos funcionais. I. Título

CDU: 582.26

Aos meus pais, João e Tercilia;
meus irmãos, Diego e Pedro;
meu amor, Jonatas;
por todo carinho, amor, apoio e compreensão.

Dedico.

*“Às vezes ouço passar o vento
e só de ouvir o vento passar,
vale a pena ter nascido.”*

Fernando Pessoa

*“Das Utopias
Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!”*

Mario Quintana

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Universo, às forças que o regem, ao mistério e delicadeza dos seres que o habitam, às inúmeras e diversas formas, cores, texturas, cheiros, elementos e tantas outras particularidades que o formam. Obrigada por ser tão imensurável, complexo e fascinante!

Agradeço aos meus pais, João e Tercilia, pelos quais tenho profunda admiração e respeito, sou e serei eternamente grata por todo apoio, carinho, amor e paciência em cada etapa de minha vida. Obrigada por serem tão especiais, por terem me ensinado a nunca desistir e a sempre “tomar as rédeas” dessa vida. Espero ter herdado, junto com alguns genes, parte de suas incontáveis qualidades. Agradeço aos meus irmãos Diego e Pedro, que sempre estiveram ao meu lado, escutando meus lamentos e risadas, obrigada pela linda família que formamos. Não sei o que seria de mim sem vocês quatro, amo incondicionalmente.

À Dra. Andréa Tucci, querida orientadora nesse início de jornada científica, que me aceitou como aluna de mestrado. Pelos ensinamentos sobre taxonomia, ecologia e os “encantos do mundo ficológico”. Pela oportunidade de realização de um grande sonho, pelas risadas, conversas, por toda compreensão, incentivo, apoio e amizade, muito obrigada!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de mestrado concedida (Processo nº 131835/2012-2).

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pela oportunidade de imenso aprendizado e aos professores das disciplinas cursadas no Instituto de Botânica pelos tão valiosos ensinamentos científicos sem os quais seria impossível a realização deste trabalho.

Às pesquisadoras Dra. Célia Leite Sant’Anna, Dra. Ilka Schincariol Vercellino e Dra. Maria do Carmo Carvalho, pelas valiosas contribuições durante o exame de qualificação, muito obrigada!

Às pesquisadoras do Núcleo de Pesquisa em Ficologia, Dra. Andréa Tucci, Dra. Célia Leite Sant’Anna, Dra. Luciana Retz de Carvalho, Dra. Diclá Pupo Santos, Dra. Silvia Maria Pitta B. Guimarães, Dra. Mutue Toyota Fujii e Dra. Nair Sumie Yokoya pelo convívio harmonioso, pela companhia nas horas de almoço e disponibilidade em ajudar, valorizando o trabalho em equipe.

Às funcionárias do Núcleo de Pesquisa em Ficologia, Neide Pozo Rios de Souza, Neuzete Martins Oliveira (“New”), Elizete Mitico Mitsugui (“Elis”) e Valdilene Maria dos Santos (“Val”), pela prontidão em seus trabalhos, amizade, risadas e convívio harmonioso.

À CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, e a toda equipe responsável pela coordenação e execução do projeto “Caracterização das Águas do Alto Tietê com relação à presença de cianobactérias/algas e toxicidade aos organismos aquáticos” ao qual este trabalho faz

parte; pela atenção e cuidados, desde a coleta das amostras até as análises limnológicas e disponibilização dos dados, em especial, Dra. Marta Condé Lamparelli e Dra. Maria do Carmo Carvalho.

Ao FEHIDRO, Fundo Estadual de Recursos Hídricos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pelo financiamento do projeto maior ao qual este trabalho faz parte, proporcionando assim, a execução do mesmo.

Aos “irmãos científicos” João Alexandre Saviolo Osti, Edna Ferreina Rosini, Denise Amazonas Pires e Natali dos Reis Moura Bento.

Ao João, muitíssimo obrigada pela paciência em me explicar as diversas PCAs, disposição a “dar uma olhadinha” no meu trabalho, contribuindo sempre com ideias, enfoques, correções e muito conhecimento, pela companhia nos cafés da tarde e várias conversas sempre animado e com muito bom humor!

À Edna agradeço por ser tão especial e humana, pela qual tenho profunda admiração e respeito, obrigada pelos ensinamentos (científicos e de vida), pelas risadas compartilhadas (de felicidade e desespero), pela bondade que você carrega em seu coração e pela verdadeira amizade!

À Denise agradeço desde o dia em que fizemos a prova de seleção para o mestrado, sempre calma e tranquila (me tranquilizou também), super divertida, me ensina muito em cada conversa que temos e também pela ajuda com o inglês. Pelas incontáveis coincidências de nossa vida, acho que não tinha como não te conhecer, obrigada!

À Natali, que mesmo tendo sido rápida a nossa convivência, foi muito especial. Obrigada pela companhia em nosso primeiro congresso “ficológico”, obrigada pelas conversas, apoio, escutar meus desabafos e aflições e principalmente pela amizade.

Aos queridos amigos Camila Malone, Fernanda Rios, Watson Arantes Jr. que sempre fizeram meus dias especiais. À Camila Malone muito obrigada pelas conversas, apoio e amizade em todos os momentos, pelas risadas e pelo seu sorriso e bom humor, sempre. À Fernanda Rios pela amizade e disponibilidade, pelas conversas e risadas, obrigada por todo o apoio e encorajamento durante a fase do exame de qualificação e por sempre estar presente! Ao querido Watson, tão inteligente e divertido, obrigada pelas dicas, orientações (índices e listas), pelas risadas, piadas, companhia e conversas! Obrigada por fazerem parte de uma fase tão especial de minha vida.

À querida Hilda Maria Palacio, que em sua rápida e intensa estada pelo Brasil, deixou trilhos de amizade verdadeira, muita alegria e bom humor, companheirismo e cumplicidade, obrigada por toda contribuição e conhecimento que nos trouxe, espero reencontrá-la em breve.

Ao Kleber Renan e Ana Livia, com os quais tive “menos” contato e tempo de convivência, mas que sempre me receberam bem, com um super sorriso e muito apoio.

Às “meninas das algas vermelhas” Mayra e Marthinha, duas pessoas mais que queridas, que sempre encheram meu dia a dia de alegria, sorrisos e “fé na humanidade”, guardo vocês em meu coração.

Às “meninas da ecologia”, Mayara e Samantha, agradeço imensamente e do fundo do meu coração a amizade, todo apoio, incentivo, disponibilidade, bate-papos, cafés, convivência e parceria durante as disciplinas. Obrigada por serem tão especiais, ter a oportunidade de conhecer vocês foi um grande presente, pessoas como vocês são raridade nesse mundo!

Ao meu amor, Jonatas Tobias, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando, “super incentivando” e compreendendo meus momentos de ausência, desespero e euforia. Obrigada por ser tão especial, pela amizade, carinho, respeito, amor e parceria, por se fazer sempre presente e sempre ter palavras de bom senso e amor. A vida sem você não seria a mesma, amor maior não há.

A todos meus amigos, colegas e familiares que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

E por fim, independentemente de sua forma e dimensão, algo que sempre me encanta, à vida.

Obrigada, obrigada e obrigada!

“...

*A tired mind become a shape-shifter,
Everybody need a soft filter,
Everybody need reverse polarity.
Everybody got mixed feelings
About the function and the form.
Everybody got to elevate from the norm*

...”

Vital Signs

Rush

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESES	6
3. OBJETIVOS.....	7
4. ÁREA DE ESTUDO.....	8
5. MATERIAL E MÉTODOS	14
5.1. Varáveis climáticas	14
5.2. Tempo de residência da água	14
5.3. Profundidade das estações de amostragens	14
5.4. Amostragem	14
5.5. Variáveis limnológicas abióticas e bióticas (clorofila <i>a</i>)	15
5.6. Índice de estado trófico (IET).....	16
5.7. Comunidade Fitoplanctônica.....	17
<i>Análise qualitativa.....</i>	<i>17</i>
<i>Estrutura de tamanho, hábito, volume celular e frequência de ocorrência da comunidade fitoplanctônica</i>	<i>19</i>
<i>Densidade Total da Comunidade Fitoplanctônica (org.mL⁻¹)</i>	<i>20</i>
<i>Biovolume da Comunidade Fitoplanctônica (mm³.L⁻¹).....</i>	<i>20</i>
<i>Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica</i>	<i>21</i>
<i>Espécies Descritoras da Comunidade.....</i>	<i>21</i>
<i>Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM).....</i>	<i>21</i>
5.8. Tratamento Estatístico.....	23
6. RESULTADOS	24
6.1. Características limnológicas dos reservatórios Taiaçupeba, Billings, Braço Taquacetuba, das Graças e Tanque Grande	24
<i>Varáveis climáticas</i>	<i>24</i>
<i>Tempo de residência da água</i>	<i>25</i>
<i>Profundidade das estações de amostragem.....</i>	<i>26</i>
<i>Varáveis limnológicas abióticas e bióticas (clorofila <i>a</i>).....</i>	<i>26</i>
6.2. Comunidade Fitoplanctônica nos reservatórios Taiaçupeba, Billings, Braço Taquacetuba, das Graças e Tanque Grande	40
<i>Composição da Comunidade Fitoplanctônica.....</i>	<i>40</i>
<i>Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica</i>	<i>46</i>
<i>Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”).....</i>	<i>51</i>
7. DISCUSSÃO.....	59
8. CONCLUSÕES	65
9. BIBLIOGRAFIA	67
10. ANEXOS	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	13
Tabela 2. Datas de coleta nas estações de amostragem dos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	15
Tabela 3. Variáveis físicas, químicas e clorofila <i>a</i> estudadas e seus respectivos métodos de análise.	15
Tabela 4. Classificação do estado trófico para reservatórios, segundo o índice de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004), de acordo com CETESB 2012.	16
Tabela 5. Listagem das amostras coletadas nos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), indicando o número de depósito no herbário, hábitat, reservatório e mês de coleta.....	18
Tabela 6. Valores da média anual (em dias) do tempo de residência da água nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) no período de Outubro 2011 a Setembro 2012.	25
Tabela 7. Variáveis limnológicas nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) no período de Outubro 2011 a Setembro 2012. As variáveis físicas e químicas estão abreviadas da seguinte forma; Temp: Temperatura da água (°C), Cond: Condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$), pH: Potencial hidrogeniônico, Secchi: Transparência (m), OD: Oxigênio dissolvido ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$), NKT: Nitrogênio Kjeldahl total ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$), PT: Fósforo total ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$), Alca: Alcalinidade ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$), DT: Dureza total ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$), Turb: Turbidez (NTU) e Clo- <i>a</i> : Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$).	37
Tabela 8. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis físicas, químicas e biológicas (Clorofila <i>a</i>) da água e os três primeiros eixos da ordenação para o período de estudo ($n=24$).	39
Tabela 9. Índice do Estado Trófico para as variáveis de clorofila <i>a</i> (IET Clo- <i>a</i>), fósforo total (IET PT), a média (IET Médio) e sua classificação no período de outubro de 2011 a Setembro de 2012, nos reservatórios: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	39
Tabela 10. Grupos taxonômicos do fitoplâncton registrados nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012, com os respectivos números de táxons.	40
Tabela 11. Táxons fitoplanctônicos registrados nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012.	41
Tabela 12. Valores de riqueza (R), dos índices de diversidade (H'), dominância (DS') e equitabilidade (J') estimados a partir da densidade ($\text{org}.\text{mL}^{-1}$) e biovolume ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$), nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012 ($n=24$).	49
Tabela 13. Espécies descritoras da comunidade fitoplanctônica, a partir do biovolume ($\text{mm}^3.\text{mL}^{-1}$), para cada reservatório estudado com suas respectivas porcentagens de contribuição (%). Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatórios Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) ($n=24$).	50

Tabela 14. Espécies descritoras a partir do biovolume ($\text{mm}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) nos reservatórios Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), Billings, das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), suas respectivas formas geométricas (FG) (cil: cilindro; esf: esfera; esfo: esferoide; cone: cone; bx retn: paralelepípedo), volume celular (μm^3), área de superfície (μm^2), razão superfície/volume (S/V), máxima dimensão linear (MDL) e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) (Grupos I, II, III, IV, V, VI e VII), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012 (n= 24).	52
Tabela 15. Coeficientes de correlação de Pearson entre os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) e os dois primeiros eixos da ordenação para o período de estudo (n= 24).	56
Tabela 16. Síntese dos resultados da Análise de Correspondência Canônica (CCA) realizada a partir de seis variáveis ambientais e sete variáveis biológicas (n= 24).	57
Tabela 17. Coeficientes canônicos e correlações “intra-set” das seis variáveis ambientais e com os eixos 1 e 2 da CCA, realizada com sete variáveis biológicas (n= 24).	58
Tabela 18. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis biológicas (Grupos Funcionais Baseados na Morfologia - MBFGs “morphological-based functional groups”) e os dois primeiros eixos da ordenação (n= 24).	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da UGRHI 6 – Alto Tietê e os pontos da Rede de Monitoramento de Água Doce da CETESB. Em destaque, as estações de amostragem nos reservatórios estudados: Reservatório Taiaçupeba (PEBA0090), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ00100), das Graças (COGR00900) e Tanque Grande (TGDE00900) (Segundo, CETESB 2012).	9
Figura 2. Imagem de satélite com a localização da estação de amostragem no Reservatório Taiaçupeba (PEBA) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo, Google Earth 2013).	10
Figura 3. Imagem de satélite com a localização estação de amostragem no Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo, Google Earth 2013).	11
Figura 4. Imagem de satélite com a localização da estação de amostragem no Reservatório das Graças (COGR) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo, Google Earth 2013).	12
Figura 5. Imagem de satélite com a localização da estação de amostragem no Reservatório Tanque Grande (TGDE) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo, Google Earth 2013).	13
Figura 6. Representação esquemática dos sete MBFGs (“morphology-based functional groups”) proposto por Kruk <i>et al.</i> (2010) incluindo uma breve descrição de sua morfologia. S área superficial, V volume (Segundo, Kruk & Segura 2012).	23
Figura 7. Médias mensais de precipitação na UGRHI 6 (Alto Tietê). A barra azul corresponde a média histórica (1879-2010) e a linha representa a média mensal no período de janeiro a dezembro de 2011. Setas: meses de amostragens deste trabalho (Segundo, CETESB 2012).	24
Figura 8. Médias mensais de precipitação na UGRHI 6 (Alto Tietê). A barra azul corresponde a média histórica (1879-2011) e a linha representa a média mensal no período de janeiro a dezembro de 2012. Setas: meses de amostragens deste trabalho (Segundo, CETESB 2013).	24
Figura 9. Variação bimestral da temperatura atmosférica (°C) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	25
Figura 10. Variação bimestral da profundidade máxima (m) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	26
Figura 11. Variação bimestral da temperatura da água (C°) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	26
Figura 12. Variação bimestral da zona eufótica (m) e da transparência da água (m) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	27
Figura 13. Variação bimestral do oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	28
Figura 14. Variação bimestral dos valores de pH nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	28

Figura 15. Variação bimestral dos valores da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	29
Figura 16. Variação bimestral dos valores da alcalinidade total (mg.L^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	29
Figura 17. Variação bimestral dos valores da turbidez (NTU) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	30
Figura 18. Variação bimestral dos valores da dureza total (mg.L^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	30
Figura 19. Variação bimestral da concentração de nitrogênio Kjeldahl total (NKT) (mg.L^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	31
Figura 20. Variação bimestral da concentração de fósforo total (PT) (mg.L^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	31
Figura 21. Variação bimestral da clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	32
Figura 22. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) e Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) no Reservatório Taiaçupeba (PEBA).	33
Figura 23. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) e Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) no Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ).	34
Figura 24. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) e Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) no Reservatório das Graças (COGR).	35
Figura 25. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) e Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) no Reservatório Tanque Grande (TGDE).	36
Figura 26. Análise dos componentes principais com base em 10 variáveis limnológicas de 24 amostragens nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). As variáveis físicas e químicas estão abreviadas da seguinte forma: ToC: Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH: Potencial hidrogeniônico, OD: Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), Cond: Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), Alca: Alcalinidade (mg.L^{-1}), Secchi: Transparência (m), Turb: Turbidez (NTU), Clo- <i>a</i> : Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$), PT: Fósforo total (mg.L^{-1}) e NKT: Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L^{-1}).	38
Figura 27. Classificação quanto à estrutura de tamanho, GALD (“Greatest Axial Linear Dimension”), da comunidade fitoplanctônica nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). Classe I ($< 10 \mu\text{m}$), Classe II ($10 - 20 \mu\text{m}$), Classe III ($20 - 50 \mu\text{m}$), Classe IV ($50 - 200 \mu\text{m}$) e Classe V ($> 200 \mu\text{m}$).	43
Figura 28. Classificação quanto ao hábito ou forma de vida da Comunidade Fitoplanctônica nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço	

Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). CF: colonial flagelado, CNF: colonial não flagelado (incluindo cenóbios), Fi: filamentosos, UF: Unicelular flagelado e UNF: unicelular não flagelado.	44
Figura 29. Classificação quanto ao volume celular (μm^3) da Comunidade Fitoplanctônica nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). Classe I ($< 100\mu\text{m}$), Classe II (>100 a $< 1.000\mu\text{m}$), Classe III (> 1.000 a $< 5.000\mu\text{m}$), Classe IV (> 5.000 a $< 10.000\mu\text{m}$) e Classe V ($> 10.000\mu\text{m}$).	45
Figura 30. Frequência de ocorrência das espécies e nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). Const: táxons constantes ($F > 80\%$), Freq: táxons frequentes ($50\% > F > 80\%$), Com: táxons comuns ($20\% > F > 50\%$) e Rar: táxons raros ($< 20\%$).	46
Figura 31. Variação bimestral nos valores de Riqueza de espécies nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	47
Figura 32. Variação bimestral nos valores de Densidade Total de organismos fitoplanctônicos (org.mL^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	47
Figura 33. Variação bimestral nos valores de Biovolume Total ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) dos organismos fitoplanctônicos nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).	48
Figura 34. Distribuição bimestral das somas dos biovolumes das espécies correspondentes aos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) (A, C, E, G) e de suas respectivas porcentagens de contribuição (B, D, F, H) para cada reservatório: A e B: Reservatório Taiaçupeba; C e D: Reservatório Billings, Braço Taquacetuba; E e F: Reservatório das Graças; G e H: Reservatório Tanque Grande.	54
Figura 35. Análise dos componentes principais com base nos sete Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) de 24 amostragens nos quatro reservatórios durante o período de estudo. As estações de amostragem foram identificadas da seguinte forma: Reservatório Taiaçupeba (PEBA) P1: outubro de 2011, P2: dezembro de 2011, P3: fevereiro de 2012, P4: abril de 2012, P5: junho de 2012 e P6: agosto de 2012; Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) B1: novembro de 2011, B2: janeiro de 2012, B3: março de 2012, B4: maio de 2012, B5: julho de 2012 e B6: setembro de 2012; Reservatório das Graças (COGR) C1: novembro de 2011, C2: fevereiro de 2012, C3: março de 2012, C4: maio de 2012, C5: julho de 2012 e C6: setembro de 2012; Reservatório Tanque Grande (TGDE) T1: novembro de 2011, T2: janeiro de 2012, T3: março de 2012, T4: maio de 2012, T5: julho de 2012 e T6: setembro de 2012. Os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) foram identificados conforme seu agrupamento: I, II, III, IV, V, VI e VII.	55
Figura 36. Ordenação “biplot”, pela ACP, das estações de amostragem e dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”): A) eixo 1 e 2, B) eixo 1 e 3. As estações de amostragem foram identificadas da seguinte forma: Reservatório Taiaçupeba (PEBA) P1: outubro de 2011, P2: dezembro de 2011, P3: fevereiro de 2012, P4: abril de 2012, P5: junho de 2012 e P6: agosto de 2012; Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) B1:	

novembro de 2011, B2: janeiro de 2012, B3: março de 2012, B4: maio de 2012, B5: julho de 2012 e B6: setembro de 2012; Reservatório das Graças (COGR) C1: novembro de 2011, C2: fevereiro de 2012, C3: março de 2012, C4: maio de 2012, C5: julho de 2012 e C6: setembro de 2012; Reservatório Tanque Grande (TGDE) T1: novembro de 2011, T2: janeiro de 2012, T3: março de 2012, T4: maio de 2012, T5: julho de 2012 e T6: setembro de 2012. As variáveis físicas e químicas estão abreviadas da seguinte forma: pH: Potencial hidrogeniônico, Turb: Turbidez (NTU), Secchi: Transparência (m), Clo-*a*: Clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$), PT: Fósforo total (mg.L^{-1}) e NKT: Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L^{-1}). Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) conforme seu agrupamento: I, II, III, IV, V, VI e VII. 57

LISTA DE ANEXOS

Anexo I. Táxons fitoplanctônicos classificados como constantes ($F\% > 80\%$) em pelo menos um dos reservatórios estudados. Reservatórios Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012 ($n= 6$). 79

RESUMO

O estudo avaliou a estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica e seus grupos funcionais baseados na morfologia (MBFGs) em quatro reservatórios destinados ao abastecimento público com diferentes graus de trofia, na bacia hidrográfica do Alto Tietê. A estação amostral de cada sistema foi localizada no ponto de captação da água para abastecimento. A amostragem foi realizada bimestralmente contemplando o período de um ano. As análises incluíram variáveis físicas, químicas e clorofila *a* da água, bem como análises qualitativas e quantitativas da comunidade fitoplanctônica. O índice de estado trófico dos sistemas estudados variou de mesotrófico a eutrófico. Reservatório Billings (Braço Taquacetuba) foi classificado como eutrófico e os reservatórios Taiaçupeba e das Graças, como mesotróficos e o reservatório Tanque Grande classificado oligo-mesotrófico. A estrutura da comunidade fitoplanctônica e seu agrupamento funcional baseado na morfologia (MBFGs) foram capazes de caracterizar e distinguir os reservatórios quanto ao estado de trofia. No reservatório Billings (Braço Taquacetuba) registrou-se os grupos III, VI e VII associados aos maiores valores de pH, turbidez, NTK e clorofila *a*. A ocorrência do Grupo III (cianobactérias filamentosas com aerótopos) foi exclusiva deste sistema. No reservatório Taiaçupeba registrou-se os grupos V e VI associados aos menores valores de turbidez, NTK e temperatura da água. A ocorrência pontual dos Grupos IV e VII diferenciou os meses de dezembro 2011 e fevereiro 2012 sendo associados à estratificação da coluna d'água e maiores concentrações de nutrientes (NTK e PT). No reservatório das Graças registraram-se os grupos IV, V e VI associados à transparência da água, estratificação da coluna d'água, baixas concentrações de NTK e águas ácidas. O conhecimento sobre a ecologia do gênero *Cosmarium* corroborou para caracterizar e distinguir este sistema através do Grupo IV, o qual apresenta grande amplitude taxonômica (Chlorococcales, Oscillatoriales, Xanthophyceae e Zygnemaphyceae). No reservatório Tanque Grande registraram-se os grupos V e VI associados aos maiores valores de turbidez e menores concentrações de NTK. A ocorrência do Grupo VI (representado exclusivamente por diatomáceas) foi comum aos quatro sistemas estudados. Portanto, conclui-se que este grupo não permitiu a diferenciação dos ambientes quanto ao grau de trofia, sendo necessária reavaliação do mesmo, uma vez que representantes deste grupo apresentam diferentes respostas ecológicas.

Palavras-chave: Billings, Cyanobacteria, Diatomáceas, Eutrófico, grupos morfo-funcionais

ABSTRACT

The study evaluated the structure and dynamics of the phytoplankton community and its Morphologically Based Functional Groups (MBFGs) in four reservoirs used for public water supply with different trophic levels, in the Alto Tietê basin. The sampling station of each system was located at the point of capture of the water supply. Sampling was conducted every two months, covering a period of one year. Analyzes included physical and chemical parameters of the water, in addition to chlorophyll *a* and phytoplankton community quantitative and qualitative identifications. The trophic state index varied from mesotrophic to eutrophic. Billings reservoir (Taquacetuba branch) was classified as eutrophic, Taiaçupeba and das Graças reservoirs classified as mesotrophic, and Tanque Grande reservoirs classified as oligo-mesotrophic. The phytoplankton community and their Morphologically Based Functional Groups (MBFGs) were able to characterize and distinguish the trophic state of each reservoir. Billings reservoir (Taquacetuba branch) registered groups III, VI and VII associated with higher values of pH, turbidity, TKN and chlorophyll *a*. The occurrence of Group III was limited to this system. Taiaçupeba reservoir registered groups V and VI associated with lower values of turbidity, water temperature and NTK. The occasional occurrence of Groups IV and VII differentiated the months of December 2011 and February 2012, being associated with thermal stratification of the water column and higher concentrations of nutrients (NTK and PT). Graças reservoir registered groups IV, V and VI associated with water transparency, thermal stratification of the water column, low concentrations of NTK and acidic waters. Prior knowledge on the ecology of *Cosmarium* confirmed to characterize and distinguish this system through the Group IV, which shows great taxonomic range (Chlorococcales, Oscillatoriales, Xanthophyceae and Zygnemaphyceae). Tanque Grande reservoir registered groups V and VI associated with higher values of turbidity and lower concentrations of NTK. Group VI (represented exclusively by diatoms) occurred in the four systems studied. Therefore, it is concluded that this group did not allow the differentiation of environments as the trophic level necessary reassessment of the same being, since representatives of this group have different ecological responses. Precluding the characterization and differentiation of the environments in terms of trophic levels.

Key words: Cyanobacteria, Diatoms, Eutrophic, morpho-functional groups, reservoir Billings

1. INTRODUÇÃO

Reservatórios são sistemas artificiais construídos em diversas partes do mundo, em condições e com dimensões variáveis, para atender às necessidades da população humana. Tais construções representam um importante impacto qualitativo e quantitativo nos principais ecossistemas de águas interiores do mundo, tendo um expressivo significado econômico, social, ecológico e hidrológico (Tundisi 1999; Espíndola 2001).

O estudo de sistemas dinâmicos como reservatórios contribuem para a compreensão de problemas básicos em ecologia, tais como, a sucessão de comunidades em sistemas que apresentam rápidas mudanças, padrões de colonização e efeitos de pulso. Estas rápidas mudanças produzem uma completa reorganização do sistema, em pouco tempo (dias ou horas) e conseqüentemente é necessário não só acompanhá-las, mas desenvolver mecanismos de previsão, importantes para um melhor aproveitamento econômico. Reservatórios são parte de uma bacia hidrográfica e, como tal, detectam todos os efeitos das atividades antropogênicas nessas bacias (Tundisi 1999).

Segundo Tundisi (1999) e Espíndola (2001), os principais impactos positivos decorrentes da construção de reservatórios são: a produção de hidroeleticidade, retenção de água, criação de sistema de baixa energia para purificação de água, recreação, turismo, aumento de reserva de água, navegação e transporte, aumento da água para abastecimento, aumento da produção de biomassa (pesca e aquicultura), regulação de enchentes, disponibilidade de água para irrigação, controle do fluxo de água, aumento da possibilidade de trabalho para a população local. Por outro lado, os principais impactos negativos são: deslocamento da população, emigração de pessoas para o local da construção, problemas de saúde pública, perda de espécies nativas, perda de áreas alagadas, perda da biodiversidade de rios, barreira para migração de peixes, efeitos na composição química da água (montante e jusante), decréscimo em fluxo de água, aumento de trióxido de enxofre (SO_3) e dióxido de carbono (CO_2) no fundo de reservatórios estratificados, perda de valores estéticos, culturais e históricos, perda de terras agricultáveis, degradação da qualidade da água, aumento dos vetores de doenças, perda de serviços ambientais. O impacto do processo de urbanização da bacia hidrográfica, juntamente com os múltiplos usos do sistema e com o período de formação do reservatório, pode resultar na eutrofização, sedimentação, perda da diversidade biológica, alteração da cadeia trófica e aumento da toxicidade.

A perda da qualidade da água em reservatórios gera deficiências no abastecimento público. Além disso, em decorrência da eutrofização artificial, a presença de florações de organismos fitoplanctônicos pode causar distúrbios nas comunidades biológicas, como mortandades de peixes, tanto pela depleção de oxigênio (no período noturno ou após o colapso da floração), como pela

presença de cianobactérias produtoras de toxinas (ex. Bouvy *et al.* 1999, Huszar *et al.* 2000, Sant'Anna *et al.* 2008, Yunes 2009).

No Brasil, a construção de reservatórios para fins de geração de energia e abastecimento atingiu seu máximo desenvolvimento nas décadas de 60 e 80. Segundo Tundisi & Barbosa (1981), duas linhas principais de investimento na construção de reservatórios podem ser identificadas, como a (1) construção de reservatórios no Sul e Sudeste com a finalidade principal de produção de energia elétrica e (2) a construção de pequenos reservatórios no Nordeste com a finalidade de produção de biomassa, abastecimento e geração de energia.

A Bacia hidrográfica do Alto Tietê, na qual está inserida a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e objeto do presente estudo, está submetida a grandes impactos por se tratar de uma área densamente povoada, na qual são desenvolvidas inúmeras atividades, resultando em baixa disponibilidade hídrica e deterioração de sua qualidade. Esta região inclui as Áreas de Proteção aos Mananciais das Sub-bacias Guarapiranga, Billings, Paiva Castro/Juqueri e Jundiaí, responsáveis pelo abastecimento de água para uma parcela significativa da população da RMSP (CETESB 2010). Dentre os impactos existentes na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê destacam-se a contribuição de esgotos domésticos que resultam em um processo acelerado de eutrofização artificial e, conseqüentemente, frequentes florações de organismos fitoplanctônicos nos rios e reservatórios da região (Sant'Anna *et al.* 2008).

O fitoplâncton é definido por Reynolds (1984) como um grupo polifilético de microrganismos fotossintetizantes (algas, cianobactérias e algumas bactérias fotossintetizantes) em suspensão nos ambientes aquáticos e sujeito ao movimento passivo provocado por ventos e correntes. Além de uma grande diversidade de espécies, há também uma ampla variedade de formas e tamanhos entre esses organismos (Reynolds 2006). O fitoplâncton é essencial para a ecologia e processos biogeoquímicos de ecossistemas continentais e marinhos, sendo base de quase todas as cadeias tróficas nos ecossistemas aquáticos (Arrigo 2005).

O crescimento excessivo dessa comunidade pode causar riscos significativos a biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas, como no caso da proliferação de cianobactérias tóxicas, como já mencionado. Conseqüentemente, há uma crescente necessidade de compreender e prever as respostas dessa comunidade às mudanças de condições ambientais, tais como alterações climáticas, o aumento de entradas de nutrientes e uso da terra devido a uma crescente pressão antrópica (Fernandes *et al.* 2009, Paerl & Huisman 2009). Uma vez que a comunidade fitoplanctônica pode afetar o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, é de extrema importância conhecer quais fatores influenciam sua dinâmica, bem como, sua estrutura, variação temporal e espacial (Crossetti *et al.* 2008a).

O estudo detalhado das interações ecológicas relacionado ao estudo da taxonomia, morfologia, fisiologia e da distribuição geográfica de organismos fitoplanctônicos pode levar a compreensão da dinâmica dos ecossistemas aquáticos (Reynolds *et al.* 1993). De acordo com Reynolds *et al.* (2002), comunidades de organismos fitoplanctônicos são mais precisos e mais confiáveis para indicar variações das condições ambientais do que a presença ou ausência de determinadas espécies; e propõe um esquema de classificação de espécies fitoplanctônicas em função das principais características adaptativas, que não são necessariamente comum a grupos filogenéticos, denominando-os de grupos funcionais.

A classificação funcional proposta por Reynolds *et al.* (2002) foi sugerida com base não só em características funcionais dos organismos, mas também sobre a gama de condições ambientais nas quais as espécies podem ocorrer e em seus padrões de coocorrência. Estes grupos são frequentemente polifiléticos, reconhecendo características adaptáveis comuns como o direcionador ecológico, em vez da filogenia. Reynolds *et al.* (2002) delinearam 31 grupos e seus padrões básicos ecológicos, posteriormente atualizado para 40 grupos funcionais, por Padisák *et al.* (2009). Embora esta classificação integre uma rica base de informações, também se baseia, em parte, em pareceres de especialistas.

Segundo Brasil & Huszar (2011), a tentativa de agrupar o fitoplâncton em categorias para compreender sua estruturação e funcionalidade em diferentes condições ambientais não é recente. Vários trabalhos foram desenvolvidos dentro dessa abordagem (Hutchinson 1967, Reynolds 1980, Reynolds *et al.* 2002, Padisák *et al.* 2009, Salmaso & Padisák 2007, Mieleitner *et al.* 2008).

Recentemente, Kruk *et al.* (2010) propuseram uma nova abordagem baseada exclusivamente na morfologia dos organismos, considerando que suas relações com a fisiologia das espécies são potencialmente bem definidas (Lewis 1976, Reynolds 1988, 1997, Naselli-Flores *et al.* 2007, Finkel *et al.* 2010). Kruk *et al.* (2010) demonstram que a classificação baseada em características morfológicas simples (exemplo: volume individual, área de superfície e comprimento máximo) podem capturar a maior parte da variabilidade das propriedades funcionais dos organismos fitoplanctônicos, sugerindo que a morfologia é um bom indicador das características funcionais das espécies.

Segundo Salmaso & Padisák (2007), as diferentes estratégias de distintos organismos fitoplanctônicos são fortemente relacionadas às dimensões e formas geométricas. Características morfológicas são elementos essenciais que influenciam taxas de sedimentação (Padisák *et al.* 2003a,b; Salmaso 2003) taxas de crescimento (Sommer 1981; Tang 1995), eficiência na utilização de nutrientes e luz (Sommer 1984; Tilzer 1984) e susceptibilidade à predação por herbívoros (Lehman 1988). Estes elementos, junto com a capacidade de regular a flutuabilidade na coluna d'água, o requerimento de recursos específicos (por exemplo, sílica) e a capacidade de obter fontes

carbono e de nutrientes alternativos, representam fortes fatores seletivos que são capazes de selecionar os melhores competidores sob diferentes restrições ambientais (Weithoff 2003).

O uso desses grupos funcionais pode ser uma eficiente ferramenta para a previsão e a síntese das relações entre o ambiente e os organismos que o habitam. Além disso, pode vir a ser a base para prever e extrapolar dados a respeito da estrutura da comunidade fitoplanctônica, favorecendo o desenvolvimento de políticas públicas para a gestão de corpos d'água, determinando prioridades e ações a serem tomadas mediante as situações mensuradas (Reynolds *et al.* 2002; Crossetti *et al.* 2008b).

Outro importante aspecto que pode influenciar a estrutura da comunidade fitoplanctônica é a quantidade de nutrientes disponíveis nos ambientes aquáticos. Índices que avaliam a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e o aumento da produtividade do sistema (crescimento excessivo de microalgas ou macrófitas aquáticas), foram desenvolvidos classificando-os em diferentes graus de trofia.

A variabilidade espaço-temporal de nutrientes pode desempenhar um importante papel na determinação da distribuição e abundância dos organismos fitoplanctônicos (Reynolds 1984, Naselli-Flores 2000, Reynolds 2006). A importância relativa da disponibilidade de nutrientes e da estrutura da cadeia trófica sobre a composição do fitoplâncton tem sido largamente reconhecida (McQueen *et al.* 1986, Mazumder & Havens 1998, Benndorf *et al.* 2002, Hunt & Matveev 2005, Romo *et al.* 2005)

Pacheco *et al.* (2010) observaram que as diferenças entre o estado trófico de cinco lagos destinados ao abastecimento público de localidades no Uruguai foram significativamente relacionados às diferenças na biomassa total e composição dos grupos funcionais baseados na morfologia do fitoplâncton proposto por Kruk *et al.* (2010). Concluem que o uso da classificação funcional do fitoplâncton com base apenas em características morfológicas foi efetivo para conseguir informações sobre a relação entre a comunidade fitoplanctônica e as variáveis ambientais nos sistemas com estados tróficos diferentes.

No Brasil, vários estudos abordaram a estrutura da comunidade fitoplanctônica em reservatórios com diferentes graus de trofia e mais recentemente os grupos funcionais em reservatórios, como por exemplo: Beyruth (1996, 2000), Beyruth *et al.* (1997), Huszar *et al.* (2000), Carvalho (2003), Silva *et al.* (2005), Moura *et al.* (2007), Borges *et al.* (2008), Crossetti & Bicudo (2008a,b), Dantas *et al.* (2008), Fonseca & Bicudo (2008, 2010), Gemelgo *et al.* (2008, 2009), Nishimura (2008), Becker *et al.* (2009a,b), Rangel *et al.* (2009), Rodrigues *et al.* (2010), Wengrat (2011), Nascimento (2012), Silva (2012), Faustino (2013), dentre muitos outros.

Brasil & Huszar (2011) estudaram a relação entre os grupos funcionais propostos por Reynolds *et al.* (2002) e os diferentes tipos de sistemas aquáticos brasileiros (estuários, rios, lagoas

costeiras, lagos de inundação, lago natural profundo e grandes reservatórios) em todas as regiões do país e concluem que esse esquema de classificação é uma potencial ferramenta para sintetizar os tipos de comunidades em ecossistemas aquáticos brasileiros, levando-se em consideração o tipo de ambiente e seu estado trófico. No entanto mencionam que ele pode apresentar algumas limitações e por isso estudos futuros em ecologia devem dar ênfase em testar outras propostas de esquemas de grupos funcionais e avaliar qual delas é mais eficiente em prever a composição da comunidade fitoplanctônica a partir das condições ambientais.

Assim, apesar da importância dos reservatórios do Sistema Alto Tietê e dos trabalhos já desenvolvidos nestes sistemas, existe muito a ser estudado, especialmente com relação à aplicação de índices ecológicos sob a comunidade fitoplanctônica e agrupamentos a partir de seus traços funcionais. Conhecer a composição da comunidade fitoplanctônica, bem como seus atributos, tais como diversidade, riqueza, dominância, conjunto de espécies descritoras e grupos funcionais vêm preencher essa lacuna e poderá fornecer subsídios para o manejo adequado e monitoramento desses sistemas.

Vale ressaltar que este trabalho é o primeiro com enfoque na comunidade fitoplanctônica através do agrupamento funcional baseado exclusivamente na morfologia (conforme proposto por Kruk *et al.* 2010) em reservatórios da bacia do Alto Tietê. Além disso, para os Reservatórios das Graças e Tanque Grande, esta é a primeira avaliação da estrutura da comunidade fitoplanctônica. Esta proposta possibilitará a melhor caracterização da qualidade ecológica dos reservatórios da Bacia do Alto Tietê, integrando informações limnológicas abióticas e a comunidade fitoplanctônica. Contribuirá, também, para o avanço do conhecimento sobre ambientes ainda protegidos (reservatórios das Graças e Tanque Grande).

Este estudo faz parte de um projeto interinstitucional, intitulado “Caracterização das Águas do Alto Tietê em Relação à Presença de Cianobactérias e Toxicidade aos Organismos Aquáticos”, coordenado pela CETESB, com colaboração do Núcleo de Pesquisa em Ficologia do Instituto de Botânica do Estado de São Paulo (SMA) e com financiamento do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), o qual abrange oito reservatórios, com 10 pontos de amostragem.

Assim, o presente trabalho justifica-se diante da relevância do estudo da estrutura da comunidade fitoplanctônica bem como de seus grupos funcionais, e a aplicação desse novo enfoque sobre índices ecológicos, tanto para aferir a biodiversidade dos grupos taxonômicos presentes nesta comunidade, bem como para auxiliar estudos de preservação e recuperação ambiental dos ambientes aquáticos.

2. HIPÓTESES

Frente às questões levantadas, é esperado que:

A dinâmica temporal das variáveis ambientais (físico-químicas) influencie a riqueza e a abundância da comunidade fitoplanctônica;

Que a estrutura da comunidade (riqueza e abundância) seja influenciada pelos diferentes estados tróficos dos reservatórios; com maiores valores de riqueza e menores abundâncias esperados para os reservatórios oligotróficos e menores riquezas e maiores abundancias nos reservatórios eutróficos;

Que os grupos funcionais baseados na morfologia (MBFGs) sejam capazes de caracterizar e distinguir os reservatórios quanto ao estado de trofia.

3. OBJETIVOS

Avaliar a dinâmica temporal das variáveis físicas, químicas e biológicas de quatro reservatórios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê;

Determinar o grau de trofia dos quatro reservatórios estudados;

Avaliar a estrutura e dinâmica temporal da comunidade fitoplanctônica nos quatro reservatórios;

Determinar as espécies descritoras da comunidade fitoplanctônica de cada sistema e associá-las aos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs);

Relacionar variáveis físicas e químicas com as espécies descritoras e seus respectivos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs).

4. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Alto Tietê corresponde a área drenada pelo rio Tietê, desde sua nascente em Salesópolis, até a barragem do reservatório de Pirapora, com extensão de 133 km (CETESB 2003). Sua área de drenagem é de 5.775 km², com grande superfície urbanizada. O índice pluviométrico da região encontra-se na faixa de 1.400 mm por ano.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI-6) engloba uma série de reservatórios, sendo que os principais existentes na bacia são: Paraitinga, Ribeirão do Campo, Ponte Nova, Biritiba-Mirim, Jundiaí, Taiaçupeba, Billings, Guarapiranga, Pirapora, Represas do Sistema Cantareira e Pedro Beicht (FABHAT 2012).

A bacia é caracterizada pela presença de atividades de uso do solo diversificadas. Possui a mais alta densidade populacional do Estado, englobando a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a maior região metropolitana do país (CETESB 2012).

A UGRHI-6 é composta por 34 municípios, com população estimada em aproximadamente 19,7 milhões de habitantes, correspondente a 47% do Estado de São Paulo e 10% da população brasileira, o que resulta em uma baixa disponibilidade hídrica por habitante. Conta com coleta de 88% do esgoto produzido e com um índice de tratamento da ordem de 54% do esgoto coletado. O abastecimento público de água nessa região envolve uma série de reservatórios entre os quais podemos citar: a Represa Billings e os Reservatórios Rio Grande e Guarapiranga (CETESB 2012). Três municípios autônomos complementam o abastecimento de seus sistemas de distribuição com sistemas próprios, Mogi das Cruzes, Guarulhos e Santo André.

Os quatro reservatórios selecionados para este estudo pertencem à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI - 6) região do Alto Tietê (Figura 1) e fazem parte da Rede de Monitoramento de Água Doce da CETESB.

Os reservatórios foram selecionados com base nas suas respectivas classificações de estado trófico.

As estações de amostragem foram selecionadas com base em 2 critérios, de mesma importância: 1) próximo à captação da água para o abastecimento público e 2) pertencente à Rede de Monitoramento de Água Doce da CETESB.

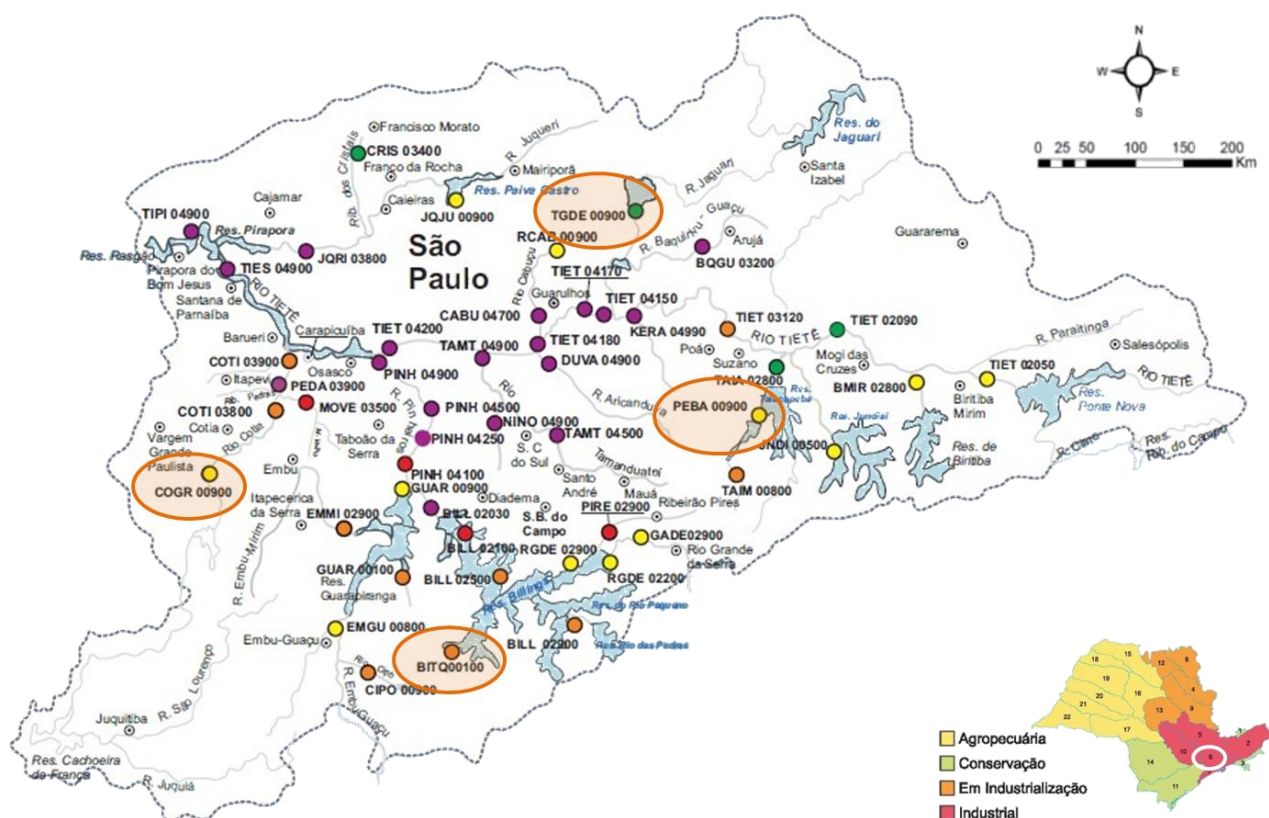


Figura 1. Mapa da UGRHI 6 – Alto Tietê e os pontos da Rede de Monitoramento de Água Doce da CETESB. Em destaque, as estações de amostragem nos reservatórios estudados: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ00100), Reservatório Taiaçupeba (PEBA0090), das Graças (COGR00900) e Tanque Grande (TGDE00900) (Segundo CETESB 2012).

O **reservatório Taiaçupeba**, faz parte do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), responsável por 15% do abastecimento de água da Região Metropolitana Leste de São Paulo. Este sistema é composto pelos reservatórios Paraitinga e Ponte Nova no município de Salesópolis, reservatório Biritiba Mirim em Biritiba Mirim, reservatório Jundiá em Mogi das Cruzes. O sistema funciona interligado, no qual a água dos reservatórios Paraitinga e Ponte Nova, localizados próximos às cabeceiras do rio Tietê, é parcialmente derivada para a Estação Elevatória de Biritiba. As águas são recalçadas até o túnel de interligação Tietê/Biritiba, onde o escoamento passa a ser por gravidade. Por meio de sistemas de canal-túnel-canais, a água é transferida para o reservatório Jundiá e posteriormente, para o reservatório Taiaçupeba, onde é feita a captação e o tratamento (DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica).

A estação de amostragem (PEBA00900) localiza-se junto à captação de água da SABESP, entre as coordenadas 23° 34' 45" S e 46° 17' 18" W, no município de Suzano (Figura 2). Conforme relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo (CETESB 2008, 2009, 2010), em 2008 foi classificado como oligotrófico e como mesotrófico em 2009 e 2010, com baixas densidades de organismos fitoplânctônicos.



Figura 2. Imagem de satélite com a localização da estação de amostragem no Reservatório Taiaçupeba (PEBA) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo Google Earth 2013).

O **reservatório Billings** é o maior reservatório de água da Região Metropolitana de São Paulo. Seu espelho d'água possui 10.814,20 hectares, correspondendo a 18% da área total de sua bacia hidrográfica, que ocupa um território de 582,8 km², localizado na porção sudeste da Região Metropolitana de São Paulo, fazendo limite, a oeste, com a Bacia Hidrográfica da Guarapiranga e, ao sul, com a Serra do Mar. Sua área de drenagem abrange integralmente o município de Rio Grande da Serra e parcialmente os municípios de Diadema, Ribeirão Pires, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo (Capobianco & Whately 2002).

Esse reservatório atua como elemento regularizador das descargas de sua bacia contribuinte e das descargas do rio Tietê, o qual recebe água do rio Pinheiros (CETESB 2000). Portanto, atualmente, a qualidade da água desse reservatório está severamente comprometida, o que tem afetado seriamente os diferentes usos desse sistema (CETESB 1993). Com a escassez de água para abastecimento da RMSP no período de estiagem, desde 2000 está autorizada por meio de Licenciamento Ambiental a transposição de 2 m³.s⁻¹ de água do braço do Taquacetuba, para o reservatório Guarapiranga.

A estação de amostragem “Reservatório Billings, Braço do Taquacetuba” (BITQ00100) localiza-se na baía situada no final da Rua Tomekichi Inouye (captação da SABESP), entre as coordenadas 23° 50' 41'' S e 46° 39' 20'' W, no município de São Paulo (Figura 3). Conforme relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo, esta estação foi classificada como mesotrófica em 2008 e 2009 e eutrófica em 2010 (CETESB 2008, 2009 e 2010), apresentando alta densidade de organismos fitoplanctônicos e dominância de cianobactérias.



Figura 3. Imagem de satélite com a localização estação de amostragem no Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo Google Earth 2013).

O **reservatório das Graças** (ou Cachoeira da Graça) faz parte do sistema Alto Cotia, é responsável por 3,5% da água tratada na Grande São Paulo. Formado pelo rio Cotia, pelo canal que recebe as águas da represa Pedro Beicht e pelo rio Nossa Senhora das Graças, possui uma área de $0,2 \text{ km}^2$, capacidade de armazenar $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ e vazão média de $0,52 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Este reservatório foi construído em 1916 e atualmente, junto com a represa Pedro Beicht, abastece meio milhão de habitantes das cidades de Cotia, Embu, Itapeverica da Serra e Embu-Guaçu. Quanto ao uso e ocupação do solo, este reservatório está inserido em área da Reserva Florestal Morro Grande (inserida como área núcleo da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo). Entretanto, a integridade da floresta está ameaçada pelas atividades de caça, pesca e especulação imobiliária inadequada, além da ligação ferroviária Mairinque-Santos, que corta a região sul da reserva (Silva 2012).

A estação de amostragem (COGR00900) localiza-se na barragem, junto à captação do Alto Cotia, entre as coordenadas $23^\circ 39' 12'' \text{ S}$ e $46^\circ 58' 03'' \text{ W}$, no município de Cotia (Figura 4). Nos últimos três anos esta estação foi classificada como mesotrófica pela CETESB (2008; 2009; 2010), apresentando baixa densidade de organismos fitoplanctônicos.

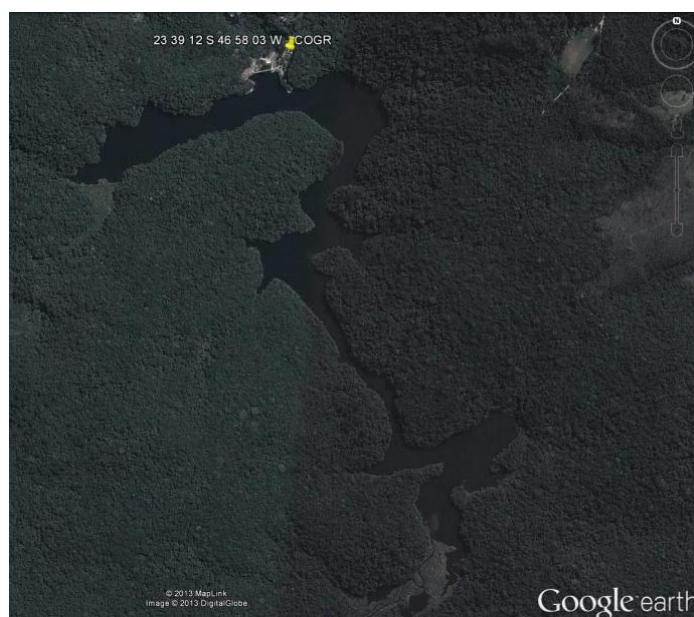


Figura 4. Imagem de satélite com a localização da estação de amostragem no Reservatório das Graças (COGR) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo Google Earth 2013).

O **reservatório Tanque Grande**, sub-região Juqueri - Cantareira está localizado na Bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, a maior bacia hidrográfica do município de Guarulhos. Apresenta as seguintes características: comprimento: 2.650 m; perímetro: 12.738,76 m; altitude máxima: 1.080 m; altitude mínima: 830 m; desnível: 250 m; largura máxima: 3.950 m; área da bacia: 774,55 ha. O Sistema Tanque Grande faz parte do Sistema Autônomo de Abastecimento do município de Guarulhos, sendo atualmente responsável por 10% do abastecimento da cidade (Oliveira *et al.* 2005).

Este reservatório foi construído em 1958 com o objetivo de fornecer água ao município de Guarulhos e sua administração foi concedida ao Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAEE) em 1989. Atualmente é utilizado para abastecimento público e diversas atividades de lazer como natação e pesca. Quanto ao uso e ocupação da microbacia relacionam-se a existência de remanescentes secundários da Mata Atlântica, reflorestamento com eucaliptos e produção agropecuária em pequena escala (Ayes 2007).

A estação de amostragem (TGDE00900) está localizada junto à barragem do reservatório, no município de Guarulhos (Figura 5) entre as coordenadas 23° 22' 38" S e 46° 27' 35" W e foi classificada como oligotrófico (CETESB 2008, 2009, 2010), com registros de baixas densidades de organismos fitoplanctônicos.



Figura 5. Imagem de satélite com a localização da estação de amostragem no Reservatório Tanque Grande (TGDE) e sua respectiva coordenada geográfica (Segundo, Google Earth 2013).

Tabela 1. Caracterização dos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

	BITQ	PEBA	COGR	TGDE
Ponto de coleta	Transposição Guarapiranga SABESP	Captação SABESP	Captação Alto Tietê	Junto à barragem
Profundidade média (m)	6,0	4,5	4,3	3,2
Tempo de residência (dias)	428	28	3	11
IET 2010	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Município (SP)	São Paulo	Suzano	Cotia	Guarulhos
População total	11.376.685	267.683	209.027	1.244.518
Ano de construção	1927	1976	1916	1958
Área de drenagem (km ²)	582	19,4	0,2	0,06

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

A precipitação pluvial foi obtida junto à Rede Pluviométrica do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) e a partir dos resultados apresentados no Relatório de Qualidade das Águas Superficiais, ano 2011 e 2012, emitido pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). A temperatura atmosférica foi obtida no momento da amostragem, com auxílio da Sonda multiparamétrica (YSI 6290V2).

5.2. TEMPO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA

Informações sobre cota operacional, vazão e volume dos reservatórios estudados para os meses de amostragem foram fornecidos pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), EMAE (Empresa Metropolitana de Águas e Energia SA) e pelo Setor de Hidrologia da CETESB. A partir destas informações, calculou-se o tempo de residência da água, que consiste na razão entre o volume de água armazenada no reservatório e sua vazão (Nogueira *et al.* 1999, Rueda 2006).

Calculado a partir da fórmula:

$T = V / Q$, onde:

T = tempo de residência (dias);

V = volume do reservatório (m³);

Q = descarga ou vazão (m³/s X 86.400s).

5.3. PROFUNDIDADE DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGENS

A profundidade das estações de amostragem foi obtida no momento de cada amostragem, com ecobatímetro instalado na própria da embarcação utilizada para coleta de amostras (ANA/CETESB 2012).

5.4. AMOSTRAGEM

As amostragens foram realizadas bimestralmente ao longo de um ano para abranger os diferentes períodos climáticos (verão, primavera, outono e inverno), tendo início em outubro de 2011 e final em setembro de 2012 (Tabela 2).

As amostragens foram realizadas pela equipe da CETESB, reconhecida como centro de excelência no Brasil e na América Latina, seguindo o Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Águas da ANA/CETESB (2012) e a Norma NBR ISO/IEC 17025.

Tabela 2. Datas de coleta nas estações de amostragem dos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

BITQ	PEBA	COGR	TGDE
03/11/11	20/10/11	09/11/11	24/11/11
03/01/12	20/12/11	01/02/12	19/01/12
21/03/12	13/02/12	08/03/12	29/03/12
14/05/12	09/04/12	30/05/12	31/05/12
04/07/12	27/06/12	03/07/12	23/07/12
05/09/12	16/08/12	04/09/12	19/09/12

5.5. VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS ABIÓTICAS E BIÓTICAS (CLOROFILA *a*)

Amostras de água foram coletadas na sub-superfície da coluna d'água, com auxílio de garrafa coletora (Van Dorn) de 7 litros para o estudo das variáveis físicas, químicas e clorofila *a*. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas aos laboratórios da CETESB, onde foram analisadas. Todas as coletas seguiram as recomendações do Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Águas da ANA/CETESB (2012) e a Norma NBR ISO/IEC 17025; seus respectivos métodos de análises estão apresentados na Tabela 3.

O perfil de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) foram obtidos a cada um metro ao longo da coluna d'água, com auxílio da sonda multiparamétrica (YSI 6290V2), previamente calibrada. Estas variáveis foram medidas antes da realização da coleta da água para as demais análises, evitando assim qualquer distúrbio na coluna d'água.

Tabela 3. Variáveis físicas, químicas e clorofila *a* estudadas e seus respectivos métodos de análise.

VARIÁVEIS	METODOLOGIA
Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$)	Sonda de Multiparâmetros (YSI 6290V2)
Transparência (m)	Disco de Secchi
Zona eufótica (m)	Secchi X 3.0 (Cole 1975 apud Esteves, 2011)
Turbidez (NTU)	Turbidimetria (Método 2130) APHA-AWWA-WEF, 2012
Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Sonda de Multiparâmetros (YSI 6290V2)
Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1})	Sonda de Multiparâmetros (YSI 6290V2)
pH	Sonda de Multiparâmetros (YSI 6290V2)
Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L^{-1})	Espectrofotometria automática com ácido isocianídrico, após digestão ácida. (Método 4500-Norg – item B) APHA-AWWA-WEF, 2012
Fósforo Total (mg.L^{-1})	Espectrometria automática com molibdato de amônia e ácido ascóbio (Método 4500-P-itens B e F) APHA-AWWA-WEF, 2012
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Norma técnica L5-306 (extração por acetona) (CETESB 1990)

5.6. ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

O Índice do Estado Trófico foi estimado mensalmente com base nos valores de clorofila *a* e fósforo total, por considerarmos que os valores de transparência nem sempre são representativos do estado de trofia, uma vez que seu valor pode ser influenciado pela turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos.

O Índice do Estado Trófico para o Fósforo Total – IET (PT) e o Índice do Estado Trófico para a Clorofila *a* – IET (CL), proposto por Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004), foram estimados de acordo com as seguintes equações:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2))$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT}) / \ln 2)), \text{ onde:}$$

PT: concentração de fósforo total medida à sub-superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

CL: concentração de clorofila *a* medida à sub-superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

ln: logaritmo natural.

O Índice do Estado Trófico Médio (IET Médio) foi obtido pela média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila *a*, segundo a equação:

$$\text{IET Médio} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2, \text{ onde:}$$

IET (PT): Índice do Estado Trófico para o Fósforo Total;

IET (CL): Índice do Estado Trófico para a Clorofila *a*.

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para reservatórios utilizados neste trabalho estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação do estado trófico para reservatórios, segundo o índice de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004), de acordo com CETESB 2012.

Classificação do Estado Trófico em Reservatórios			
Categoria (Estado Trófico)	Média	Fósforo Total P ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila <i>a</i> CL ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$P \leq 8$	$\text{CL} \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$233 < P$	$69,05 < \text{CL}$

5.7. COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

As análises qualitativas e quantitativas da comunidade fitoplanctônica foram realizadas nos laboratórios de microscopia do Núcleo de Pesquisa em Ficologia do Instituto de Botânica de São Paulo.

Análise qualitativa

Para a análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica foram coletadas amostras por meio de arrasto vertical, por toda a coluna d'água a partir de um metro do fundo, com auxílio de rede de plâncton com abertura de malha de 20 µm. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro, acondicionadas em caixas térmicas com gelo e logo após a chegada em laboratório, foram fixadas com formol com concentração final de 4-5%. Quando possível parte da amostra foi mantida viva em baixa luminosidade e temperatura, para o exame dos organismos ainda vivos.

A identificação foi feita, sempre que possível, em nível infragenérico, analisando-se as características morfológicas e morfométricas dos organismos. Para cada amostra, foram examinadas tantas lâminas quantas necessárias para avaliar uma população entre 20 a 25 indivíduos de cada táxon (no mínimo de 10 lâminas) para cada amostra. Quando indivíduos isolados apresentaram características diacríticas que concordaram com a descrição do táxon que representava, também foram identificados.

O exame morfométrico do material foi feito por meio de microscópio fotônico, Zeiss Axioplan 2, com câmara clara, retículo micrometrado e câmara fotográfica acoplados. Quando necessário, fez-se uso de luz de epifluorescência para diferenciar bacterioplâncton de cianobactérias; contraste de fase e nanquim para evidenciar bainha mucilagínosa e iodo para evidenciar grão de amido. As amostras foram examinadas em aumentos de 400 e 1.000 vezes.

Os sistemas de classificação adotados foram: Round (1971) para as classes de Chlorophyta, Round *et al.* (1990) para as Bacillariophyceae, Fragilariophyceae e Coscinodiscophyceae; Komárek & Anagnostidis (1989, 1998 e 2005) e Hoffmann *et al.* (2005) para Cyanobacteria e van den Hoek *et al.* (1995) para as demais classes.

Dentre os trabalhos especializados utilizados para identificação de gêneros e espécies destacam-se: Komárek & Fott (1983), Sant'Anna (1984), Comas (1996), Nogueira (1991), Godinho (2009), Godinho *et al.* (2010), Rodrigues *et al.* (2010), Rosini *et al.* (2012 e 2013a), Ramos *et al.* (2012) para algas verdes; Hüber-Pestalozzi (1955), Tell & Conforti (1986), Menezes (1994) para Euglenophyceae; Castro *et al.* (1991) e Menezes (1994) para Cryptophyceae; Komárková-Legnerová & Cronberg (1994), Azevedo *et al.* (1996), Azevedo & Sant'Anna (1999, 2003), Komárek & Azevedo (2000), Rosini *et al.* (2013b) e Sant'Anna *et al.* (2004) para Cyanobacteria; Ferragut *et al.* (2005), Sant'Anna *et al.* (1989), Sant'Anna *et al.* (2012), Tucci *et al.* (2006) para a

comunidade em geral. Atualizações taxonômicas foram realizadas com base nos trabalhos de An *et al.* (1999), Buchheim *et al.* (2005), Hegewald (1997, 2000), Hegewald & Hanagata (2000), Hegewald & Wolf (2003), Krienitz & Bock (2012), Krienitz *et al.* (2003).

Para as diatomáceas, foram elaboradas lâminas permanentes através do processo de oxidação com Peróxido de Hidrogênio 30%, e fixadas com resina Naphrax (índice de refração = 1,87) (Comitê Europeu de Normalisation 2003). Este processo consiste na oxidação da matéria orgânica e conteúdo celular, onde o Peróxido de Hidrogênio é utilizado como agente oxidante. A remoção da matéria orgânica e conteúdo celular são necessários para evidenciar a ornamentação da frústula, e portanto, fundamental para a identificação infragenérica deste grupo.

Após a análise taxonômica as amostras foram depositadas na coleção de algas do Herbário “Maria Eneida P. K. Fidalgo” do Instituto de Botânica (SP) (Tabela 5).

Tabela 5. Listagem das amostras coletadas nos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), indicando o número de depósito no herbário, hábitat, reservatório e mês de coleta.

SP	Hábitat	Reservatório	Mês da coleta
428.172	Plâncton	PEBA	out-11
428.173			dez-11
428.174			fev-12
428.175			abr-12
428.176			jun-12
428.177			ago-12
428.641	Plâncton	BITQ	nov-11
428.642			jan-12
428.643			mar-12
428.644			mai-12
428.645			jul-12
428.646			set-12
428.647	Plâncton	COGR	nov-11
428.648			fev-12
428.649			mar-12
428.650			mai-12
428.651			jul-12
428.652			set-12
428.653	Plâncton	TGDE	nov-11
428.654			jan-12
428.655			mar-12
428.656			mai-12
428.657			jul-12
428.658			set-12

Estrutura de tamanho, hábito, volume celular e frequência de ocorrência da comunidade fitoplanctônica

A **Estrutura de Tamanho** dos táxons que compõem o fitoplâncton foi avaliada por meio da Variação da Maior Dimensão linear Axial = GALD (“Greatest Axial Linear Dimension”) expressa em μm . Considerando o GALD, foram definidas as classes de tamanho:

- Classe I: $\leq 10 \mu\text{m}$
- Classe II: $> 10 - 20 \mu\text{m}$
- Classe III: $> 20 - 50 \mu\text{m}$
- Classe IV: $> 50 - 200 \mu\text{m}$
- Classe V: $> 200 \mu\text{m}$

Quanto ao **Hábito** ou **forma de vida**, as espécies fitoplanctônicas foram classificadas como: unicelular flagelado (UF), colonial flagelado (CF), unicelular não flagelado (UNF), colonial não flagelado (CNF) (incluindo cenóbios), filamentosos (Fi).

Considerando o **Volume Celular** (μm^3), as categorias de tamanho foram divididas em cinco classes:

- Classe I: $\leq 100 \mu\text{m}^3$
- Classe II: $> 100 \leq 1.000 \mu\text{m}^3$
- Classe III: $> 1.000 \leq 5.000 \mu\text{m}^3$
- Classe IV: $> 5.000 \leq 10.000 \mu\text{m}^3$
- Classe V: $< 10.000 \mu\text{m}^3$

A **Frequência de Ocorrência (F) (%)** das espécies foi calculada com base na presença e ausência das espécies, em relação ao número total de amostras, para cada reservatório estudado. Calculado a partir da fórmula:

F = (Pa / P) * 100, onde:

Pa = número de amostras em que a espécie “a” está presente;

P = número total de amostras analisadas, para cada reservatório estudado.

As espécies foram consideradas como:

- Constantes: $\geq 80\%$
- Frequentes: $50\% \geq F > 80\%$
- Comuns: $20\% \geq F > 50\%$
- Raras: $F < 20\%$

Densidade Total da Comunidade Fitoplanctônica (org.mL⁻¹)

Para a análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica foram utilizadas amostras da sub-superfície da coluna d'água coletadas com o auxílio de garrafa coletora (Van Dorn). As amostras foram armazenadas em frascos escuros, acondicionadas em caixas térmicas com gelo e logo após a chegada em laboratório, fixadas com Lugol acético 1%, na proporção de 1:100.

A contagem do fitoplâncton foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Utermöhl (1958), em microscópio invertido Zeiss Axiovert 25 em aumento de 400 vezes. O tempo de sedimentação das amostras foi de três horas para cada centímetro de altura da câmara, segundo o critério de Lund *et al.* (1958). A câmara de sedimentação utilizada foi de 2 e 10mL, dependendo da concentração do fitoplâncton.

A contagem dos indivíduos foi realizada em transectos horizontais e/ou verticais e o limite da contagem, ou seja, o número mínimo de campos contados por câmara de sedimentação foi determinado por meio de dois critérios: a) gráfico de estabilização do numero de espécies, obtido a partir de espécies novas adicionadas com o número de campos contados e b) o de espécies mais abundantes, obtido pela contagem de até 100 indivíduos da espécie mais comum. No caso de ocorrência de florações de cianobactérias ou outras microalgas, foi realizada a contagem de 100 indivíduos da segunda espécie mais abundante (Tucci 2002).

Cada célula, colônia, cenóbio e filamento foram considerados como um indivíduo. Os resultados foram expressos em densidade (org.mL⁻¹) e calculados de acordo com a fórmula descrita em Weber (1973):

Organismos.mL⁻¹ = (n/sc).(1/h).(F); onde:

n = número de indivíduos efetivamente contados;

s = área do campo em mm² no aumento de 40 X;

c = número de campos contados;

h = altura da câmara de sedimentação em mm;

F = fator de correção para mililitro (10³ mm³/1 mL).

Biovolume da Comunidade Fitoplanctônica (mm³.L⁻¹)

O volume celular para cada espécie foi calculado com base em modelos geométricos cujas formas se aproximassem mais, isolados ou combinados, da forma dos indivíduos de acordo com Hillebrand *et al.* (1999), Sun & Liu (2003) e Fonseca *et al.* (2014). O Biovolume (mm³.L⁻¹) foi estimado multiplicando-se as densidades de cada espécie pelo volume médio de suas células e, sempre que possível, considerando as dimensões médias de 30 indivíduos. O valor obtido em µm³.mL⁻¹ foi transformado para mm³.L⁻¹ dividindo-se esse valor por 10⁶.

Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica

Riqueza: Foi considerado o número total de táxons encontrados por amostra.

A partir dos resultados de Densidade Total (org.mL^{-1}) e de Biovolume ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) da comunidade fitoplanctônica foram calculados os seguintes atributos referentes à estrutura da comunidade.

Índice de diversidade (H') (bits.ind^{-1} / bits.mm^3): estimado pelo índice de Shannon & Wiener (1963).

Calculado a partir da fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \text{ onde:}$$

$p_i = n_i/n$;

n_i = número total de indivíduos de cada táxons na amostra;

n = número total de indivíduos na amostra.

Índice de equitabilidade (J'): avaliado de acordo com Lloyd & Ghelardi (1964).

Calculado a partir da fórmula:

$$J' = H' / \log_2 S, \text{ onde:}$$

H' = diversidade da amostra;

S = número de táxons na unidade amostral.

Índice de dominância (DS'): estimado por meio da fórmula proposta por Simpson (1949);

Calculado a partir da fórmula:

$$DS' = \frac{\sum n_i (n_i - 1)}{n (n - 1)}, \text{ onde:}$$

n_i = número total de indivíduos de cada táxons na amostra;

n = número total de indivíduos na amostra.

Espécies Descritoras da Comunidade

O critério utilizado para definir as **espécies descritoras** nos reservatórios estudados foi estabelecido de acordo com as características na comunidade encontrada em cada sistema. Para tanto, foi considerado o nível de corte 1% do biovolume total relativo da comunidade fitoplanctônica para todo o período de estudo, em cada reservatório. Este nível de corte selecionou espécies que contribuíram com 80% ou mais para a biomassa total.

Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM)

As espécies descritoras estimadas a partir do biovolume ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$), foram classificadas em sete Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphology-based functional groups”)

sendo esses grupos divididos com base em nove traços morfológicos (volume, área superficial, máxima dimensão linear, razão superfície / volume ($s.v^{-1}$), presença de mucilagem, flagelos, aerótopos, heterocitos e demanda por sílica) identificados para cada organismo em microscópio óptico, conforme a proposta de Kruk *et al.* (2010) (Figura 6). Assim, os grupos são caracterizados da seguinte forma:

Grupo I: representado por pequenos organismos com alta taxa de crescimento individual e elevada abundância numérica, apresenta os menores valores de máxima dimensão linear (MDL) e (V), e os maiores valores de $s.v^{-1}$. Inclui organismos do picoplancton ($MDL < 2\mu m$), pequenos organismos unicelulares (flagelados ou não), alguns representantes de pequenas colônias e alguns organismos filamentosos;

Grupo II: representado por pequenos organismos flagelados com estruturas exoesqueléticas formadas por sílica e média a baixa $s.v^{-1}$ (Chrysophyceae);

Grupo III: representado por grandes organismos filamentosos com aerótopos (Cyanobacteria), baixa taxa de crescimento e elevada $s.v^{-1}$. Alguns indivíduos possuem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (heterocitos) e ainda, podem formar estruturas de resistência (acinetos);

Grupo IV: representado por médio a grandes organismos unicelulares, coloniais e filamentosos com ausência de traços morfológicos especializados (ex. aerótopos, flagelos, heterocitos, mucilagem e exoesqueleto de sílica);

Grupo V: representado pela maioria das espécies unicelulares e flageladas, apresentam valores intermediários de tamanho e MDL, baixa taxa de crescimento, biomassa e abundância;

Grupo VI: representado por organismos não flagelados com exoesqueleto formado por sílica (Bacillariophyceae), bem diversificados quanto ao tamanho celular, apresentam altas taxas de crescimento e biomassa;

Grupo VII: representado por todas as espécies que formam grandes colônias mucilaginosas, alguns indivíduos podem apresentar aerótopos e estruturas lipidicas que auxiliam na flutuabilidade. Possuem altos valores de V e S , baixas taxas de crescimento e $s.v^{-1}$.

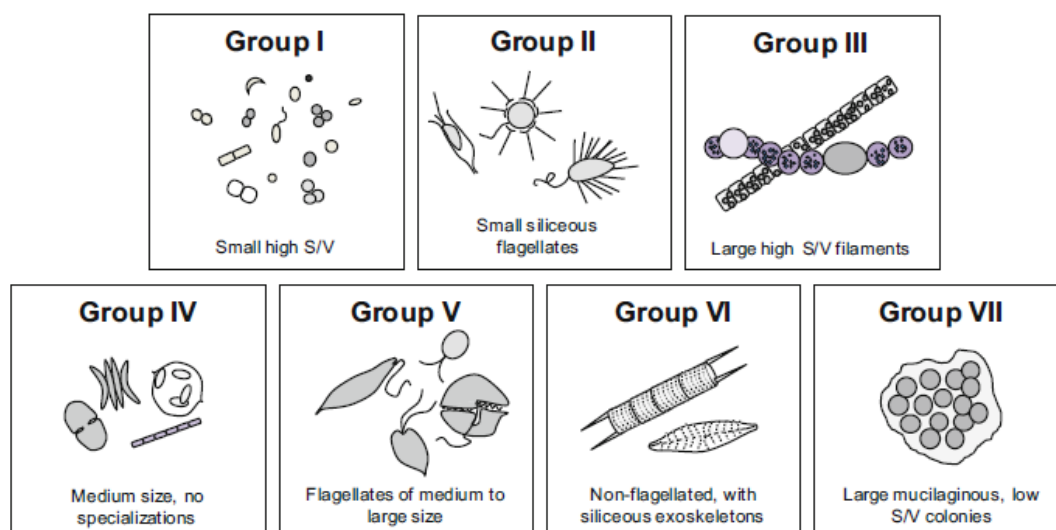


Figura 6. Representação esquemática dos sete MBFGs (“morphology-based functional groups”) proposto por Kruk *et al.* (2010) incluindo uma breve descrição de sua morfologia. (S) área superficial, (V) volume, ($s.v^{-1}$) razão superfície/volume (Segundo, Kruk & Segura 2012).

5.8. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

A avaliação dos resultados limnológicos e dos grupos funcionais baseados na morfologia (MBFGs) foi realizada por meio de análise multivariada.

A análise de componentes principais (PCA) (Goodall 1954 *apud* Valentin 2000) foi utilizada para determinar a variabilidade dos dados em relação às amostragens (temporal) e aos reservatórios (espacial). Foi utilizada matriz de covariância, sendo a matriz de dados abióticos transformada pela amplitude de variação “ranging” ($(x-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})$) e a matriz de dados bióticos transformada por $[\log x+1]$.

Para avaliação conjunta das variáveis abióticas e bióticas utilizamos a análise de correspondência canônica (CCA). A CCA foi realizada a partir de matrizes de covariância, com transformação dos dados abióticos pela amplitude de variação “ranging” ($(x-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})$) e dos dados bióticos pelo $[\log (x+1)]$.

A CCA foi utilizada para explicar as possíveis relações entre as espécies descritoras da comunidade fitoplanctônica e as variáveis ambientais estudadas em escala bimestral. Para testar o nível de significância dos dois primeiros eixos canônicos foi utilizado o teste de Monte Carlo (999 permutações; $p \leq 0,05$), que determina se há probabilidade dos autovalores terem distribuição ao acaso.

As transformações dos dados citados foram feitas por meio do programa FITOPAC (Shepherd 1996). As análises multivariadas foram realizadas pelo programa PC-ORD, versão 4.1 para Windows (McCune & Mefford 1997). Nas análises multivariadas, foram consideradas correlações significativas aquelas que apresentarem $r > 0,5$ com os eixos 1 e 2 da ordenação.

6. RESULTADOS

6.1. CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DOS RESERVATÓRIOS TAIACUPEBA, BILLINGS, BRAÇO TAQUACETUBA, DAS GRAÇAS E TANQUE GRANDE

Variáveis climáticas

Com base no histórico anual de precipitação para a região da UGRHI 6 – Alto Tietê, os períodos de amostragem no ano de 2011 foram típicos, ou seja, com o aumento das precipitações com o início da primavera, apresentando valores próximos à média histórica (Figura 7).

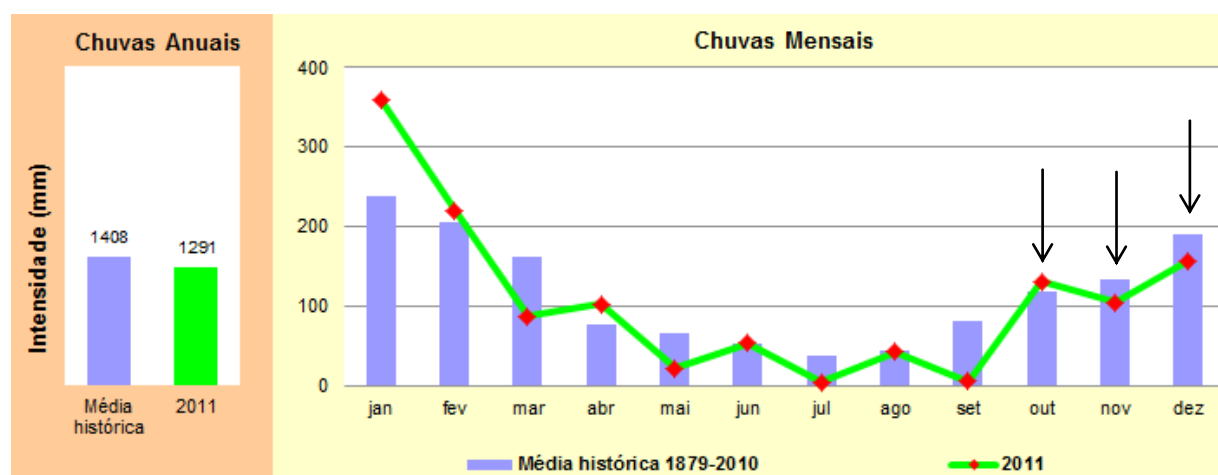


Figura 7. Médias mensais de precipitação na UGRHI 6 (Alto Tietê). A barra azul corresponde a média histórica (1879-2010) e a linha representa a média mensal no período de janeiro a dezembro de 2011. Setas: meses de amostragens deste trabalho (Segundo, CETESB 2012).

As precipitações registradas em 2012 também apresentaram valores típicos; mas nos meses de janeiro, abril, junho, julho e dezembro a média foi superior à média histórica. O mês de junho apresentou os maiores valores de precipitação em relação à média histórica (Figura 8).

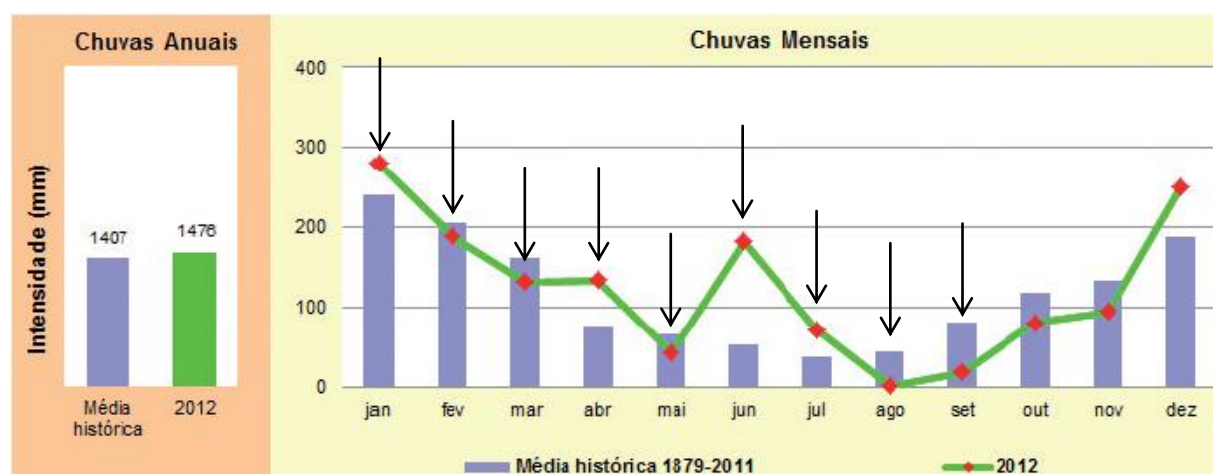


Figura 8. Médias mensais de precipitação na UGRHI 6 (Alto Tietê). A barra azul corresponde a média histórica (1879-2011) e a linha representa a média mensal no período de janeiro a dezembro de 2012. Setas: meses de amostragens deste trabalho (Segundo, CETESB 2013).

Os maiores valores de temperatura atmosférica (Figura 9) foram registrados próximos aos 30°C nos meses de dezembro 2011 e março de 2012 para os reservatórios Taiaçupeba (PEBA) e Tanque Grande (TGDE) respectivamente. Em contrapartida os menores valores de temperatura atmosférica foram registrados próximos aos 16°C nos meses de novembro 2011 para o reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) e setembro de 2012 no reservatório das Graças (COGR). Essa variação bimestral era esperada uma vez que o período de estudo contempla praticamente um ano de amostragem, as quatro estações do ano.

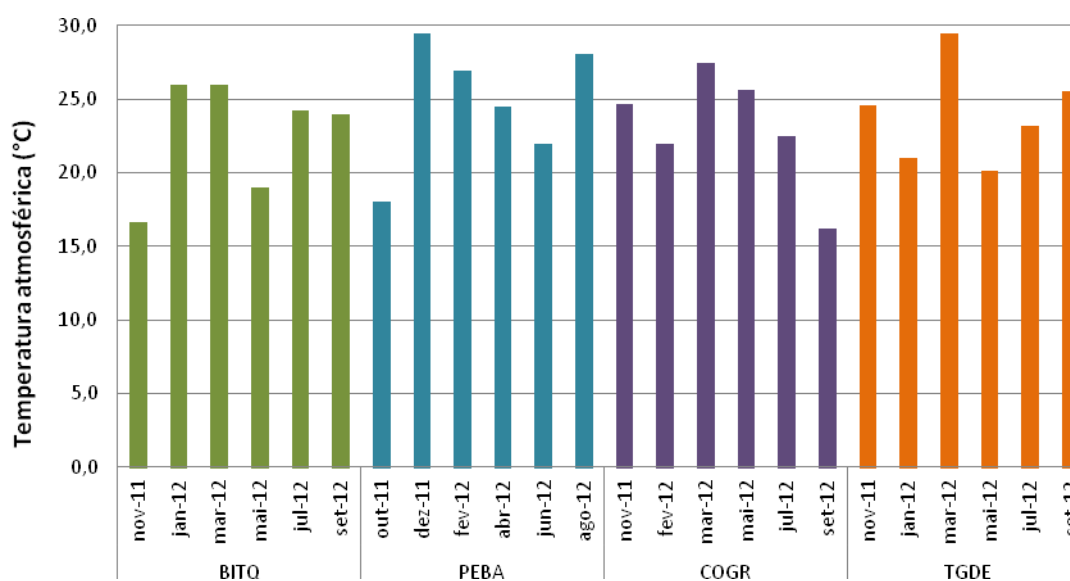


Figura 9. Variação bimestral da temperatura atmosférica (°C) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Tempo de residência da água

Os maiores valores de tempo de residência da água registrados para o período de estudo foram no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) que apresentou média anual de 428 dias. Valor muito acima do registrado para os reservatórios Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), conforme apresentado na Tabela 6. Tal diferença já era esperada uma vez que os reservatórios têm características morfológicas e de operação muito distintas.

Tabela 6. Valores da média anual (em dias) do tempo de residência da água nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) no período de Outubro 2011 a Setembro 2012.

	PEBA	BITQ	COGR	TGDE
Média anual	28	428	3	11

Profundidade das estações de amostragem

Os maiores valores de profundidade da água registrados nas estações de amostragem foram de 6 a 7 m no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ). Em contrapartida, os menores valores de profundidade da água nas estações de amostragem foram de 3 a 4 m no reservatório Tanque Grande (TGDE) (Figura 10).

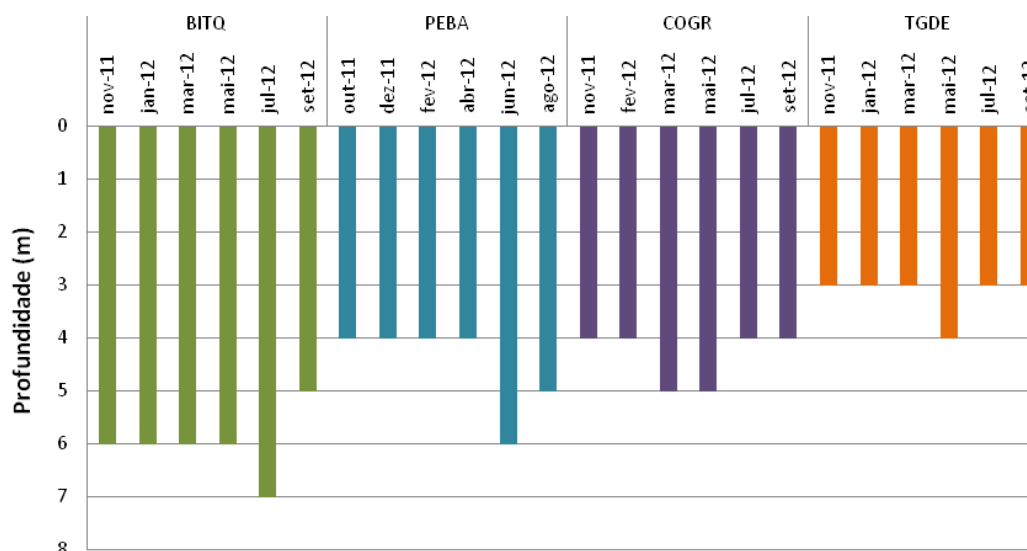


Figura 10. Variação bimestral da profundidade máxima (m) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiapuê (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Variáveis limnológicas abióticas e bióticas (clorofila *a*)

Os valores de temperatura da água de superfície variaram entre a faixa de 20 a 25°C, para os quatro reservatórios, durante a maior parte do período estudado (Figura 11, Tabela 7).

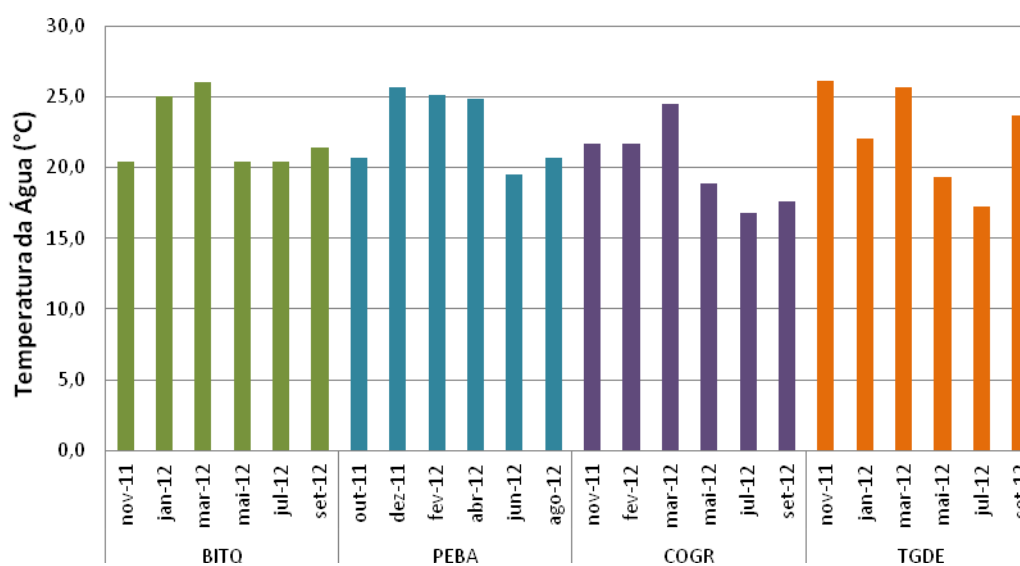


Figura 11. Variação bimestral da temperatura da água (°C) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiapuê (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Os maiores valores de transparência da água e zona eufótica foram registrados próximos a 5 m de profundidade em junho e agosto de 2012 no reservatório Taiacupeba (PEBA) e em julho de 2012 no reservatório das Graças (COGR). Os menores valores de transparência da água e zona eufótica (próximos a 1 m de profundidade) foram registrados em março de 2012 no reservatório Billings (BITQ) e em janeiro e julho de 2012 no reservatório Tanque Grande (TGDE) (Figura 12, Tabela 7).

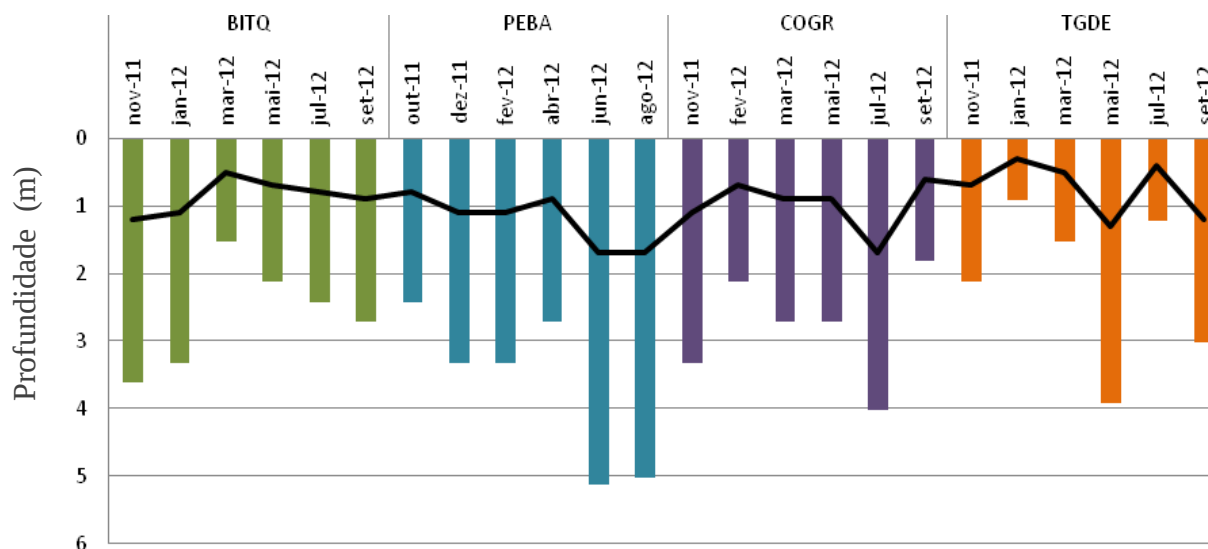


Figura 12. Variação bimestral da zona eufótica (m) (barras) e da transparência da água (m) (linha) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 6 a 8 mg.L⁻¹ nos quatro reservatórios estudados, com exceção dos meses de março e julho de 2012 no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) onde registraram-se os maiores valores, 11 e 13 mg.L⁻¹ respectivamente (Figura 13, Tabela 6).

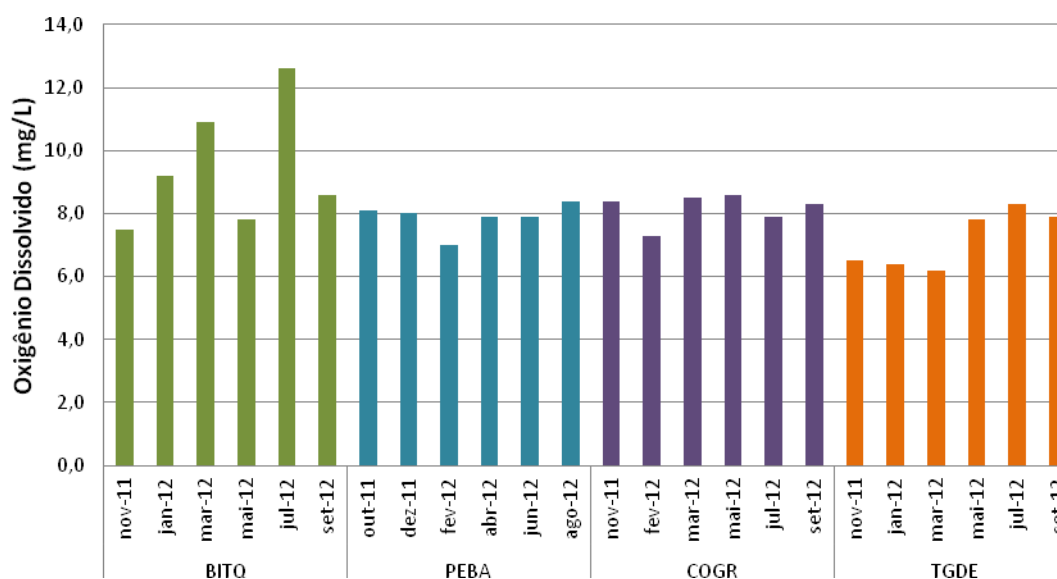


Figura 13. Variação bimestral do oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) na superfície, nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Os maiores valores de pH (9) foram registrados nos meses de janeiro, março e julho 2012 no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ). Em contra partida, o menor valor de pH (6) foi registrado em fevereiro 2012 no reservatório das Graças (COGR) (Figura 14, Tabela 7).

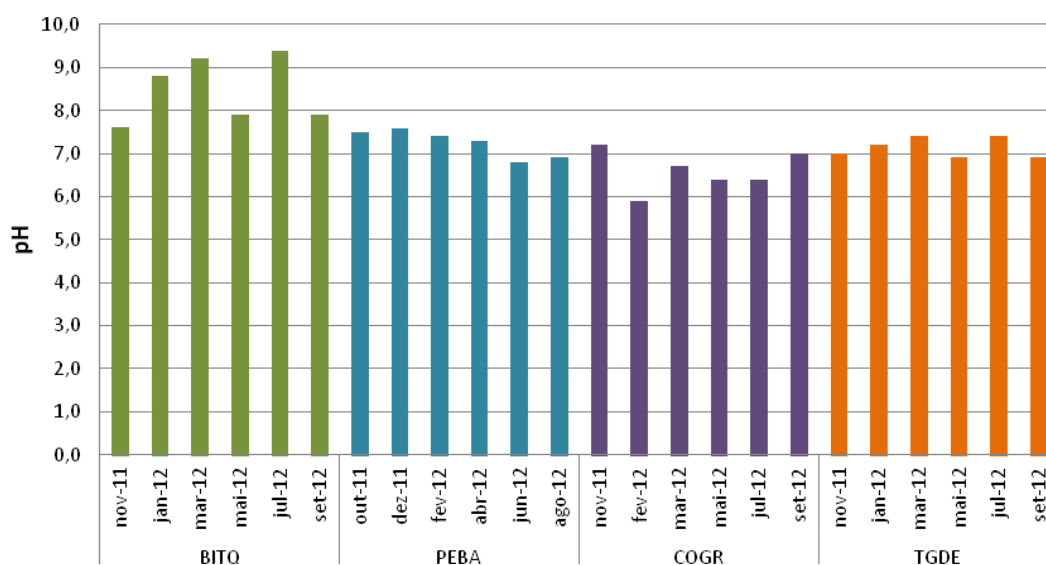


Figura 14. Variação bimestral dos valores de pH obtidos no dia da amostragem nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Os maiores valores de condutividade elétrica da água (160 a $180 \mu\text{S.cm}^{-1}$) foram registrados no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ). Quando comparados aos valores obtidos no reservatório Billings, os outros três reservatórios apresentaram valores menores de condutividade

elétrica, entre 20 a 60 $\mu\text{S cm}^{-1}$, exceto em setembro de 2012 no reservatório das Graças (COGR) e março de 2012 no Tanque Grande (TGDE) (Figura 15, Tabela 7).

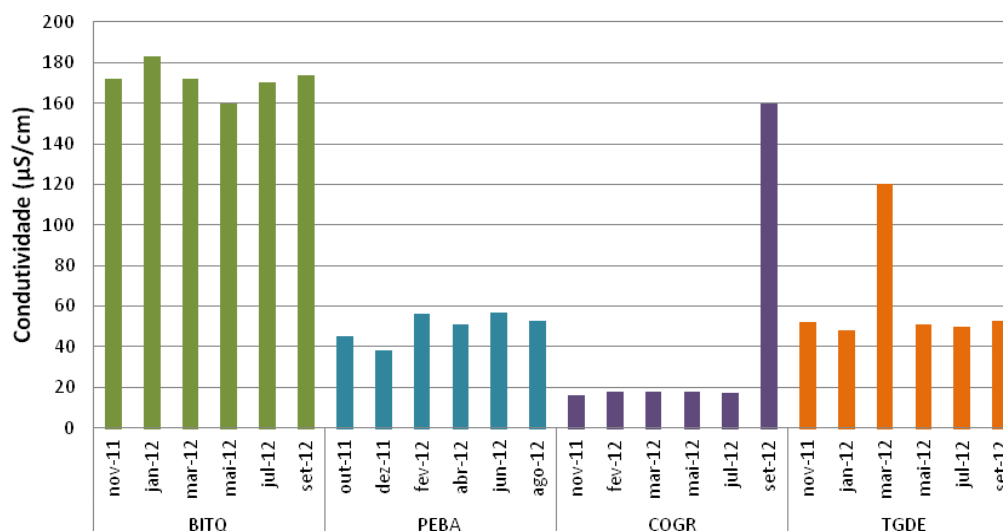


Figura 15. Variação bimestral dos valores da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

No reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), foram registrados os maiores valores de alcalinidade total (Figura 16, Tabela 7), entre 40 a 60 mg.L^{-1} , ao longo do período de estudo. Nos reservatórios Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), foram registrados valores inferiores a 30 mg.L^{-1} .

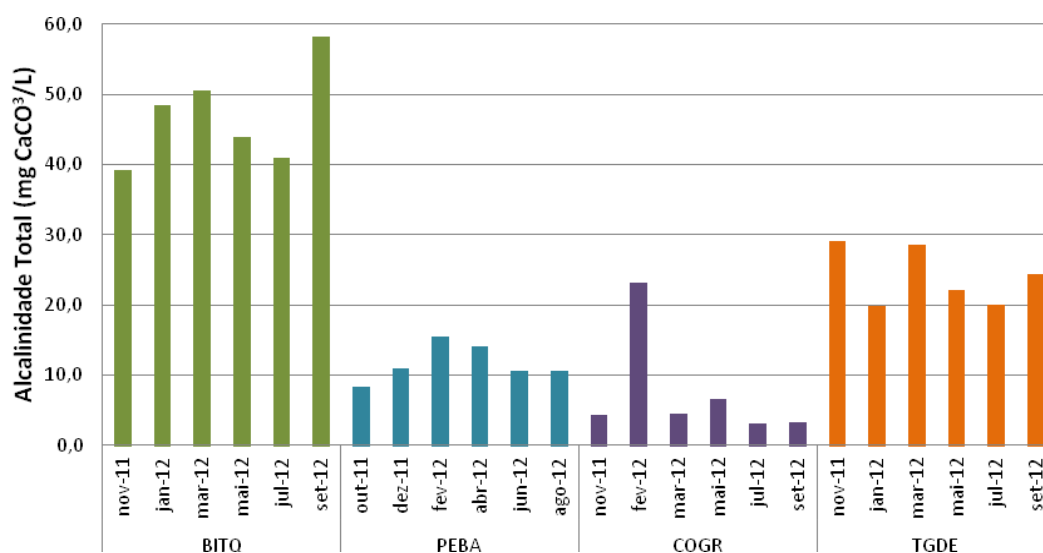


Figura 16. Variação bimestral dos valores da alcalinidade total (mg.L^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Os valores de turbidez variaram entre 5 a 15 NTU nos quatro reservatórios estudados, exceto em julho 2012 no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) e em janeiro e março 2012 no reservatório Tanque Grande (TGDE), que apresentaram valores superiores a 25 NTU (Figura 17, Tabela 7).

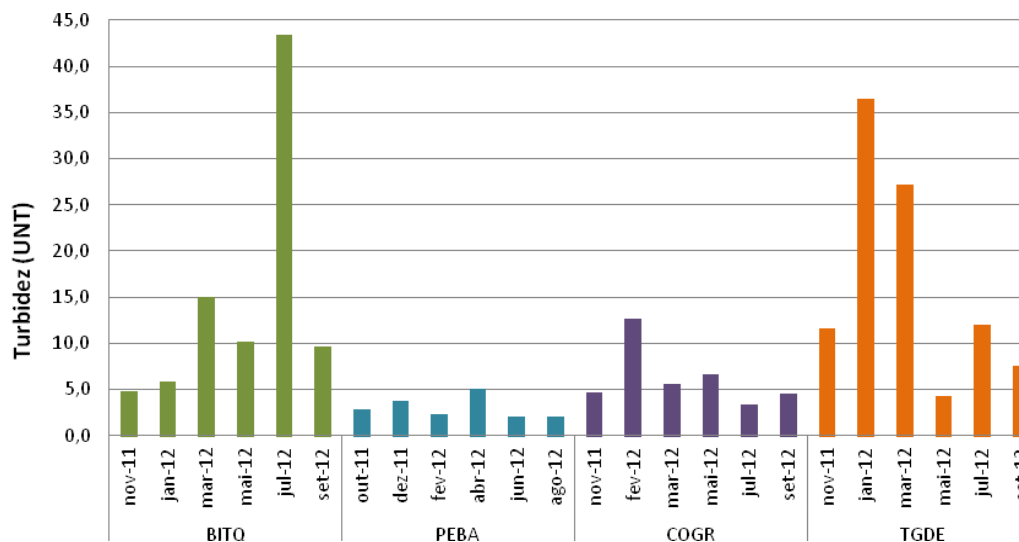


Figura 17. Variação bimestral dos valores da turbidez (NTU) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Os maiores valores de dureza total (40 a 50 mg.L^{-1}) foram registrados no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ). Nos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), foram registrados valores entre 3 a 20 mg.L^{-1} (Figura 18, Tabela 7).

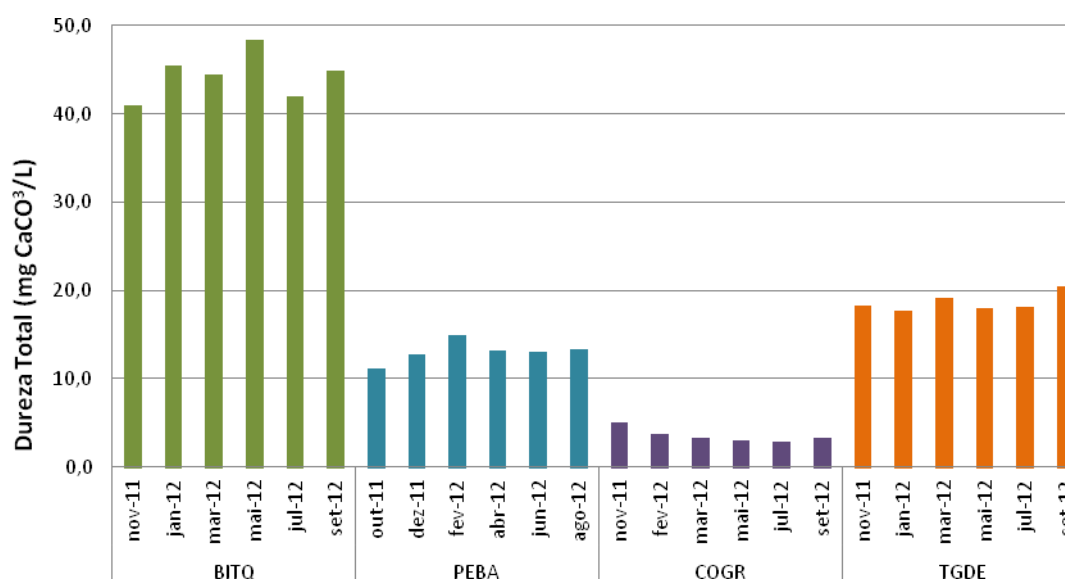


Figura 18. Variação bimestral dos valores da dureza total (mg.L^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

As concentrações de nitrogênio Kjeldahl total (NKT) mantiveram-se entre 0,6 e 0,9 mg.L⁻¹ ao longo do período de estudo, exceto em março e julho de 2012 no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) e em novembro de 2011 e março de 2012 no reservatório das Graças (Figura 19, Tabela 7).

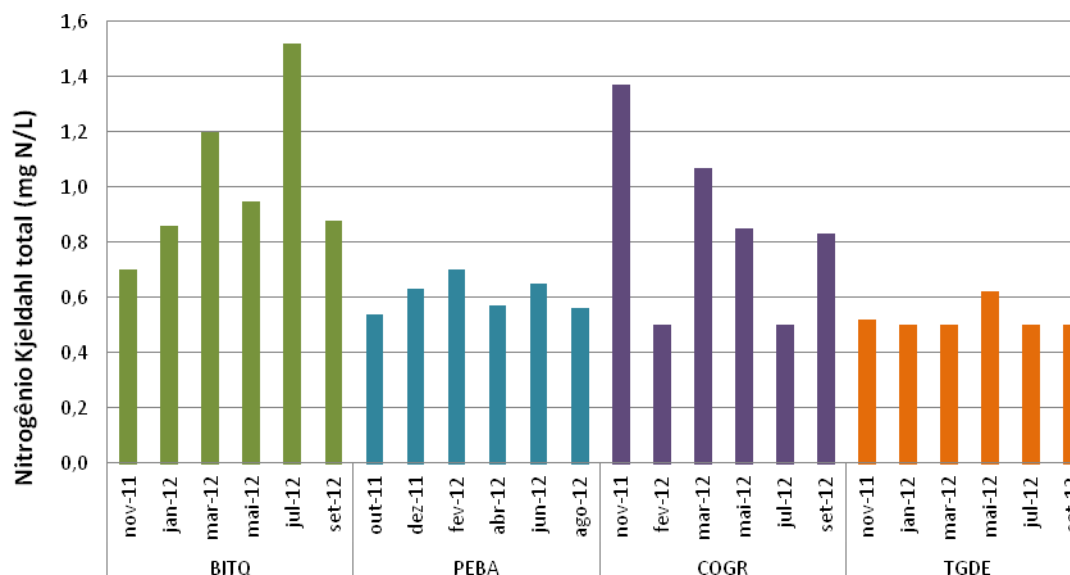


Figura 19. Variação bimestral da concentração de nitrogênio Kjeldahl total (NKT) (mg.L⁻¹) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

As concentrações de fósforo total variaram entre 0,02 a 0,06 mg.L⁻¹, para os quatro reservatórios estudados, exceto nos meses de janeiro e setembro de 2012 no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) e em fevereiro de 2012 no reservatório das Graças (COGR), onde os valores registrados foram superiores a 0,08 mg.L⁻¹ (Figura 20, Tabela 7).

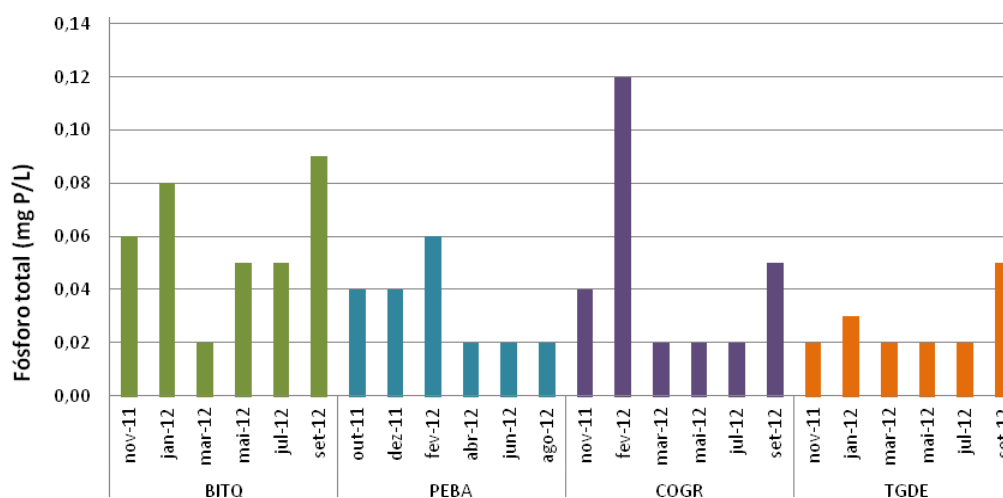


Figura 20. Variação bimestral da concentração de fósforo total (PT) (mg.L⁻¹) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Considerando a clorofila *a*, no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), foram registradas as maiores concentrações (40 a 90 $\mu\text{g.L}^{-1}$) ao longo do período de estudo, exceto em novembro 2011 (16 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Nos reservatórios Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), foram registrados valores de clorofila *a* entre 2 a 29 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 21, Tabela 7).

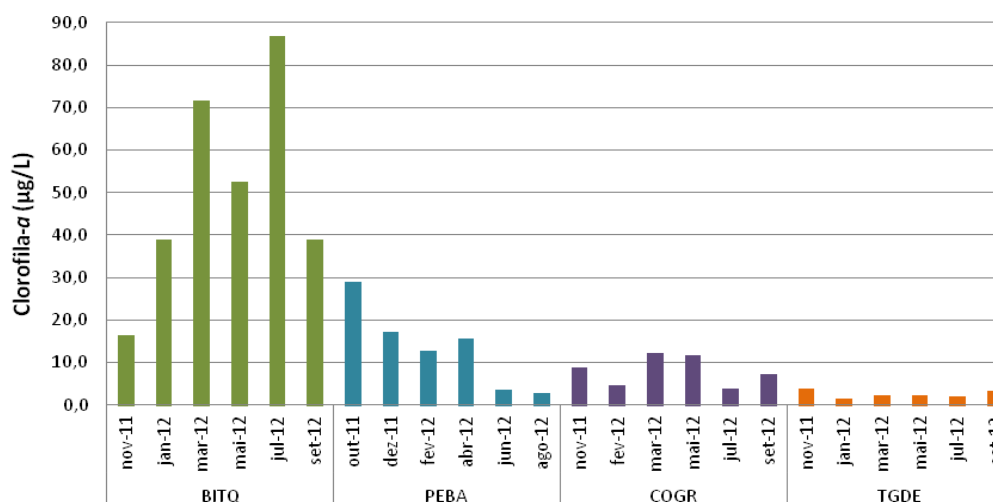


Figura 21. Variação bimestral da clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Os **perfis de temperatura** e de **oxigênio dissolvido** durante o período de estudo estão representados nas Figuras 22, 23, 24 e 25.

Houve estratificação térmica na estação de amostragem do reservatório Taiacupeba (PEBA) em dezembro de 2011 e fevereiro de 2012, da superfície até 2 metros de profundidade e em junho de 2012, da superfície até 1 metro de profundidade. Registrou-se queda na concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água em dezembro de 2011 e fevereiro de 2012 (Figura 22).

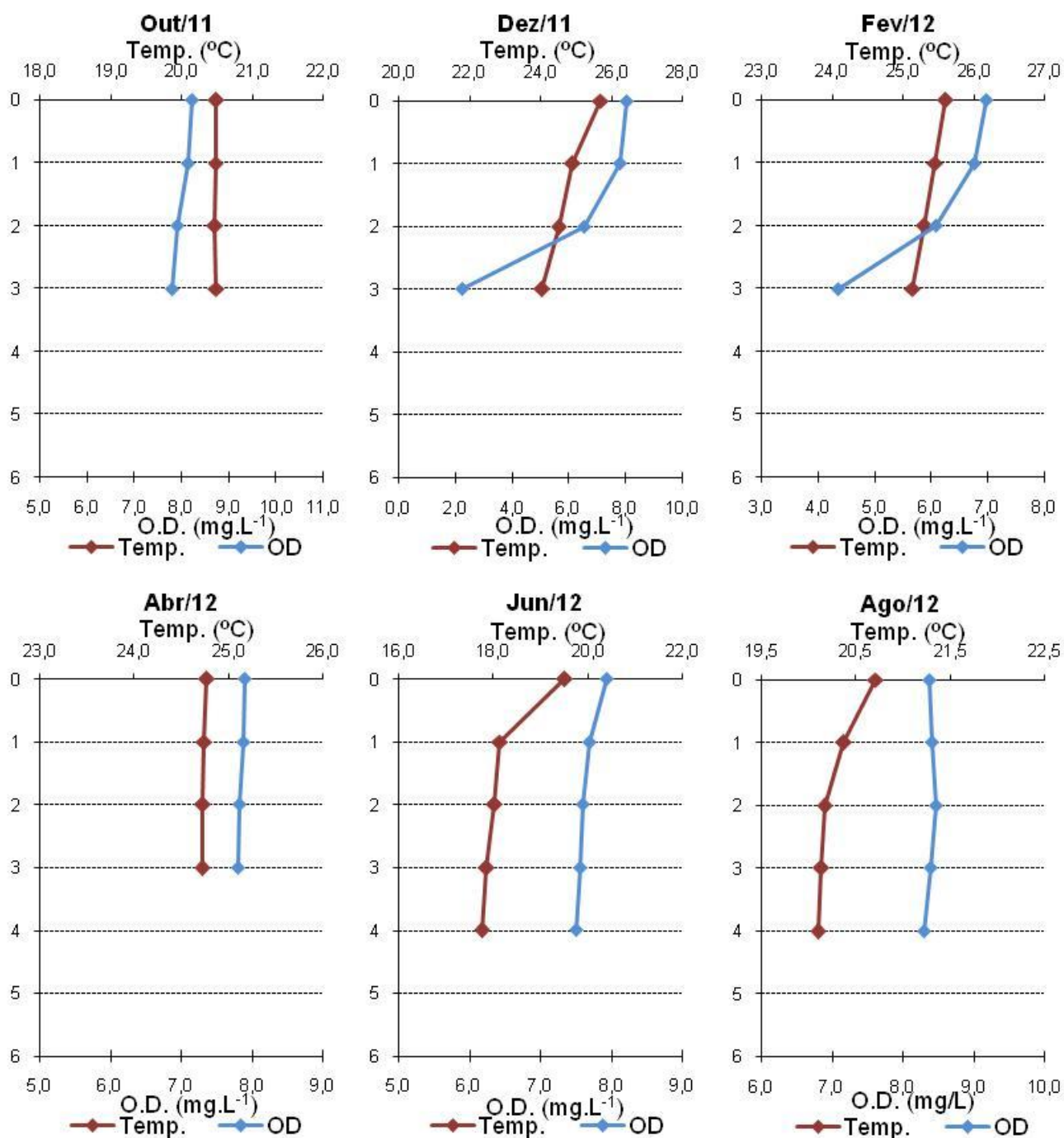


Figura 22. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹) e Temperatura da água (°C) no Reservatório Taiaçupeba (PEBA).

A estação de amostragem no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) apresentou estratificação térmica em janeiro e março de 2012, da superfície até 1 metro de profundidade e em setembro de 2012, da superfície até 2 metros de profundidade. Houve queda na concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água em janeiro, março, julho e setembro de 2012 (Figura 23).

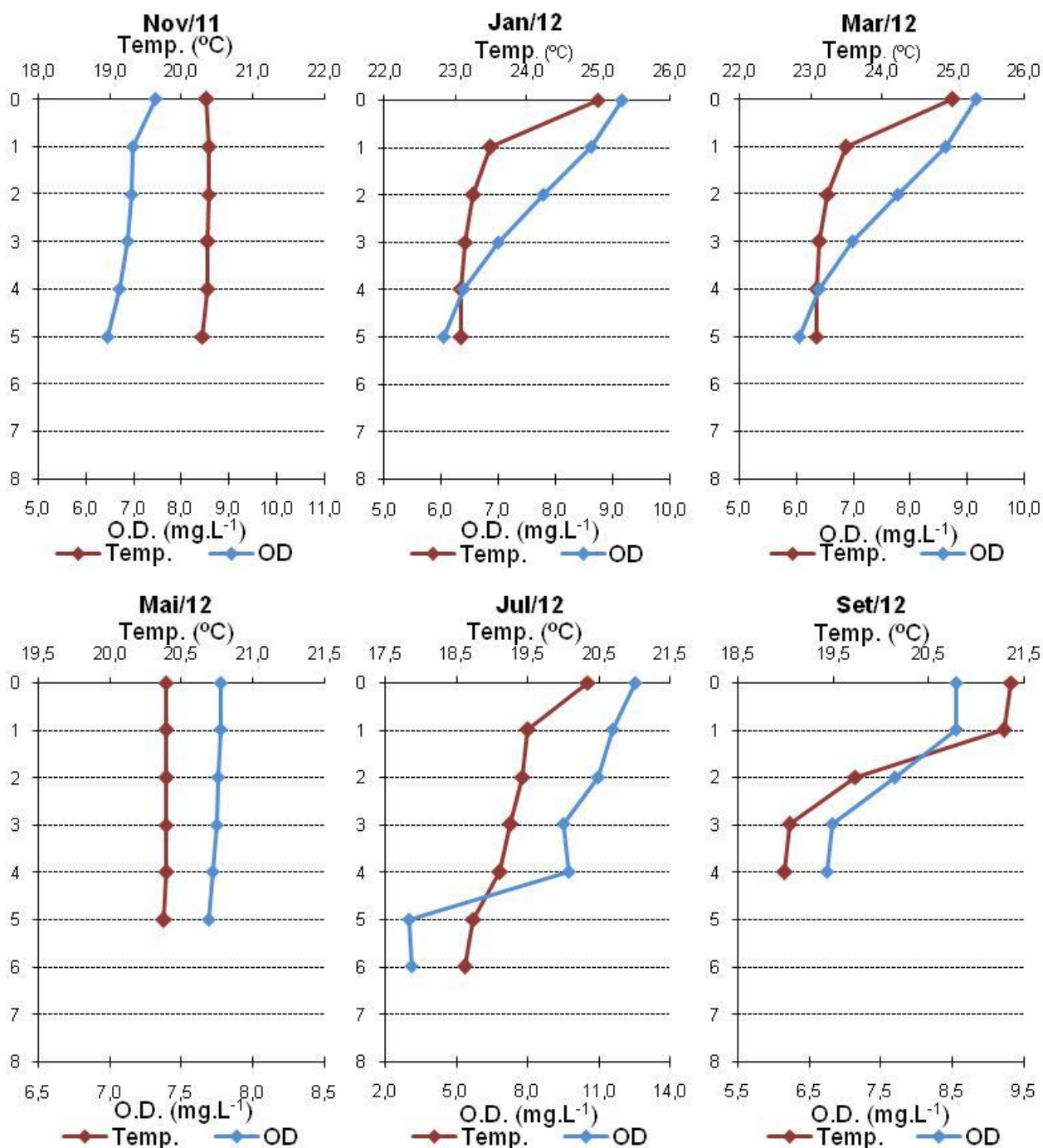


Figura 23. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹) e Temperatura da água (°C) no Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ).

A estação de amostragem no reservatório das Graças (COGR) apresentou estratificação térmica nas cinco primeiras amostragens e queda na concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água nas quatro primeiras amostragens (Figura 24).

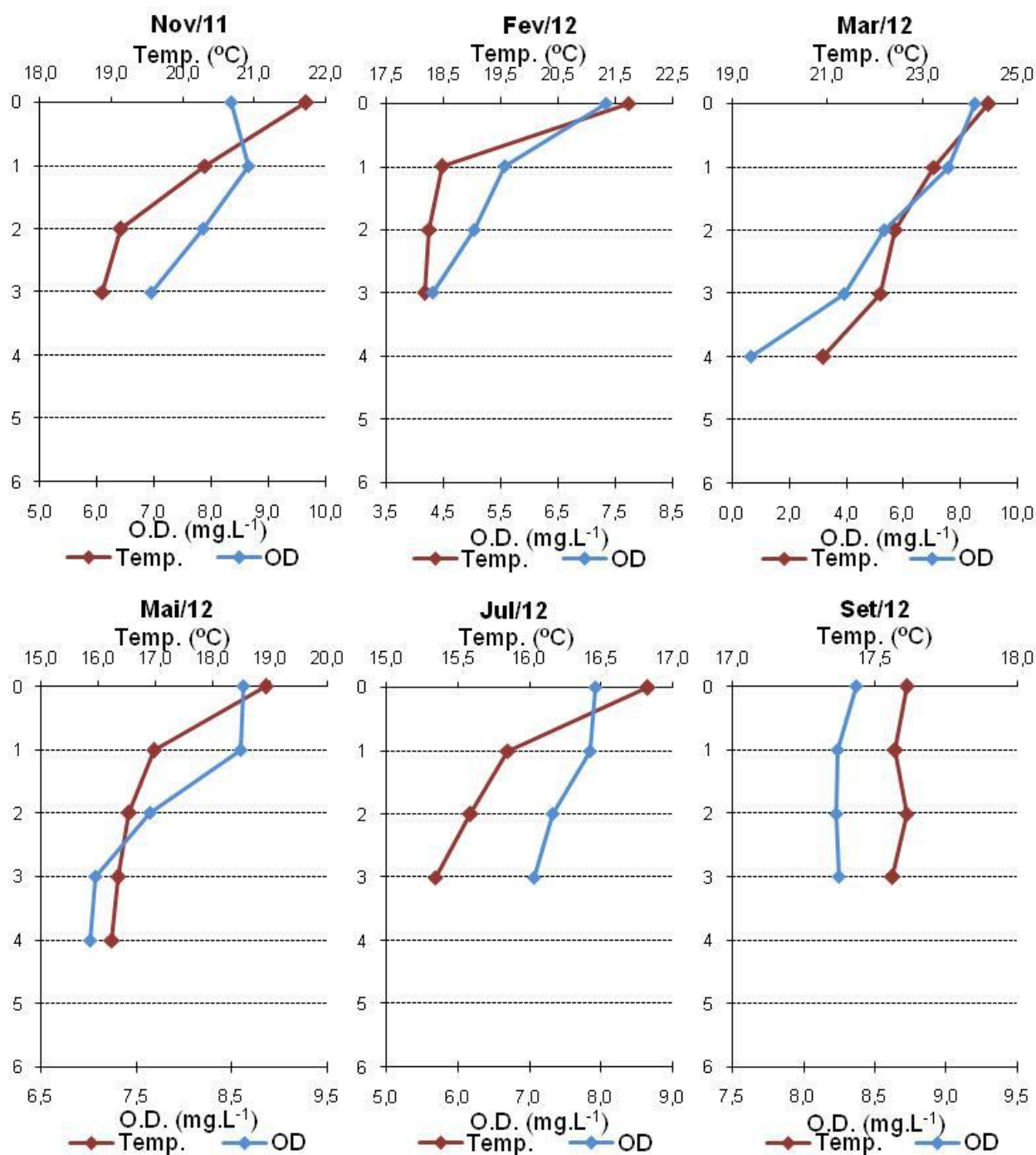


Figura 24. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹) e Temperatura da água (°C) no Reservatório das Graças (COGR).

A estação de amostragem no reservatório Tanque Grande em julho de 2012 apresentou estratificação térmica da superfície até 1 metro de profundidade com uma diferença de temperatura de aproximadamente 2°C. Registrou-se queda na concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água em novembro de 2011, janeiro e maio de 2012 (Figura 25).

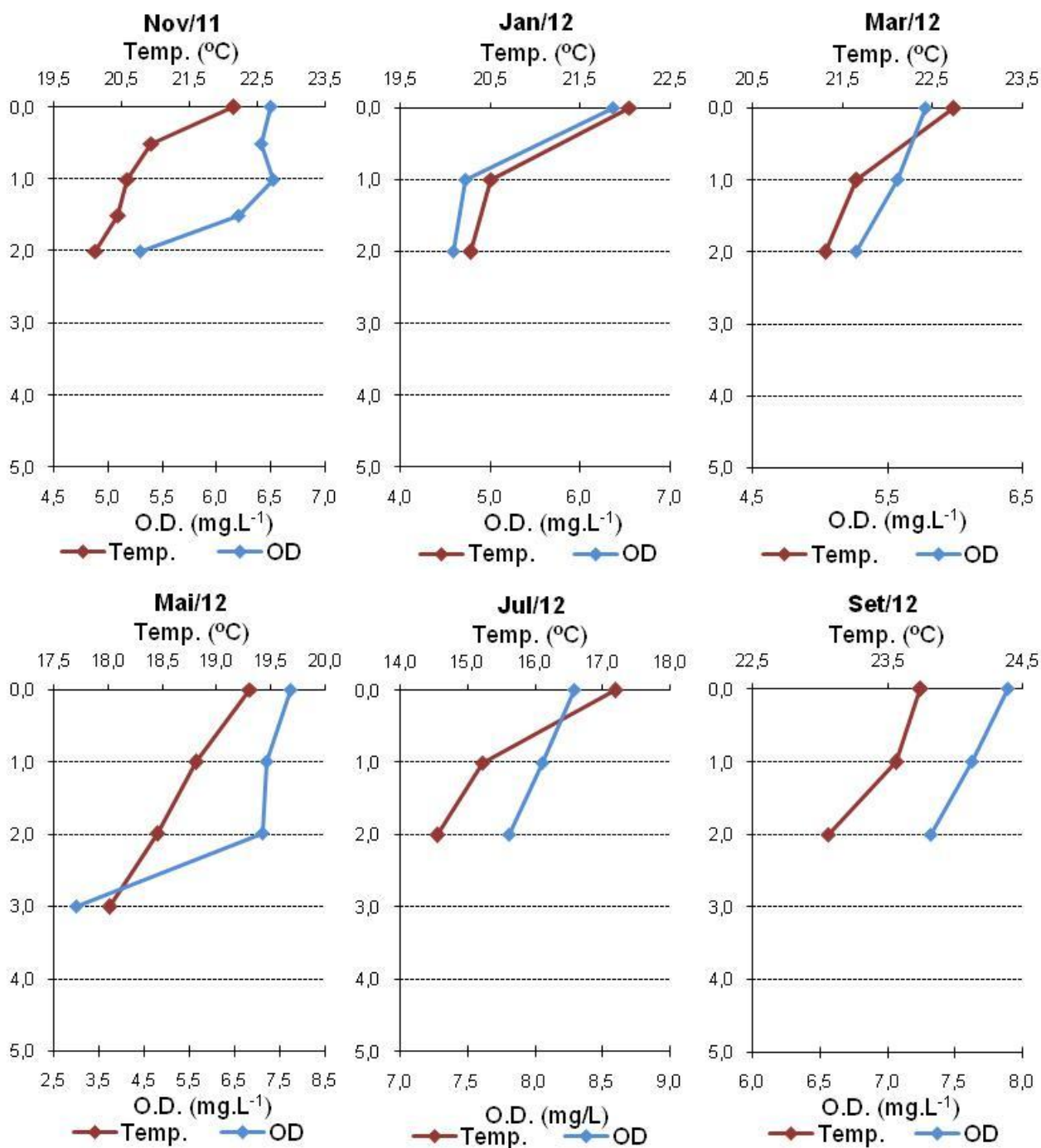


Figura 25. Variação bimestral do perfil de Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹) e Temperatura da água (°C) no Reservatório Tanque Grande (TGDE).

Tabela 7. Variáveis limnológicas nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) no período de Outubro 2011 a Setembro 2012. As variáveis físicas e químicas estão abreviadas da seguinte forma; Temp: Temperatura da água (°C), Cond: Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), pH: Potencial hidrogeniônico, Secchi: Transparência (m), OD: Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), NKT: Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L^{-1}), PT: Fósforo total (mg.L^{-1}), Alca: Alcalinidade (mg.L^{-1}), DT: Dureza total (mg.L^{-1}), Turb: Turbidez (NTU) e Clo-*a*: Clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

		Temp °C	Cond ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	pH	Secchi (m)	OD (mg.L^{-1})	NKT (mg.L^{-1})	PT (mg.L^{-1})	Alca T (mg.L^{-1})	DT (mg.L^{-1})	Turb (NTU)	Clo- <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
BITQ	nov-11	20,4	172	7,60	1,2	7,50	0,70	0,06	39,13	40,9	4,74	16,32
	jan-12	25,0	183	8,80	1,1	9,20	0,86	0,08	48,40	45,5	5,81	38,95
	mar-12	26,0	172	9,20	0,5	10,90	1,20	0,02	50,60	44,5	15,03	71,55
	mai-12	20,4	160	7,90	0,7	7,80	0,95	0,05	44,00	48,4	10,20	52,57
	jul-12	20,4	170	9,40	0,8	12,60	1,52	0,05	41,00	42,0	43,40	86,72
	set-12	21,4	174	7,90	0,9	8,60	0,88	0,09	58,30	44,9	9,64	38,99
PEBA	out-11	20,7	45	7,50	0,8	8,10	0,54	0,04	8,24	11,2	2,78	28,87
	dez-11	25,7	38	7,59	1,1	8,03	0,63	0,04	11,00	12,7	3,69	17,11
	fev-12	25,1	56	7,40	1,1	7,00	0,70	0,06	15,40	15,0	2,33	12,83
	abr-12	24,8	51	7,30	0,9	7,90	0,57	0,02	14,00	13,2	5,10	15,5
	jun-12	19,5	57	6,80	1,7	7,90	0,65	0,02	10,59	13,1	2,00	3,47
	ago-12	20,7	53	6,90	1,7	8,40	0,56	0,02	10,60	13,3	2,10	2,67
COGR	nov-11	21,7	16	7,20	1,1	8,40	1,37	0,04	4,32	5,0	4,62	8,91
	fev-12	21,7	18	5,90	0,7	7,30	0,50	0,12	23,10	3,7	12,70	4,68
	mar-12	24,5	18	6,70	0,9	8,50	1,07	0,02	4,40	3,3	5,57	12,3
	mai-12	18,9	18	6,40	0,9	8,60	0,85	0,02	6,62	2,9	6,65	11,58
	jul-12	16,8	17	6,40	1,7	7,90	0,50	0,02	3,15	2,9	3,29	3,74
	set-12	17,6	160	7,00	0,6	8,30	0,83	0,05	3,18	3,3	4,47	7,35
TGDE	nov-11	26,1	52	7,00	0,7	6,50	0,52	0,02	29,10	18,3	11,60	3,86
	jan-12	22,0	48	7,20	0,3	6,40	0,50	0,03	19,80	17,7	36,50	1,6
	mar-12	25,7	120	7,40	0,5	6,20	0,50	0,02	28,60	19,1	27,20	2,23
	mai-12	19,3	51	6,90	1,3	7,80	0,62	0,02	22,06	18,0	4,30	2,25
	jul-12	17,2	50	7,40	0,4	8,30	0,50	0,02	20,00	18,2	12,00	1,87
	set-12	23,7	53	6,90	1,2	7,90	0,50	0,05	24,40	20,4	7,51	3,29

A avaliação conjunta dos resultados limnológicos abióticos e da clorofila *a* foi resumida pela análise de componentes principais (PCA), que apresentou 81% da explicabilidade da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros componentes (Figura 26, Tabela 7).

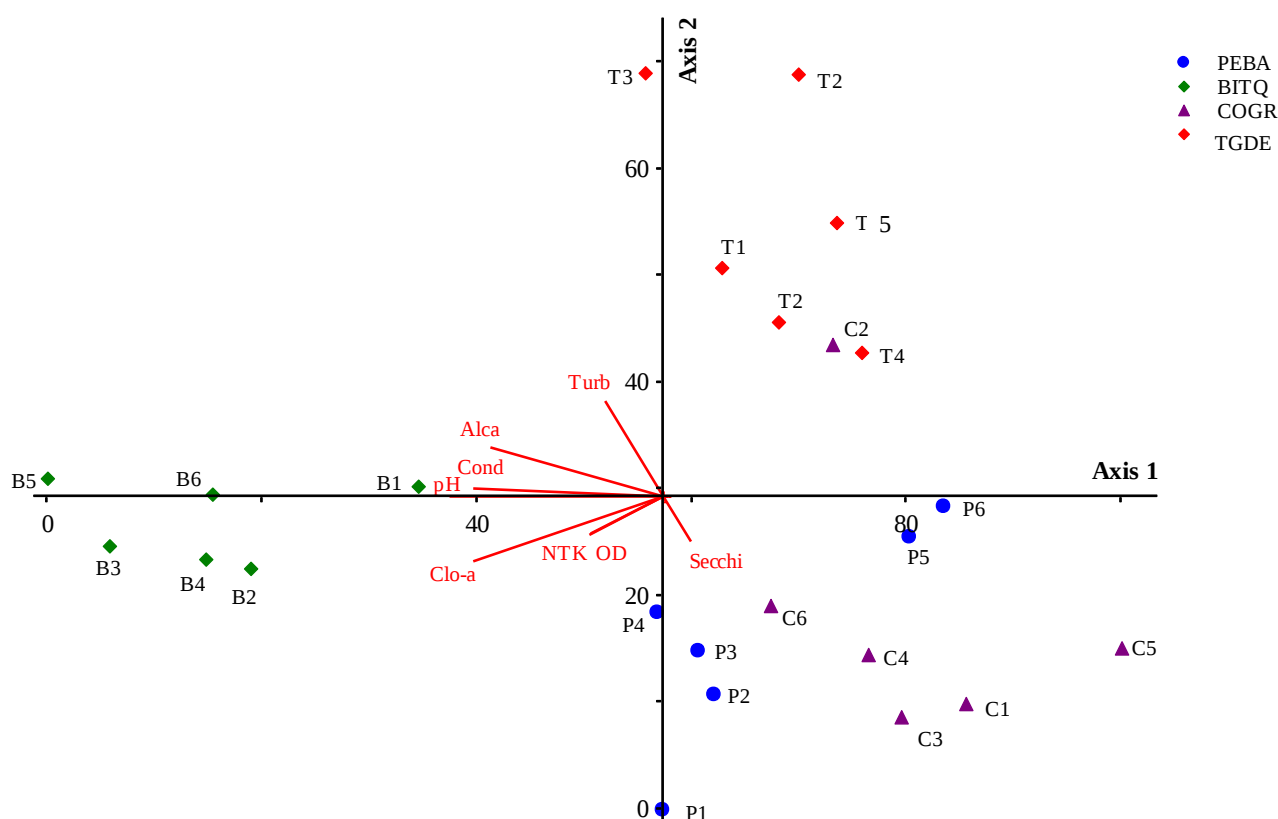


Figura 26. Análise dos componentes principais com base em 10 variáveis limnológicas de 24 amostragens nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). As variáveis físicas e químicas estão abreviadas da seguinte forma: ToC: Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH: Potencial hidrogeniônico, OD: Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), Cond: Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), Alca: Alcalinidade (mg.L^{-1}), Secchi: Transparência (m), Turb: Turbidez (NTU), Clo-*a*: Clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$), PT: Fósforo total (mg.L^{-1}) e NTK: Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L^{-1}).

As unidades amostrais referentes ao reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) ordenaram-se do lado negativo do eixo 1 associadas aos maiores valores de pH, condutividade elétrica, alcalinidade, clorofila *a*, oxigênio dissolvido e nitrogênio Kjeldahl total. As unidades amostrais referentes aos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) ordenaram-se do lado positivo deste mesmo eixo, associados aos maiores valores de transparência. Do lado positivo do eixo 2 estão agrupadas as unidades amostrais referentes às amostragens no reservatório Tanque Grande, associadas aos maiores valores de turbidez (Figura 26, Tabela 8).

Tabela 8. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis físicas, químicas e biológicas (Clorofila *a*) da água e os três primeiros eixos da ordenação para o período de estudo (n= 24).

Variável	Componentes Principais	
	Eixo 1	Eixo 2
Temperatura da água (°C)	-0,301	0,069
Potencial hidrogeniônico (pH)	-0,869	-0,058
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	-0,506	-0,419
Condutividade elétrica (μS.cm ⁻¹)	-0,820	0,194
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	-0,783	0,480
Transparência (m)	0,320	-0,456
Turbidez (NTU)	-0,454	0,664
Clorofila <i>a</i> (μg.L ⁻¹)	-0,820	-0,546
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	-0,365	-0,037
Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L ⁻¹)	-0,510	-0,424
Total de explicabilidade:	56,3%	24,8%

Índice de Estado Trófico (IET)

As estações de amostragem nos reservatórios Taiaçupeba e das Graças foram classificadas como mesotróficas, a estação de amostragem do reservatório Billings, Braço Taquacetuba foi classificada como eutrófica e a estação de amostragem do reservatório Tanque Grande foi classificada em três meses do período estudado como oligotrófica e os outros três meses como mesotrófica (Tabela 9). Tais classificações confirmam os valores de IET previamente citados nos relatórios de qualidade da água da CETESB (2009, 2010 e 2011), no entanto, cabe ressaltar que para a estação de amostragem do reservatório Tanque Grande, que anteriormente havia sido classificado como oligotrófico, foi considerada como oligo-mesotrófica neste estudo.

Tabela 9. Índice do Estado Trófico para as variáveis de clorofila *a* (IET Clo-*a*), fósforo total (IET PT), a média (IET Médio) e sua classificação no período de outubro de 2011 a Setembro de 2012, nos reservatórios: Reservatório Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

		IET Clo- <i>a</i>	IET PT	IET Médio	Classificação
PEBA	out-11	63,2	56,8	60,0	eutrófico
	dez-11	60,7	56,8	58,7	mesotrófico
	fev-12	59,2	59,3	59,3	eutrófico
	abr-12	60,2	52,6	56,4	mesotrófico
	jun-12	52,8	52,6	52,7	mesotrófico
	ago-12	51,5	52,6	52,1	mesotrófico
		57,9	55,1	56,5	mesotrófico

BITQ	nov-11	60,4	59,3	59,8	eutrófico
	jan-12	64,7	61,0	62,9	eutrófico
	mar-12	67,7	52,6	60,1	eutrófico
	mai-12	66,2	58,2	62,2	eutrófico
	jul-12	68,6	58,2	63,4	eutrófico
	set-12	64,7	61,7	63,2	eutrófico
		65,4	58,5	61,9	eutrófico
COGR	nov-11	57,5	56,8	57,1	mesotrófico
	fev-12	54,3	63,5	58,9	mesotrófico
	mar-12	59,0	52,6	55,8	mesotrófico
	mai-12	58,7	52,6	55,7	mesotrófico
	jul-12	53,2	52,6	52,9	mesotrófico
	set-12	56,5	58,2	57,3	mesotrófico
		56,5	56,1	56,3	mesotrófico
TGDE	nov-11	53,4	52,6	53,0	mesotrófico
	jan-12	49,0	55,1	52,1	mesotrófico
	mar-12	50,7	52,6	51,6	oligotrófico
	mai-12	50,7	52,6	51,7	oligotrófico
	jul-12	49,8	52,6	51,2	oligotrófico
	set-12	52,6	58,2	55,4	mesotrófico
		51,0	54,0	52,5	mesotrófico

6.2. COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA NOS RESERVATÓRIOS TAIACUPEBA, BILLINGS, BRAÇO TAQUACETUBA, DAS GRAÇAS E TANQUE GRANDE

Composição da Comunidade Fitoplanctônica

Nos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), foram registrados 169 táxons, distribuídos em 10 grupos taxonômicos (Tabelas 10 e 11). Chlorophyceae e Cyanobacteria foram os grupos que apresentaram os maiores números de táxons, 69 e 29 táxons, respectivamente.

Tabela 10. Grupos taxonômicos do fitoplâncton registrados nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012, com os respectivos números de táxons.

Grupos Taxonômicos	Nº Táxons	%
Chlorophyceae	69	40
Cyanobacteria	29	17
Bacillariophyta	15	9
Zygnemaphyceae	14	8
Euglenophyceae	11	8
Chrysophyceae	9	5
Chlamydomonadales	6	3
Cryptophyceae	6	3
Dinophyceae	6	3
Xanthophyceae	4	2

Tabela 11. Táxons fitoplanctônicos registrados nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012.

Bacillariophyta	
<i>Achnanthisdium</i> sp.	<i>Fragilaria</i> sp.1
<i>Asterionella</i> sp.	<i>Fragilaria</i> sp.2
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	<i>Fragilaria</i> sp.3
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Fragilaria</i> sp.4
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Navicula</i> sp.
<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Urosolenia</i> sp.1
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	<i>Urosolenia</i> sp.2
<i>Eunotia</i> sp.	
Chlamydomyceae	
<i>Chlamydomonas</i> sp.	<i>Chlamydomonas</i> sp.3
<i>Chlamydomonas</i> sp.1	<i>Chlorogonium fusiforme</i> Matvienko
<i>Chlamydomonas</i> sp.2	<i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory de Saint-Vincent
Chlorophyceae	
<i>Acanthosphaera zachariasii</i> Lemmermann	<i>Micractinium bornhemiense</i> (W.Conrad) Korshikov
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda ex Korshikov	<i>Monoraphidium circinale</i> (Nygaard) Nygaard
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Korshikov	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová
<i>Ankyra</i> cf. <i>judayi</i> (G.M.Smith) Fott	<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová
<i>Chlorella minutissima</i> Fott & Nováková	<i>Monoraphidium litorale</i> Hindák
<i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck [Beijerinck]	<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová
<i>Closteriopsis</i> cf. <i>acicularis</i> (Chodat) J.H.Belcher & Swale	<i>Monoraphidium nanum</i> (Ettl) Hindák
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	<i>Monoraphidium</i> sp.
<i>Coelastrum proboscideum</i> Bohlin	<i>Nephrochlamys subsolitaria</i> (G.S.West) Korshikov
<i>Coelastrum pulchrum</i> Schmidle	<i>Nephrocystium spirale</i> Beck-Mannagetta
<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A.Dangeard) Senn	<i>Oocystis borgei</i> J.W.Snow
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchner) Kuntze	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat
<i>Crucigeniella crucifera</i> (Wolle) Komárek	<i>Oocystis</i> sp.1
<i>Desmodesmus</i> sp.1	<i>Oocystis</i> sp.2
<i>Desmodesmus</i> sp.2	<i>Oocystis</i> sp.3
<i>Desmodesmus</i> sp.3	<i>Parapediastrium biradiatum</i> (Meyen) E.Hegewald
<i>Desmodesmus</i> sp.4	<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i> West & G.S.West
<i>Desmodesmus</i> sp.5	<i>Pseudodidymocystis fina</i> (Komárek) E.Hegewald & Deason
<i>Desmodesmus</i> sp.6	<i>P. planctonica</i> (Korshikov) E.Hegewald & Deason
<i>Desmodesmus</i> sp.7	Radiococcaceae (ñ ident)
<i>Desmodesmus</i> sp.8	<i>Scenedesmus denticulatus</i> Lagerheim
<i>Desmodesmus</i> sp.9	<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat
<i>Dictyosphaerium</i> sp.1	<i>Scenedesmus</i> sp.1
<i>Dictyosphaerium</i> sp.2	<i>Scenedesmus</i> sp.2
<i>Dictyosphaerium</i> sp.3	<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E.Hegewald
<i>Elakatothrix</i> sp.	<i>Tetraëdron caudatum</i> (Corda) Hansgirg
<i>Eutetramorus fottii</i> (Hindák) Komárek	<i>Tetraëdron incus</i> (Teiling) G.M.Smith

<i>Franceia</i> sp.	<i>Tetraëdron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	<i>Tetrastrum heteracanthum</i> (Nordstedt) Chodat
<i>Golenkiniopsis solitaria</i> (Korshikov) Korshikov	<i>Tetrastrum triangulare</i> (Chodat) Komárek
<i>Hariotina</i> sp.	<i>Treubaria schmidlei</i> (Schröder) Fott & Kovácik
<i>Kirchneriella diana</i> (Bohlin) Comas Gonzalez	<i>Treubaria</i> sp.2
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) K.Möbius	<i>Westella botryoides</i> (West) De Wildeman
<i>Kirchneriella rosolata</i> Hindák	
Chryptophyceae	
<i>Cryptomonas brasiliensis</i> A.Castro, C.Bicudo & D.Bicudo	<i>Cryptomonas marssonii</i> Skuja
<i>Cryptomonas curvata</i> Ehrenberg	<i>Cryptomonas obovata</i> Czosnowski
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner
Crysophyceae	
<i>Chromulina elegans</i> Doflein	<i>Mallomonas</i> sp.1
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	<i>Mallomonas</i> sp.2
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg	<i>Mallomonas</i> sp.3
<i>Dinobryon</i> sp.	<i>Synura spinosa</i> Korshikov
<i>Lagynion ampullaceum</i> (Stokes) Pascher	
Cyanobacteria	
<i>Anathece</i> sp.	Cyanobacteria (ñ ident)
<i>Aphanizomenon gracile</i> (Lemmermann) Lemmermann	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S.West	<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthal) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek
<i>Aphanocapsa koordersii</i> K.Strøm	<i>Geitlerinema amphibium</i> (C.Agardh ex Gomont) Anagnostidis
<i>Aphanocapsa</i> sp.1	<i>Merismopedia punctata</i> Meyen
<i>Aphanocapsa</i> sp.2	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann
<i>Aphanocapsa</i> sp.3	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek
Chroococcales (ñ ident 1)	<i>Planktothrix isothrix</i> (Skuja) Komárek & Komárková
Chroococcales (ñ ident 2)	<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn
<i>Chroococcus aphanocapsoides</i> Skuja	<i>Pseudanabaena galeata</i> Böcher
<i>Chroococcus</i> cf. <i>turgidus</i> (Kützing) Nägeli	<i>Sphaerocavum brasiliense</i> De Azevedo & C.L.Sant' Anna
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	<i>Synechococcus nidulans</i> (Pringsheim) Komárek
<i>Coelomoron</i> cf. <i>tropicale</i> P.A.C.Senna, A.C.Peres & J.Komárek	<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau
<i>Coelosphaerium</i> sp.	<i>Woronichinia naegelianae</i> (Unger) Elenkin
<i>Cuspidothrix issatschenkoi</i> (Usachev) Rajaniemi, Komárek, Willame, Hrouzek, Ka	
Dinophyceae	
<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	<i>Peridinium</i> sp.1
<i>Gymnodinium</i> sp.	<i>Peridinium</i> sp.2
<i>Peridinium umbonatum</i> Stein	<i>Peridinium</i> sp.3
Euglenophyceae	
<i>Euglena oxyuris</i> Schmarda	<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
<i>Lepocinclis</i> sp.	<i>Trachelomonas</i> sp.1
<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	<i>Trachelomonas</i> sp.2
<i>Strombomonas rotunda</i> (Playfair) Deflandre	<i>Trachelomonas</i> sp.3

Strombomonas verrucosa (E.Daday) Deflandre
Trachelomonas curta A.M.Cunha

Trachelomonas sp.4

Xanthophyceae	
<i>Centrtractus belenophorus</i> (Schmidle) Lemmermann	<i>Ophiocytium capitatum</i> Wolle
<i>Isthmochloron lobulatum</i> (Nägeli) Skuja	<i>Tetraplektron laevis</i> (Bourrelly) Ettl
Zygnemaphyceae	
<i>Cosmarium bioculatum</i> Brébisson ex Ralfs	<i>Spondylosium planum</i> (Wolle) West & G.S.West
<i>Cosmarium contractum</i> O.Kirchner	<i>Staurastrum anatinum</i> Cooke & Wills
<i>Cosmarium majae</i> Strøm	<i>Staurastrum margaritaceum</i> Meneghini ex Ralfs
<i>Cosmarium</i> sp.1	<i>Staurastrum muticum</i> Brébisson ex Ralfs
<i>Cosmarium</i> sp.2	<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs
<i>Euastrum</i> sp.	<i>Staurodesmus dejectus</i> (Brébisson) Teiling
<i>Mougeotia</i> sp.	<i>Staurodesmus triangularis</i> (Lagerheim) Teiling

Quanto à **estrutura de tamanho** (GALD) da comunidade, nos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), foram registrados táxons inseridos principalmente na Classe I (< 10 µm) e no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) foram registrados táxons principalmente na Classe II (10 - 20 µm) (Figura 27).

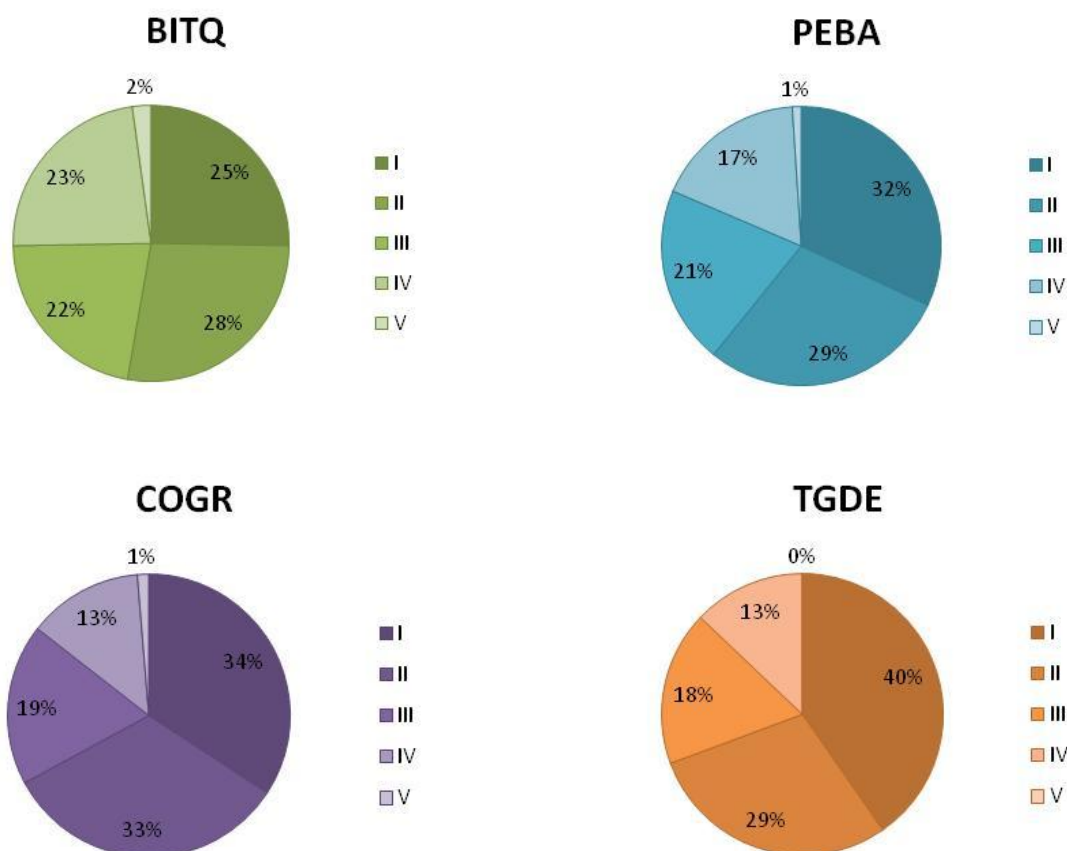


Figura 27. Classificação quanto à estrutura de tamanho, GALD (“Greatest Axial Linear Dimension”), da comunidade fitoplantônica nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Classe I ($\leq 10 \mu\text{m}$), Classe II ($10 - 20 \mu\text{m}$), Classe III ($20 - 50 \mu\text{m}$), Classe IV ($50 - 200 \mu\text{m}$) e Classe V ($> 200 \mu\text{m}$).

Em relação ao **hábito** ou **forma de vida** da comunidade fitoplanctônica dos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) foram caracterizados, principalmente por espécies unicelulares não flagelados (UNF) e no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) por espécies coloniais não flagelados (CNF) (Figura 28).

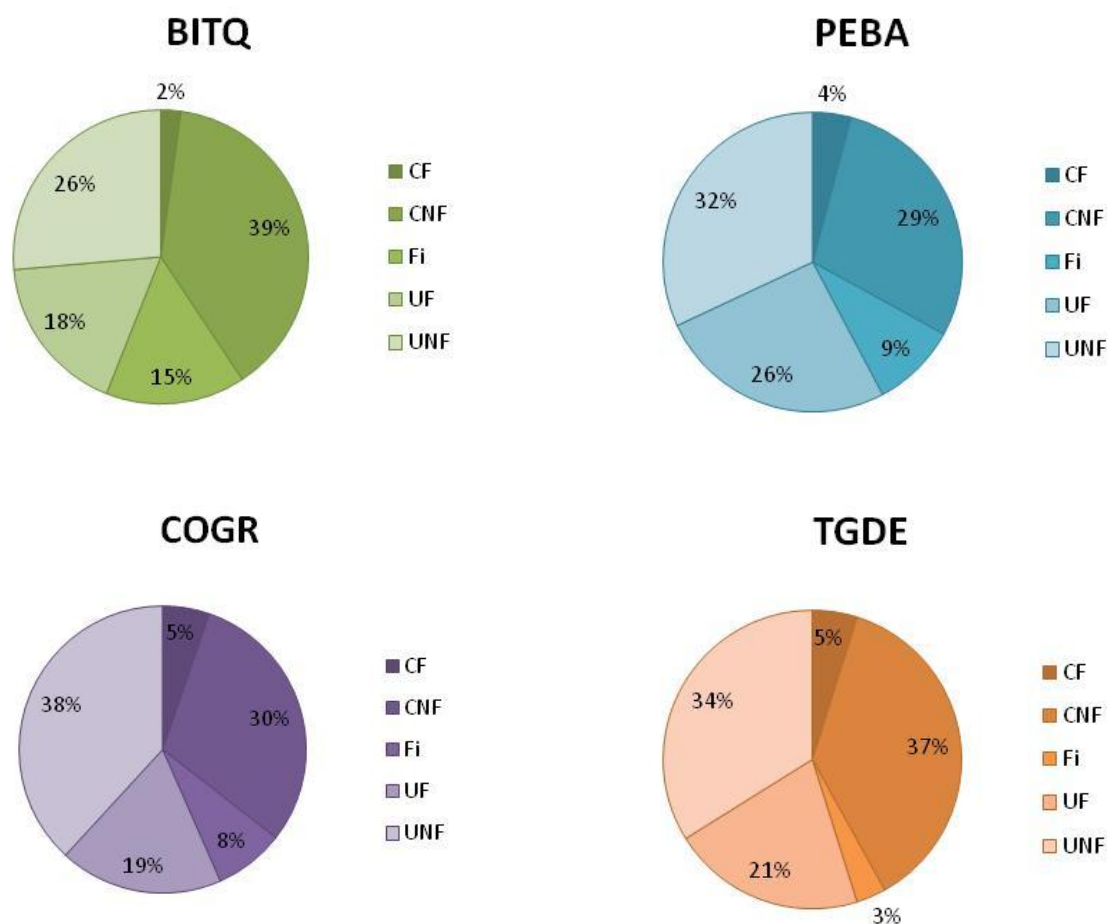


Figura 28. Classificação quanto ao hábito ou forma de vida da Comunidade Fitoplanctônica nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). CF: colonial flagelado, CNF: colonial não flagelado (incluindo cenóbios), Fi: filamentosos, UF: Unicelular flagelado e UNF: unicelular não flagelado.

Considerando o **volume celular** (μm^3) a comunidade fitoplanctônica dos reservatórios Taiaçupeba (PEBA), Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) foram classificados, principalmente, na Classe II, ou seja, organismos com volume celular entre 100 e $1.000 \mu\text{m}^3$ (Figura 29).

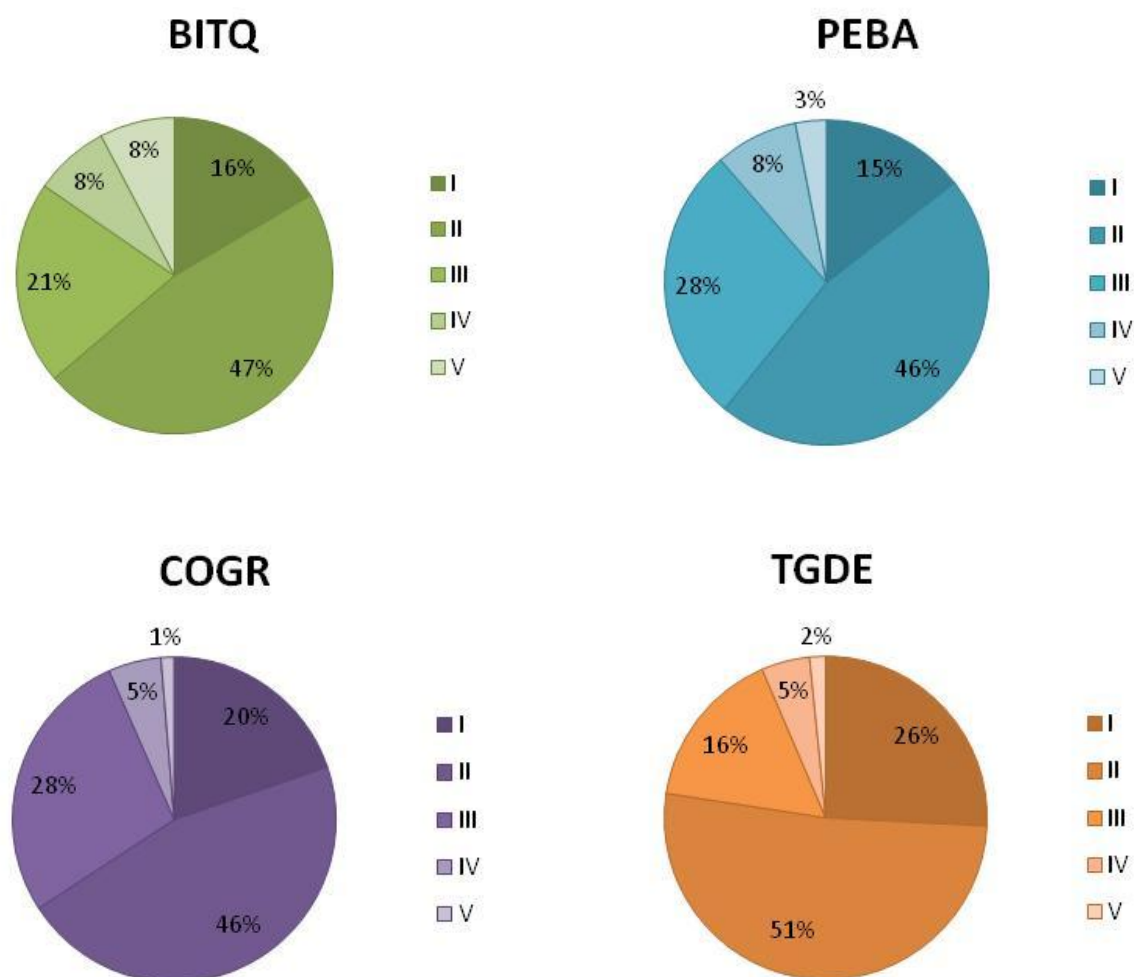


Figura 29. Classificação quanto ao volume celular (μm^3) da Comunidade Fitoplanctônica nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). Classe I ($\leq 100\mu\text{m}^3$), Classe II (>100 a $\leq 1.000\mu\text{m}^3$), Classe III (> 1.000 a $\leq 5.000\mu\text{m}^3$), Classe IV (> 5.000 a $\leq 10.000\mu\text{m}^3$) e Classe V ($> 10.000\mu\text{m}^3$).

Quanto à **frequência de ocorrência (F)** 55% dos táxons no reservatório Taiaçupeba (PEBA) e 35% dos táxons no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) foram classificados como raros ($F < 20\%$). No reservatório Tanque Grande (TGDE), 27% dos táxons foram classificados como frequentes ($50\% \geq F > 80\%$) e no reservatório das Graças (COGR), 29% dos táxons foram classificados como constantes ($F \geq 80\%$), conforme apresentado na Figura 30.

O Anexo I estão apresentados a lista dos táxons fitoplanctônicos classificados como constantes ($F \geq 80\%$) em pelo menos um dos reservatórios estudados.

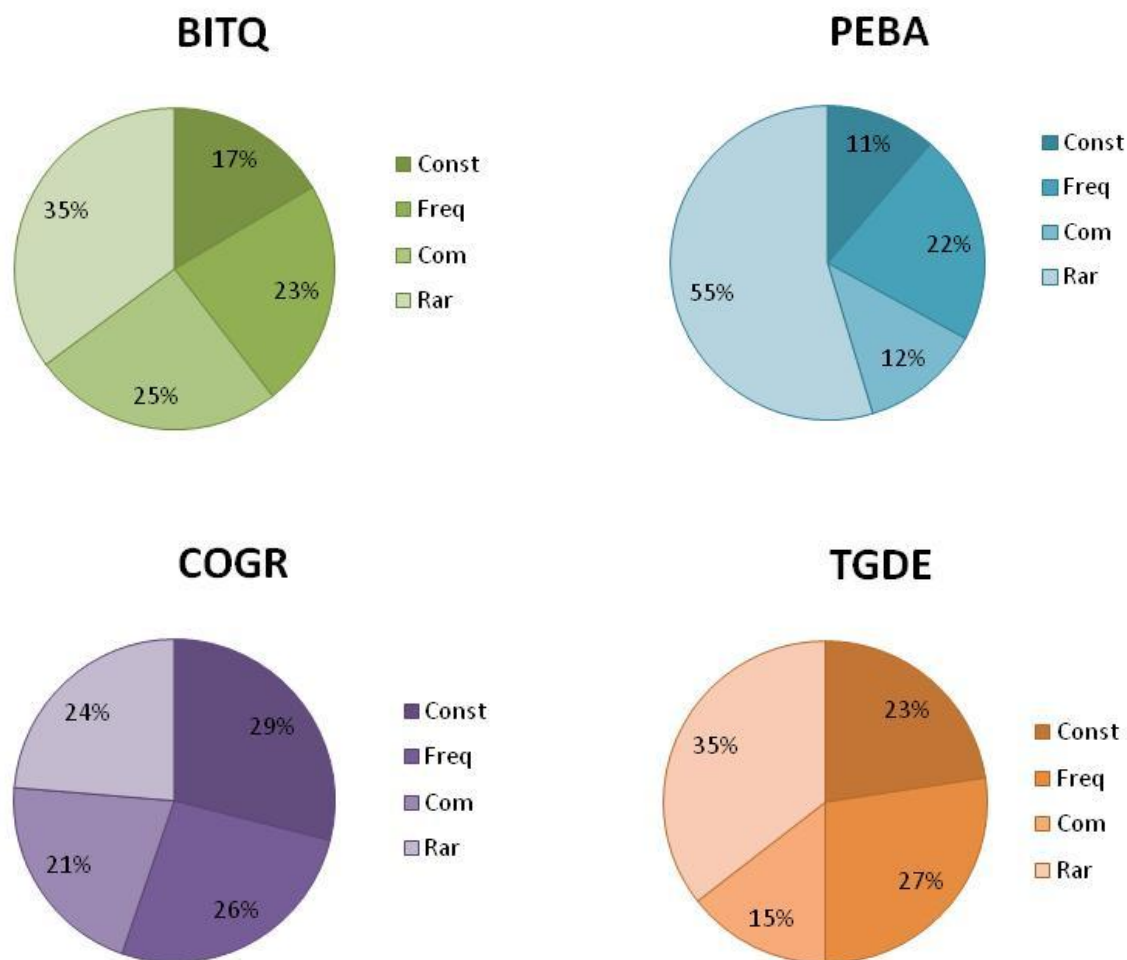


Figura 30. Frequência de ocorrência das espécies e nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE). Const: táxons constantes ($F \geq 80\%$), Freq: táxons frequentes ($50\% \leq F < 80\%$), Com: táxons comuns ($20\% \leq F < 50\%$) e Rar: táxons raros ($F < 20\%$).

Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica

A **riqueza** de táxons variou entre os reservatórios e também ao longo do período de estudo (Figura 31). O maior valor de riqueza foi registrado em dezembro 2011, no reservatório Taiaçupeba (PEBA) com 59 táxons; o menor valor de riqueza, 25 táxons, foi registrado em março e maio de 2012, no reservatório Tanque Grande (TGDE) (Tabela 12).

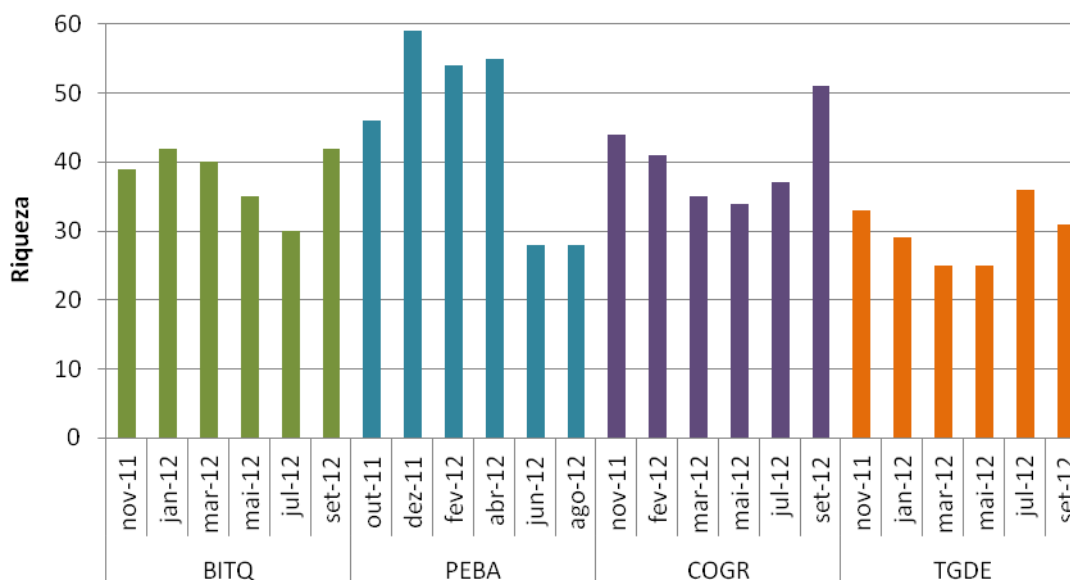


Figura 31. Variação bimestral nos valores de Riqueza de espécies nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Considerando a **densidade total** (org.mL^{-1}) do fitoplâncton (Figura 32), os maiores valores foram registrados no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), em maio e julho de 2012, ($25.000 \text{ org.mL}^{-1}$). Os menores valores de densidade total foram registrados no reservatório Tanque Grande (TGDE), entre 1.200 e $1.900 \text{ org.mL}^{-1}$.

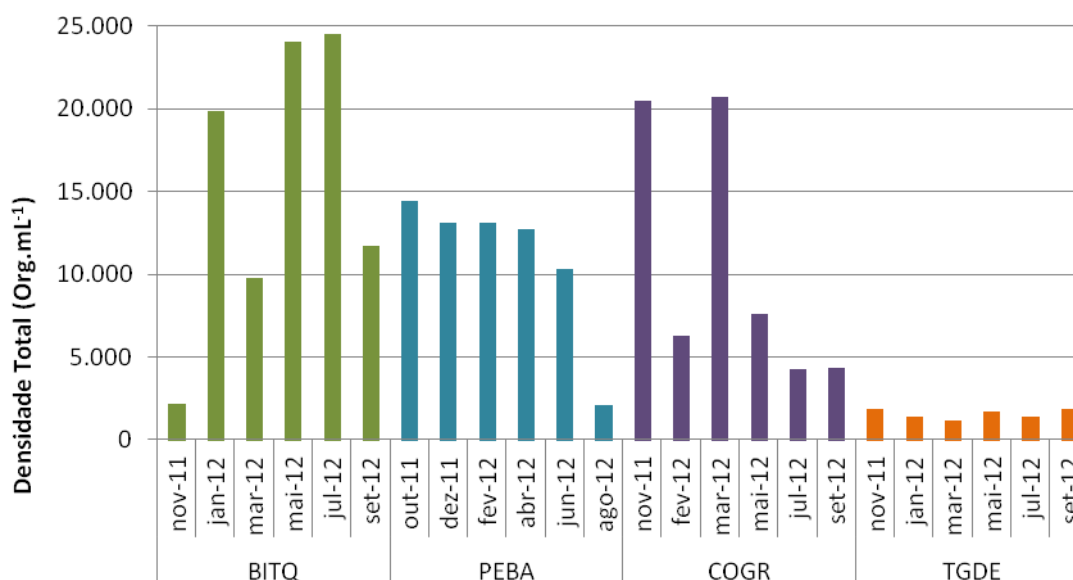


Figura 32. Variação bimestral nos valores de Densidade Total de organismos fitoplancônicos (org.mL^{-1}) nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Os maiores valores de **biovolume total** ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) (Figura 33) foram registrados no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), próximos a $42 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$, em janeiro, maio e julho

de 2012. Os menores valores (entre 0,3 a 1,6 $\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) foram registrados no reservatório Tanque Grande (TGDE), durante todo o período de estudo.

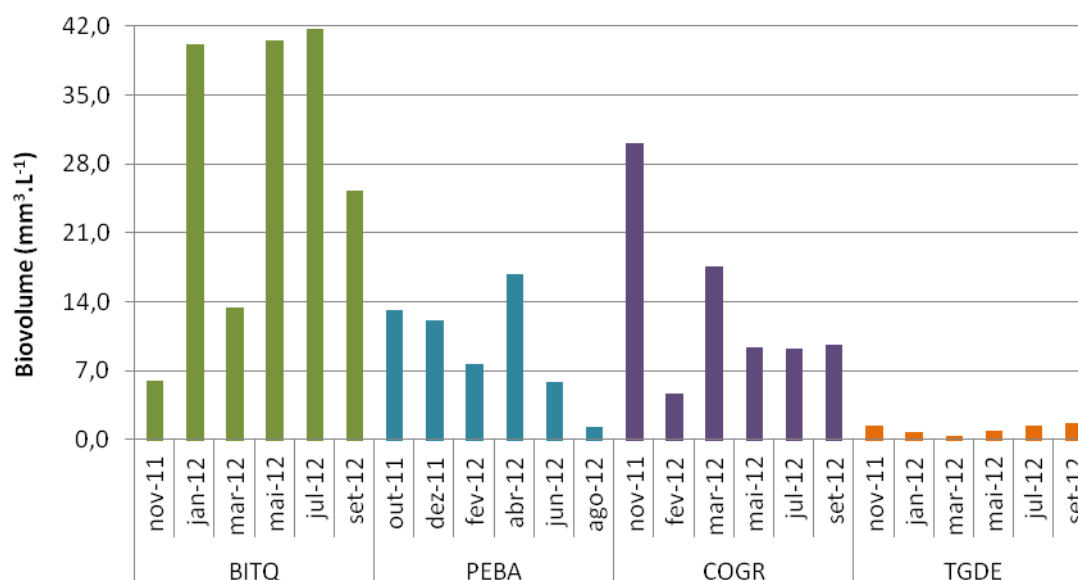


Figura 33. Variação bimestral nos valores de Biovolume Total ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) dos organismos fitoplanctônicos nos quatro reservatórios durante o período de estudo: Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatório Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE).

Para avaliação da **estrutura da comunidade** fitoplanctônica foram calculados os índices de Diversidade (H'), Dominância (DS') e Equitabilidade (J') com base na densidade (org.mL^{-1}) e no biovolume ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) (Tabela 12).

Tabela 12. Valores de riqueza (R), dos índices de diversidade (H'), dominância (DS') e equitabilidade (J') estimados a partir da densidade (org.mL⁻¹) e biovolume (mm³.L⁻¹), nos reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiacupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012 (n= 24).

		R	Densidade			Biovolume		
			H'	DS'	J'	H'	DS'	J'
			(bits.ind ⁻¹)	(ind.mL ⁻¹)		(bits.mm ³)	(mm ³ .L ⁻¹)	
BITQ	Nov/11	39	3,72	0,17	0,70	2,03	0,29	0,38
	Jan/12	42	3,90	0,12	0,72	3,17	0,17	0,59
	Mar/12	40	3,93	0,11	0,74	3,37	0,08	0,63
	Mai/12	35	3,13	0,20	0,61	2,74	0,20	0,54
	Jul/12	30	3,04	0,22	0,62	2,85	0,17	0,58
	Set/12	42	4,02	0,10	0,75	3,24	0,14	0,60
PEBA	Out/11	46	4,34	0,09	0,79	3,72	0,09	0,67
	Dez/11	59	4,64	0,07	0,79	4,16	0,03	0,71
	Fev/12	54	4,41	0,08	0,77	4,18	0,03	0,73
	Abr/12	55	4,79	0,06	0,83	3,68	0,10	0,64
	Jun/12	28	3,06	0,22	0,64	2,61	0,11	0,54
	Ago/12	28	3,64	0,14	0,76	3,09	3,60	0,64
COGR	Nov/11	44	4,40	0,07	0,81	3,00	0,17	0,55
	Fev/12	41	4,16	0,09	0,78	3,96	0,16	0,74
	Mar/12	35	3,98	0,10	0,78	3,06	0,20	0,60
	Mai/12	34	3,88	0,11	0,76	3,27	0,09	0,64
	Jul/12	37	4,39	0,07	0,84	2,95	0,17	0,57
	Set/12	51	4,78	0,05	0,84	3,31	0,05	0,58
TGDE	Nov/11	33	3,86	0,10	0,77	1,76	0,69	0,35
	Jan/12	29	3,86	0,10	0,77	2,27	3,15	0,47
	Mar/12	25	3,43	0,14	0,74	2,24	1,36	0,48
	Mai/12	25	3,03	0,22	0,65	2,42	6,41	0,53
	Jul/12	36	4,06	0,09	0,79	1,96	0,90	0,38
	Set/12	31	3,77	0,11	0,76	2,41	0,60	0,49

As **espécies descritoras** (Tabela 13) da comunidade fitoplanctônica selecionadas a partir do biovolume (mm³.mL⁻¹) somaram: 85,4% (25 táxons) no reservatório Taiacupeba (PEBA), 93,2 % (14 táxons) no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), 91,3% (15 táxons) no reservatório das Graças (COGR) e 91,8% (12 táxons) no reservatório Tanque Grande (TGDE).

No reservatório Taiacupeba (PEBA) foram representadas principalmente por Bacillariophyta (7 táxons), Chlorophyceae, Cyanobacteria, Euglenophyceae e Zygnemaphyceae (3 táxons); no reservatório Billings, Braço Taquacetuba por Cyanobacteria (9 táxons) e Dinophyceae (3 táxons); no reservatório das Graças (COGR) por Zygnemaphyceae (6 táxons) e Bacillariophyta (5 táxons) e no reservatório Tanque Grande por Cryptophyceae e Euglenophyceae (3 táxons) e Chlorophyceae e Cyanobacteria (2 táxons).

Tabela 13. Espécies descritoras da comunidade fitoplancônica, a partir do biovolume ($\text{mm}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$), para cada reservatório estudado com suas respectivas porcentagens de contribuição (%). Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Reservatórios Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE) (n= 24).

	BITQ	%
1	<i>Woronichinia naegeliana</i>	17,7
2	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	14,9
3	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	11,6
4	<i>Planktothrix isothrix</i>	11,2
5	<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	8,2
6	<i>Planktothrix agardhii</i>	6,9
7	<i>Coelosphaerium</i> sp.	5,0
8	<i>Ceratium furcoides</i>	3,7
9	<i>Chroococcus minutus</i>	3,0
10	<i>Aphanizomenon gracile</i>	2,4
11	<i>Dolichospermum planctonicum</i>	2,4
12	<i>Peridinium</i> sp.1	2,3
13	<i>Gymnodinium</i> sp.	2,0
14	<i>Fragilaria</i> sp.4	2,0
	Total	93,2
	PEBA	%
1	<i>Peridinium</i> sp.3	22,9
2	<i>Lepocinclis</i> sp.	7,4
3	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	6,7
4	<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	5,5
5	<i>Urosolenia</i> sp.2	4,2
6	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i>	3,6
7	<i>Planktothrix isothrix</i>	3,2
8	<i>Trachelomonas</i> sp.3	3,0
9	<i>Gymnodinium</i> sp.	3,0
10	<i>Navicula</i> sp.	2,9
11	<i>Mougeotia</i> sp.	2,3
12	<i>Fragilaria</i> sp.4	2,2
13	<i>Fragilaria</i> sp.2	2,2
14	<i>Pandorina morum</i>	2,0
15	<i>Desmodesmus</i> sp.9	1,9
16	<i>Urosolenia</i> sp.1	1,7
17	<i>Cosmarium contractum</i>	1,5
18	<i>Cryptomonas erosa</i>	1,3
19	<i>Dinobryon</i> sp.	1,3
20	<i>Aulacoseira granulata</i>	1,2
21	<i>Dictyosphaerium</i> sp.1	1,1
22	<i>Cosmarium bioculatum</i>	1,1
23	<i>Cryptomonas brasiliensis</i>	1,1
24	<i>Trachelomonas curta</i>	1,1
25	<i>Synechocystis aquatilis</i>	1,0
	Total	85,4
	COGR	%
1	<i>Peridinium</i> sp.3	18,8
2	<i>Cosmarium bioculatum</i>	15,3
3	<i>Aulacoseira</i> sp.	13,5

4	<i>Fragilaria</i> sp.4	8,6
5	<i>Cosmarium contractum</i>	8,2
6	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	5,1
7	<i>Staurastrum tetracerum</i>	3,6
8	<i>Cryptomonas curvata</i>	3,0
9	<i>Staurodesmus triangularis</i>	2,7
10	<i>Dinobryon</i> sp.	2,5
11	<i>Urosolenia</i> sp.2	2,3
12	<i>Staurastrum anatinum</i>	2,3
13	<i>Cosmarium majae</i>	2,1
14	<i>Aulacoseira granulata</i>	1,9
15	<i>Dictyosphaerium</i> sp.1	1,5
Total		91,3
TGDE		%
1	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	37,3
2	<i>Peridinium</i> sp.3	34,0
3	<i>Dictyosphaerium</i> sp.3	3,4
4	<i>Synechocystis aquatilis</i>	2,9
5	<i>Chroococcus</i> cf. <i>turgidus</i>	2,8
6	<i>Cryptomonas marssonii</i>	2,5
7	<i>Rhodomonas lacustris</i>	2,2
8	<i>Strombomonas rotunda</i>	1,8
9	<i>Monoraphidium</i> sp.	1,3
10	<i>Cryptomonas erosa</i>	1,3
11	<i>Trachelomonas</i> sp.6	1,3
12	<i>Trachelomonas volvocina</i>	1,1
Total		91,8

Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”)

Foram selecionadas com base no biovolume ($\text{mm}^3.\text{mL}^{-1}$) ao longo de todo o período de estudo e entre os quatro reservatórios estudados ($n= 24$), 48 espécies descritoras das comunidades fitoplanctônicas (Tabela 14). Estas foram, então, classificadas com base nos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”), segundo Kruk *et al.* 2010.

Tabela 14. Espécies descritoras a partir do biovolume ($\text{mm}^3 \cdot \text{mL}^{-1}$) nos reservatórios Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), Billings, das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), suas respectivas formas geométricas (FG) (cil: cilindro; esf: esfera; esfo: esferoide; cone: cone; bx retn: paralelepípedo), volume celular (μm^3), área de superfície (μm^2), razão superfície/volume (S/V), máxima dimensão linear (MDL) e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) (Grupos I, II, III, IV, V, VI e VII), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012 (n= 24).

Código	Táxon	FG	Volume (μm^3)	Área (μm^2)	S/V	MDL (μm)	MBFGs
Bacillariophyta							
AulGra	<i>Aulacoseira granulata</i>	cil	2.922,7	2.184,7	0,7	103,0	VI
Aulasp	<i>Aulacoseira</i> sp.	cil	7.119,1	2.165,5	0,3	34,9	VI
CycMen	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	cil	7.020,5	2.064,1	0,3	23,6	VI
Fragi2	<i>Fragilaria</i> sp.2	esfo	324,6	475,8	1,5	59,9	VI
Fragi4	<i>Fragilaria</i> sp.4	bx retan	64.662,3	29.714,2	0,5	348,0	VI
Navicu	<i>Navicula</i> sp.	esfo	776,4	559,4	0,7	37,8	VI
Uroso1	<i>Urosolenia</i> sp.1	esfo	844,5	770,9	0,9	61,4	VI
Uroso2	<i>Urosolenia</i> sp.2	esfo	1.664,0	1.422,5	0,9	104,3	VI
Chlamydomyceae							
Pandor	<i>Pandorina morum</i>	esfo	12.479,9	2.606,3	0,2	39,8	VII
Chlorophyceae							
AnkFus	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i>	cil+2cone	1.002,0	1.653,0	1,6	75,0	IV
Desmo9	<i>Desmodesmus</i> sp.9	esfo	5.712,4	3.183,4	0,6	25,4	IV
Dicty1	<i>Dictyosphaerium</i> sp.1	esf	2.599,8	1.828,7	0,7	10,3	VII
Dicty3	<i>Dictyosphaerium</i> sp.3	esf	4.189,6	3.990,1	1,0	8,0	VII
Monosp	<i>Monoraphidium</i> sp.	cone	136,2	141,6	1,0	16,0	IV
Chrysophyceae							
Dinosp	<i>Dinobryon</i> sp.	esfo	1.603,4	705,6	0,4	23,8	II
Cryptophyceae							
CryBra	<i>Cryptomonas brasiliensis</i>	cone+0,5esf	550,8	1.644,8	3,0	12,8	V
CryCur	<i>Cryptomonas curvata</i>	cone+0,5esf	8.225,9	22.370,2	2,7	38,8	V
CryEro	<i>Cryptomonas erosa</i>	esfo	1.441,1	634,9	0,5	20,2	V
CryMar	<i>Cryptomonas marssonii</i>	cone+0,5esf	672,0	1.957,5	2,9	14,7	V
RhoLac	<i>Rhodomonas lacustris</i>	cone+0,5esf	216,0	600,7	2,8	11,0	V
Cyanobacteria							
AphGra	<i>Aphanizomenon gracile</i>	cil	2.411,9	2.443,0	1,0	192,9	III
ChrTur	<i>Chroococcus</i> cf. <i>turgidus</i>	esf	2.581,5	910,1	0,4	17,1	VII
ChrMin	<i>Chroococcus minutus</i>	esf	181,9	155,3	0,9	8,5	VII
Coelsp	<i>Coeloasphaerium</i> sp.	esf	16.612,8	1.534,8	0,1	46,5	VII
CylRac	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	cil	2.081,9	2.077,1	1,0	106,4	III
DolPla	<i>Dolichospermum planctonicum</i>	cil	8.144,5	5.217,7	0,6	259,6	III
PlaAga	<i>Planktothrix agardhii</i>	cil	3.072,9	2.406,3	0,8	151,1	III
PlaIso	<i>Planktothrix isothrix</i>	cil	3.324,4	2.387,9	0,7	130,7	III
SphaBra	<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	esf	125.137,0	4.929,5	0,1	111,3	VII
SynAqu	<i>Synechocystis aquatilis</i>	esf	69,9	82,0	1,2	5,4	I
Woroni	<i>Woronichinia naegeliana</i>	esf	54.741,3	4.114,4	0,1	59,8	VII

Dinophyceae

CerFur	<i>Ceratium furcoides</i>	3cone+esfo	58.026,8	11.570,0	0,2	197,2	V
Gymno	<i>Gymnodinium</i> sp.	esf	5.514,7	1.509,5	0,3	23,8	V
PerUmb	<i>Peridinium</i> sp.1	esf	55.409,2	7.028,7	0,1	48,0	V
Peridi2	<i>Peridinium</i> sp.3	esfo	2.470,2	889,7	0,4	19,1	V

Euglenophyceae

Lepoci	<i>Lepocinclis</i> sp.	esfo	1.707,7	695,4	0,4	17,2	V
StrRot	<i>Strombomonas rotunda</i>	esfo	3.962,0	1.222,4	0,3	24,7	V
TraCur	<i>Trachelomonas curta</i>	esfo	1.334,1	544,5	0,5	14,3	V
Trach3	<i>Trachelomonas</i> sp.3	esfo	6.834,6	1.802,6	0,3	33,3	V
Trach4	<i>Trachelomonas</i> sp.4	esf	3.240,5	1.059,0	0,3	19,0	V
TraVol	<i>Trachelomonas volvocina</i>	esfo	1.015,3	488,5	0,5	12,5	V

Zygnemaphyceae

CosBio	<i>Cosmarium bioculatum</i>	esfo	2.568,7	931,3	0,4	22,4	IV
CosCon	<i>Cosmarium contractum</i>	esfo	4.363,4	1.327,1	0,3	26,6	IV
CosMaj	<i>Cosmarium majae</i>	esfo	222,9	171,7	0,9	7,8	IV
Mougeo	<i>Mougeotia</i> sp.	cil	3.382,3	2.128,2	0,8	98,7	IV
StaAna	<i>Staurostrum anatinum</i>	2cone	744,7	498,5	0,7	26,7	IV
StaTet	<i>Staurostrum tetracerum</i>	2cone+4cil	609,8	629,0	1,1	17,1	IV
StaTri	<i>Staurodesmus triangularis</i>	cone	1.519,9	716,0	0,5	22,0	IV

As 14 espécies descritoras (que juntas somaram 93,2%) no reservatório Billings, Braço Taquacetuba (Tabela 13) foram classificadas em quatro grupos MBFGs (Grupos III, V, VI e VII) ao longo de todo o período de estudo (Figura 34A). Na amostragem de novembro de 2011, registrou-se o predomínio do Grupo V (95% do biovolume total).

As 25 espécies descritoras da comunidade fitoplantônica (que juntas somaram 85,4%) no reservatório Taiacupeba (Tabela 13) foram classificadas em sete MBFGs (Grupo I, II, III, IV, V, VI e VII) ao longo do período de estudo (Figura 34C), ou seja, todos os grupos estão representados nesse sistema. Porém, em agosto de 2012, foram registrados somente três grupos (Grupos I, V e VI).

No reservatório das Graças, as 15 espécies descritoras (que juntas somaram 91,3%) foram classificadas em cinco MBFGs (Grupos II, IV, V, VI e VII) ao longo do período de estudo (Tabela 13, Figura 34E).

As 12 espécies descritoras (que juntas somaram 91,8%) no reservatório Tanque Grande (Tabela 13) foram classificadas em cinco MBFGs (Grupos I, IV, V, VI e VII) ao longo do período estudado (Figura 34G).

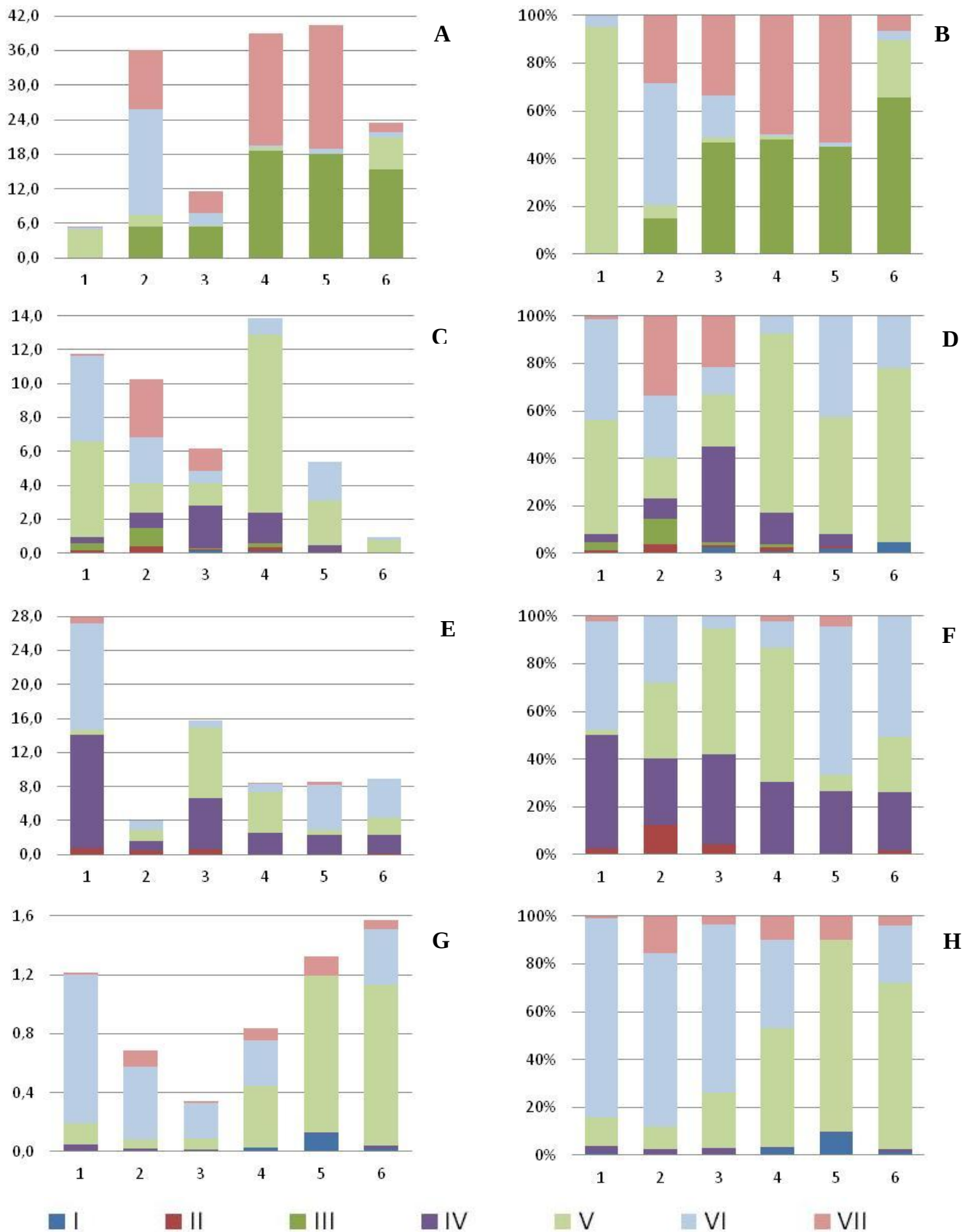


Figura 34. Distribuição bimestral das somas dos biovolumes das espécies descritoras correspondentes aos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) (A, C, E, G) e de suas respectivas porcentagens de contribuição (B, D, F, H) para cada reservatório: **A e B:** Reservatório Billings, Braço Taquacetuba; **C e D:** Reservatório Taiaçupeba; **E e F:** Reservatório das Graças; **G e H:** Reservatório Tanque Grande.

A avaliação conjunta dos resultados a partir das matrizes de biovolume dos sete Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) foi resumida pela análise de componentes principais (PCA), que apresentou 77,9% da explicabilidade da variabilidade conjunta dos dados em seus dois primeiros componentes (Figura 35, Tabela 14).

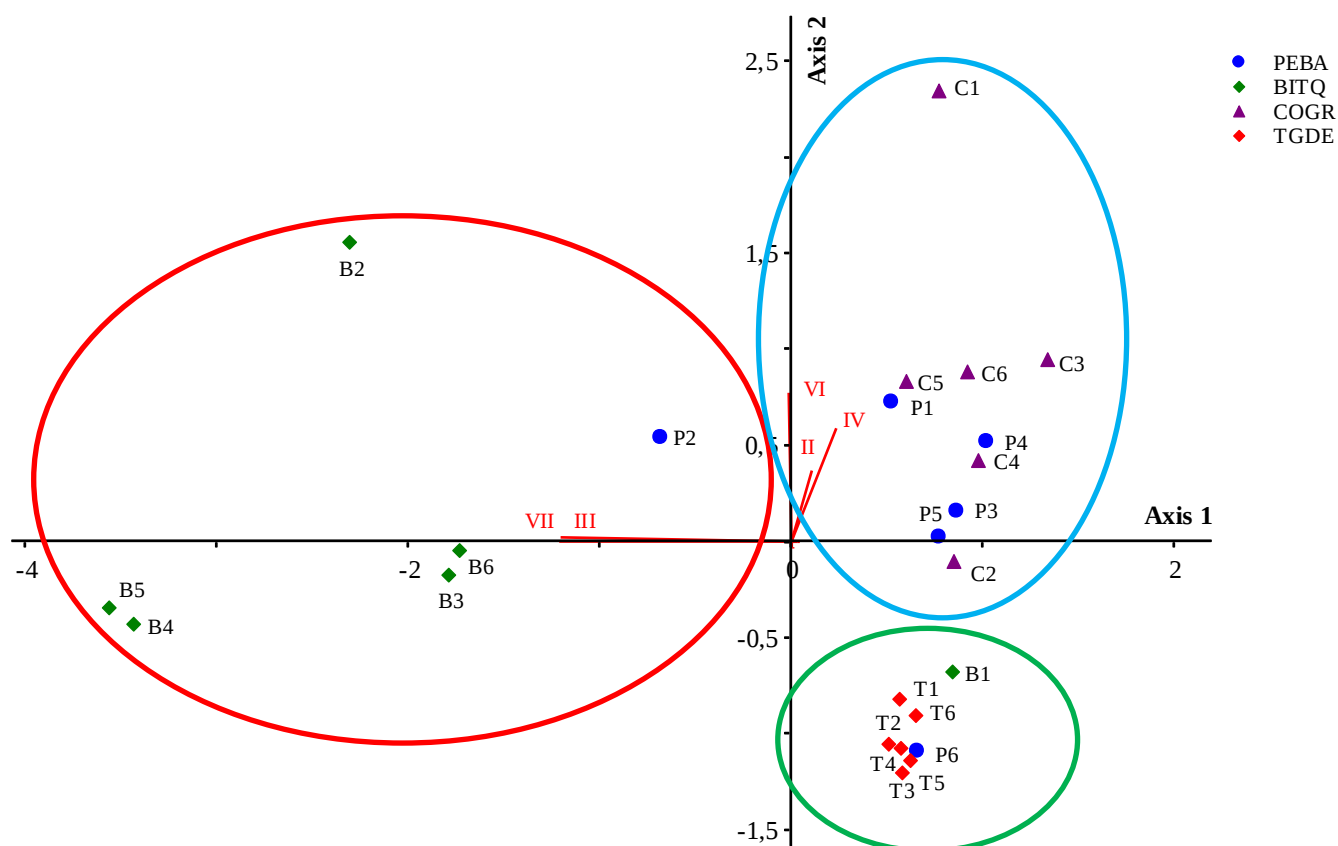


Figura 35. Análise dos componentes principais com base nos sete Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) de 24 amostragens nos quatro reservatórios durante o período de estudo. As estações de amostragem foram identificadas da seguinte forma: Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) B1: novembro de 2011, B2: janeiro de 2012, B3: março de 2012, B4: maio de 2012, B5: julho de 2012 e B6: setembro de 2012; Reservatório Taiaçupeba (PEBA) P1: outubro de 2011, P2: dezembro de 2011, P3: fevereiro de 2012, P4: abril de 2012, P5: junho de 2012 e P6: agosto de 2012; Reservatório das Graças (COGR) C1: novembro de 2011, C2: fevereiro de 2012, C3: março de 2012, C4: maio de 2012, C5: julho de 2012 e C6: setembro de 2012; Reservatório Tanque Grande (TGDE) T1: novembro de 2011, T2: janeiro de 2012, T3: março de 2012, T4: maio de 2012, T5: julho de 2012 e T6: setembro de 2012. Os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) foram identificados conforme seu agrupamento: I, II, III, IV, V, VI e VII.

As unidades amostrais referentes às amostragens do reservatório Billings, Braço Taquacetuba (exceto B1) e a unidade amostral P2 do reservatório Taiaçupeba ordenaram-se do lado negativo do eixo 1, associadas aos Grupos III e VII.

As unidades amostrais P1, P3, P4 e P5 do reservatório Taiaçupeba e as unidades amostrais do reservatório das Graças ordenaram-se com o lado positivo do eixo 1 associados aos Grupos II, IV e VI.

Tabela 15. Coeficientes de correlação de Pearson entre os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) e os dois primeiros eixos da ordenação para o período de estudo (n= 24).

Variável	Componentes Principais	
	Eixo 1	Eixo 2
Grupo I	0,300	-0,079
Grupo II	0,292	0,595
Grupo III	-0,964	0,043
Grupo IV	0,425	0,750
Grupo V	0,302	0,397
Grupo VI	-0,109	0,860
Grupo VII	-0,964	0,150
Total de explicabilidade:	54,8%	23,1%

A análise de correspondência canônica (CCA) foi realizada a partir das matrizes de biovolume dos sete Grupos Funcionais Baseados na Morfologia do fitoplâncton e de seis variáveis ambientais, para as estações amostrais, ao longo do período de estudo (Figura 36, Tabela 15). Os autovalores para o eixo 1 ($\lambda=0,459$) e 2 ($\lambda=0,082$) explicaram conjuntamente 60% da variabilidade dos dados. As correlações espécie-ambiente foram elevadas para o eixo 1 ($r = 0,916$) e 2 ($r = 0,811$). O teste de Monte Carlo revelou que os dois primeiro eixos foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$).

As correlações indicaram que o pH, a Turbidez e a Clorofila *a* foram as variáveis ambientais mais importantes na ordenação do eixo 1. Na ordenação do eixo 2, as correlações indicaram que o nitrogênio Kjeldahl total foi a variável mais importante. No plano fatorial formado por estes dois eixos foi possível reconhecer a formação de três agrupamentos (Figura 36). As unidades amostrais referentes às amostragens do reservatório Billings, Braço Taquacetuba (exceto B1), ordenaram-se do lado negativo do eixo 1, associadas aos Grupos III e VII. As unidades amostrais do reservatório das Graças (exceto C5) ordenaram-se do lado positivo do eixo 2, associadas aos Grupos II e IV. O lado negativo do eixo 2 ordenaram-se com as unidades amostrais do reservatório Taiaçupeba e Tanque Grande associadas aos Grupos I, V e VI.

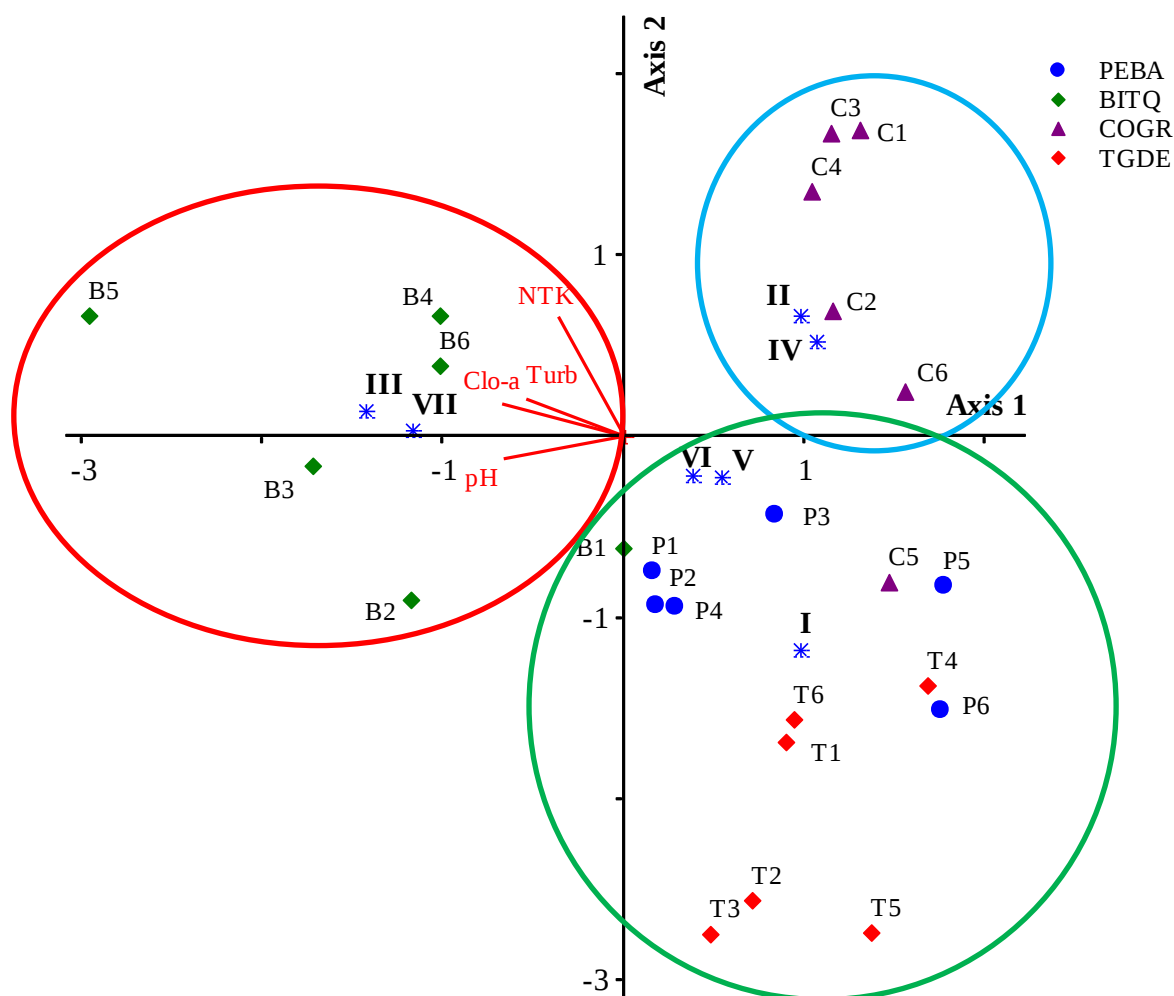


Figura 36. Ordenação “biplot”, pela CCA, das estações de amostragem e dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”): A) eixo 1 e 2, B) eixo 1 e 3. As estações de amostragem foram identificadas da seguinte forma: Reservatório Billings, Braço Taquacetuba (BITQ) B1: novembro de 2011, B2: janeiro de 2012, B3: março de 2012, B4: maio de 2012, B5: julho de 2012 e B6: setembro de 2012; Reservatório Taiaçupeba (PEBA) P1: outubro de 2011, P2: dezembro de 2011, P3: fevereiro de 2012, P4: abril de 2012, P5: junho de 2012 e P6: agosto de 2012; Reservatório das Graças (COGR) C1: novembro de 2011, C2: fevereiro de 2012, C3: março de 2012, C4: maio de 2012, C5: julho de 2012 e C6: setembro de 2012; Reservatório Tanque Grande (TGDE) T1: novembro de 2011, T2: janeiro de 2012, T3: março de 2012, T4: maio de 2012, T5: julho de 2012 e T6: setembro de 2012. As variáveis físicas e químicas estão abreviadas da seguinte forma: pH: Potencial hidrogeniônico, Turb: Turbidez (NTU), Secchi: Transparência (m), Clo-a: Clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$), PT: Fósforo total (mg.L^{-1}) e NTK: Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L^{-1}). Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFGs “morphological-based functional groups”) conforme seu agrupamento: I, II, III, IV, V, VI e VII.

Tabela 16. Síntese dos resultados da Análise de Correspondência Canônica (CCA) realizada a partir de seis variáveis ambientais e sete variáveis biológicas ($n=24$).

	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores (λ)	0,459	0,082
Porcentagem de Variância explicada (%)	51%	9%
Porcentagem de Variância acumulada	51%	60%
Correlação de Pearson (espécie-ambiente)	0,916	0,811
Teste de Monte Carlo (p) Autovalores	0,001	0,044
Teste de Monte Carlo (p) Correlações espécies-ambiente	0,001	0,003

Tabela 17. Coeficientes canônicos e correlações “intra-set” das seis variáveis ambientais e com os eixos 1 e 2 da CCA, realizada com sete variáveis biológicas (n= 24).

Variável	Coeficiente Canônico	
	Eixo 1	Eixo 2
Potencial hidrogeniônico (pH)	-0,875	-0,017
Transparência (m) (Secchi)	0,290	0,143
Turbidez (NTU) (Turb)	-0,514	-0,151
Clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) (Clo-a)	-0,857	0,553
Fósforo total (mg.L^{-1}) (PT)	-0,305	0,320
Nitrogênio Kjeldahl total (mg.L^{-1}) (NTK)	-0,571	0,731

Tabela 18. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis biológicas (Grupos Funcionais Baseados na Morfologia - MBFGs “morphological-based functional groups”) e os dois primeiros eixos da ordenação (n= 24).

Variável	Abreviações	Correlação	
		Eixo 1	Eixo 2
Grupo I	I	0,279	-0,318
Grupo II	II	0,246	0,544
Grupo III	III	-0,882	0,306
Grupo IV	IV	0,376	0,621
Grupo V	V	0,097	0,345
Grupo VI	VI	-0,067	0,309
Grupo VII	VII	-0,832	0,283

7. DISCUSSÃO

Dos 169 táxons registrados ao longo de todo período de estudo nos quatro reservatórios estudados, foram selecionadas 48 espécies descritoras da comunidade fitoplanctônica e classificadas com base nos sete grupos funcionais baseados na morfologia (MBFGs), segundo Kruk *et al.* (2010).

No reservatório Taiaçupeba, foram registrados sete MBFGs (Grupo I, II, III, IV, V, VI e VII) e no reservatório Billings, Braço Taiaçupeba, apenas quatro grupos MBFGs (Grupos III, V, VI e VII). Os reservatórios das Graças e Tanque Grande registraram cinco MBFGs (Grupos II, IV, V, VI e VII e Grupos I, IV, V, VI e VII, respectivamente) cada um ao longo do período de estudo.

Reservatório Billings, Braço Taquacetuba: ambiente eutrófico.

No reservatório Billings, Braço Taquacetuba, registrou-se alternância no predomínio dos **Grupos III e VII** ao longo do período, associados aos maiores valores de pH, turbidez, nitrogênio Kjeldahl total e clorofila *a*.

Segundo Kruk *et al.* (2010), o **Grupo III** é composto por grandes organismos filamentosos, com aerótopos e baixa taxa de crescimento, possuem altos valores de razão $s.v^{-1}$. Ainda, de acordo Naselli-Flores & Barone (2007), tais características morfológicas lhes conferem tolerância a ambientes com baixa disponibilidade de luz. Segundo Ferber *et al.* (2004) a presença de aerótopos pode determinar baixas taxas de sedimentação. As cianobactérias *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Planktothrix agardhii* e *P. isothrix*, principais representantes do Grupo III nesse reservatório, certamente foram favorecidas por apresentarem os aerótopos.

Pacheco *et al.* (2012) relacionaram a ocorrência do grupo III à altos valores de temperatura da água e em ambientes eutróficos. Como também foi observado neste sistema.

Com relação ao **Grupo VII**, Kruk & Segura (2012) relacionaram a ocorrência deste grupo a altas temperaturas (24 a 28°C), ampla zona de mistura da coluna d'água e altas concentrações de nutrientes disponíveis.

Este grupo compreende grandes organismos coloniais mucilaginosos, com baixa razão $s.v^{-1}$ e podem apresentar aerótopos (Kruk *et al.* 2010). A presença de mucilagem e aerótopos em grandes colônias fornece o controle da flutuabilidade. O grande tamanho e volume destes organismos, bem como a baixa razão $s.v^{-1}$, tende a tornar essas espécies sensíveis à baixa disponibilidade de recursos, e sua ocorrência é associada a corpos d'água com altos graus de trofia (Kruk *et al.* 2010).

Pacheco *et al.* (2012) associou altos valores de biovolume do **Grupo VII** à baixa disponibilidade de luz e a altos valores de nutrientes disponíveis (sistemas eutróficos), no entanto, ressalta que a aplicação dos MBFGs para a classificação do estado trófico de lagos requer futura

avaliação, uma vez que o **Grupo VII** pode compreender espécies típicas tanto de sistemas oligotróficos como de sistemas eutróficos. No reservatório Billings o **Grupo VII** foi constituído especialmente por *Woronichinia naegeliana* e *Sphaerocavum brasiliense*, cianobactérias com aerótopos e reportadas a ambientes eutrofizados.

Assim, de acordo com Dow & Swoboda, (2000) e Vidal & Kruk (2008), a dominância dos **Grupos III e VII** está relacionada a possíveis impactos na qualidade da água e à formação de florações de cianobactérias potencialmente tóxicas como foi registrado durante este estudo no reservatório Billings.

Cabe ressaltar que na primeira amostragem do período de estudo, em novembro de 2011, registrou-se o predomínio do **Grupo V**, com maior contribuição de *Ceratium furcoides* (68% do biovolume total), e os menores valores de biovolume total ($5,2 \text{ mm}^3.\text{mL}^{-1}$). O **Grupo V** é caracterizado por organismos com moderado tamanho e valores de razão $s.v^{-1}$ e associados à presença de flagelos (Kruk *et al.* 2010). Kruk & Segura (2012) relacionam a ocorrência deste grupo a ambientes com baixa disponibilidade de luz e nitrogênio total, amplas zonas de mistura, estações do ano com temperaturas moderadas ($\text{Temp} < 20^\circ\text{C}$) e lagos profundo de mesotróficos a eutróficos. Ainda segundo, Graham & Wilcox (2000), esses organismos são capazes de produzir cistos de resistência e em alguns casos possuem a capacidade de mixotrofia ou fagotrofia.

Matsumura-Tundisi *et al.* (2010) registraram a ocorrência de floração de *Ceratium furcoides* no reservatório Billings, Braço Taquacetuba e associaram este fenômeno a intensa mistura vertical de coluna de água. Essa turbulência pode favorecer a ressuspensão dos cistos do sedimento, promovendo o crescimento desta espécie.

Assim, em novembro de 2011, o sistema foi caracterizado pela mistura da coluna d'água, corroborando com os resultados descritos para o mesmo sistema por Matsumura-Tundisi *et al.* (2010) e as menores concentrações de NKT ($0,7\text{mg.L}^{-1}$) o que corrobora com Kruk & Segura (2012).

Em janeiro de 2012, o **Grupo VI** foi predominante, representado especialmente por *Cyclotella meneghiniana*. Este grupo é composto exclusivamente por Bacillariophyta, que por sua vez, reúne organismos bem diversificados quanto ao tamanho celular; caracterizado pela presença de sílica na parede celular (Kruk *et al.* 2010). Estes organismos possuem altas taxas de sedimentação em função do exoesqueleto formado por sílica, porém estão muito bem adaptados a processos de ressuspensão na coluna d'água (Witkowski *et al.* 2000, Kruk *et al.* 2010). *Cyclotella meneghiniana* é associada a elevadas concentrações de fósforo (Yang *et al.* 2008), além de ser tolerante a efluentes domésticos e à poluição industrial (Sabater & Sabater 1988), e de acordo com Wengrat (2011) esta espécie foi também registrada a condições eutróficas e supereutróficas no Complexo Billings. Nos resultados encontrados no presente estudo, a espécie esteve associada às

altas concentrações de PT ($0,08 \text{ mg.mL}^{-1}$) e Clorofila *a* ($38,95 \text{ }\mu\text{S.L}^{-1}$), corroborando os resultados encontrados por Yang *et al.* (2008) e por Wengrat (2011), também para o reservatório Billings.

Assim os MBFGs registrados na Billings, Braço Taquacetuba são compostos por espécies características de sistemas eutróficos, estando de acordo com a literatura.

A eutrofização no complexo Billings é reportada desde 1951 (Rocha & Branco 1985) e vem se agravando, principalmente, pelos quase 70 anos de bombeamento de esgoto gerado em parte da RMSP, via Rio Tietê e Rio Pinheiros. Segundo Capobianco & Whately (2002) a ressuspensão de sedimentos contaminados também contribui para este processo.

Fatores físicos, como fluxo de água e padrões de circulação podem controlar a produtividade de represas e ecossistemas lênticos, além da disponibilidade de nutrientes. Lamparelli (2004) constatou que valores equivalentes de fósforo produzem maiores concentrações de clorofila *a* no reservatório Billings quando comparado a outros reservatórios do Estado de São Paulo. O tempo de residência também interfere no material em suspensão e na sedimentação, de forma que quanto maior o tempo de residência, menor a concentração de materiais em suspensão e maior sua sedimentação (Hakanson 2005).

Reservatório Taiaçupeba: ambiente mesotrófico

No reservatório Taiaçupeba, registrou-se alternância no predomínio dos **Grupos V e VI** ao longo de todo período, associados aos menores valores de turbidez, menores concentrações de nitrogênio Kjeldahl total e baixas temperaturas (19 a 20°C).

O **Grupo V**, segundo Kruk *et al.* (2010), é caracterizado por organismos com moderado tamanho e razão $s.v^{-1}$, com a presença de flagelos. Neste estudo o **Grupo V** foi representado por *Peridinium* sp.3 e *Lepocinclis* sp. Kruk & Segura (2012) relacionam a ocorrência deste grupo a baixa disponibilidade de luz e nitrogênio total, amplas zonas de mistura, temperaturas moderadas ($\leq 20^\circ\text{C}$) e sistemas profundos de mesotróficos a eutróficos.

O **Grupo VI** foi representado principalmente por *Cyclotella meneghiniana* e *Urosolenia* sp.2. Este grupo é composto exclusivamente por Bacillariophyta e reúne organismos bem diversificados quanto ao tamanho celular, e presença de sílica na parede celular (Kruk *et al.* 2010). Apesar de terem uma ampla gama de respostas aos diferentes estados tróficos (Reynolds *et al.* 2002), seus representantes são melhores competidores em temperaturas mais baixas (Tilman 1982, Tilman *et al.* 1986). Ainda, Kruk & Segura (2012) relacionam a ocorrência deste grupo a ambientes com baixa disponibilidade nitrogênio total.

Em dezembro de 2011, registrou-se a ocorrência do **Grupo VII** e em fevereiro de 2012 do **Grupo IV**. O **Grupo VII** reúne grandes organismos coloniais mucilaginosos, com baixa razão $s.v^{-1}$ e que podem apresentar aerotopos e o **Grupo IV** reúne é caracterizado por organismos de tamanho

médio e sem estruturas especializadas que apresentam moderada tolerância à limitação de recursos (Kruk *et al.* 2010). Estas unidades amostrais foram caracterizadas por altas temperaturas da água (25 e 26°C), baixos valores de turbidez, estratificação térmica nos primeiros 2m da coluna d'água e as maiores concentrações de NTK (0,63 e 0,70 mg.L⁻¹) e PT (0,04 e 0,06 mg.L⁻¹) para o período estudado.

Para este sistema o **Grupo VII** foi representado, principalmente por *Sphaerocavum brasiliense*. Kruk & Segura (2012) relacionaram a ocorrência do **Grupo VII** a altas temperaturas (24 a 28°C) e altas taxas de nutrientes disponíveis. Ainda, segundo estes autores, a presença de mucilagem e aerotopos em grandes colônias fornece o controle da flutuabilidade. A preferência por temperaturas elevadas pode indicar coluna de água estratificada e estável e é associado com o domínio deste grupo em vários lagos rasos tropicais (Ganf & Viner 1973, Huisman *et al.* 2005).

Ankistrodesmus fusiformis e *Mougeotia* sp. foram as espécies representantes do **Grupo IV**, nesse sistema, segundo Pacheco *et al.* (2012), a ocorrência desse grupo foi associada a ambientes oligo-mesotróficos e ainda, Segura & Kruk (2012) mencionam associação com alta disponibilidade de luz na coluna d'água.

Assim, os MBFGs registrados no reservatório Taiaçupeba, são compostos por espécies características de sistemas mesotróficos, estando de acordo com a literatura.

Reservatório das Graças: ambiente mesotrófico

No reservatório das Graças, registrou-se a alternância entre os **Grupos IV, V e VI**. Este sistema foi caracterizado por apresentar altos valores de transparência da água, estratificação do primeiro metro da coluna d'água, baixas concentrações de NTK e águas ácidas (pH 5,9 a 7,0).

Neste ambiente, o **Grupo IV** foi representado principalmente por *Cosmarium bioculatum* e *Cosmarium contractum*. De acordo com Kruk *et al.* 2010 o **Grupo IV** é caracterizado por organismos de tamanho médio e sem estruturas especializadas e que apresentam moderada tolerância à limitação de recursos. O gênero *Cosmarium*, segundo Reynolds *et al.* (2002), está associado a ambientes mesotróficos, altos valores de pH e estratificação da coluna d'água. Segundo Pacheco *et al.* (2012), a ocorrência desse grupo foi associada a ambientes oligo-mesotróficos e ainda, Segura & Kruk (2012) mencionam que este grupo foi associado a alta disponibilidade de luz na coluna d'água.

O **Grupo V** foi representado pelos flagelados *Cryptomonas curvata* e *Peridinium* sp.3. Segundo Kruk *et al.* (2010), este grupo é caracterizado por organismos com moderado tamanho e valores de razão s.v⁻¹ e associados à presença de flagelos. Graham & Wilcox (2000) destacam que tais características morfológicas permitem o deslocamento em busca de melhores condições de recursos (por exemplo, nutrientes) e em alguns casos com a capacidade mixotrófica ou fagotrófica.

Segundo Oliveira & Calheiros (2000) a abundância e a dominância de Cryptophyceae no Pantanal foram atribuídas a condições adversas para o desenvolvimento de outros grupos, isto é, baixa disponibilidade de nutrientes e elevada transparência. Cryptophyceae são consideradas “oportunistas” aumentando em quantidade quando as densidades dos demais grupos diminuem ou após perturbações ambientais (Klaveness 1988, Isaksson 1998).

O **Grupo VI** é composto exclusivamente por Bacillariophyta, como já mencionado. Neste sistema, as maiores contribuições em biovolume, foram da *Aulacoseira* sp. e *Fragilaria* sp.4. Estas espécies, principalmente em julho e setembro de 2012, estiveram associadas às baixas temperaturas da (16,8 e 17,6 °C). Segundo Reynolds *et al.* (2002), este grupo apresenta ampla gama de respostas ao estado trófico, porém seus representantes são melhores competidores em temperaturas mais baixas (Tilman 1982, Tilman *et al.* 1986).

Assim, os MBFGs registrados no reservatório das Graças, são compostos por espécies características de sistemas mesotróficos, estando de acordo com a literatura. Porém, vale mencionar que, o conhecimento prévio sobre a ecologia do gênero *Cosmarium* para caracterizar e distinguir este sistema através do **Grupo IV**, o qual apresenta grande amplitude taxonômica (Chlorococcales, Oscillatoriales, Xanthophyceae e Zygnemaphyceae).

Reservatório Tanque Grande: ambiente oligo-mesotrófico

Os **Grupos V** e **VI** alternaram o predomínio ao longo de todo período de estudo e no reservatório Tanque Grande estiveram associados aos maiores valores de turbidez e menores concentrações de NTK. Este sistema apresentou estratificação térmica no primeiro metro da coluna d'água e foi caracterizado como oligotrófico a mesotrófico ao longo do período de estudo, e pela média anual como mesotrófico.

O **Grupo V**, segundo Kruk *et al.* (2010), é caracterizado por organismos com moderado tamanho e valores de razão $s.v^{-1}$ e associados à presença de flagelos. Neste sistema o **Grupo V** foi representado por *Peridinium* sp.3 (77% do biovolume total do grupo). Kruk & Segura (2012) relacionam a ocorrência deste grupo a ambientes com baixa disponibilidade de luz e nitrogênio total. Segundo Reynolds *et al.* (2002), o gênero *Peridinium*, apresenta sensibilidade a baixas condições de luz que pode ser atenuado, mas pela presença do flagelo que permite o deslocamento em busca de melhores condições de luz.

O **Grupo VI** neste sistema foi representado exclusivamente por *Cyclotella meneghiniana*. Este grupo, como já mencionado é composto exclusivamente por Bacillariophyta e reúne organismos bem diversificados quanto ao tamanho celular, é caracterizado pela presença de parede celular impregnada por sílica (Kruk *et al.* 2010). Possuem altas taxas de sedimentação em função do exoesqueleto formado por sílica, porém estão muito bem adaptados a processos de ressuspensão na

coluna d'água (Witkowski *et al.* 2000, Kruk *et al.* 2010). *Cyclotella meneghiniana* é comumente associada a elevadas concentrações de fósforo (Yang *et al.* 2008) e a condições eutróficas e supereutróficas (Wengrat 2011 e Fontana *et al.* 2014), apesar de ter sido registrada por Nascimento (2012) no reservatório Jaguari-Jacareí, sistema oligotrófico. Assim, a presença de *Cyclotella meneghiniana* no reservatório Tanque Grande pode estar associada à mudança de trofia do sistema registrada no presente estudo.

Os MBFGs registrados no reservatório Tanque Grande são compostos por espécies características de sistemas mesotróficos. Porém, vale ressaltar que o **Grupo VI** compreende organismos que abrangem ampla gama de respostas a estados tróficos, e enquanto não for proposta uma sub-divisão ou reagrupação deste grupo, atenção especial deve ser dada a correta identificação dos táxons e suas respectivas ocorrências ecológicas.

8. CONCLUSÕES

A avaliação das características limnológicas e do índice de estado trófico estimado para o período de estudo nos quatro sistemas estudados caracterizaram a estação de amostragem do Reservatório Billings (Braço Taquacetuba) como eutrófica e as estações de amostragens dos reservatórios Taiaçupeba e das Graças, como mesotróficas e a estação de amostragens do reservatório Tanque Grande como oligo-mesotrófico.

As respostas dos grupos **MBFGs** foram suficientes para caracterizar e distinguir os reservatórios quanto ao estado de trofia:

1. Os **Grupos III, VI e VII** caracterizaram o reservatório eutrófico **Billings, Braço Taquacetuba** e foram associados aos maiores valores de pH, turbidez, NTK e clorofila *a*. A ocorrência do **Grupo III** (cianobactérias filamentosas com aerótopos) foi exclusiva deste sistema quando comparados aos outros reservatórios, sendo um grupo que caracteriza os ambientes eutróficos.
2. Os **Grupos V e VI** caracterizaram o reservatório mesotrófico **Taiaçupeba e foram associados** aos menores valores de turbidez, NTK e temperatura da água. A ocorrência pontual dos **Grupos IV e VII** distinguiu os meses de dezembro 2011 e fevereiro 2012 do período de estudo, estando associados a estratificação térmica da coluna d'água e maiores concentrações de nutrientes (NTK e PT).
3. Os **Grupos IV, V e VI** caracterizaram o reservatório mesotrófico **das Graças** e foram associados à transparência da água, estratificação térmica da coluna d'água, baixas concentrações de NTK e águas ácidas (pH 5,9 a 7,0). O conhecimento prévio sobre a ecologia do gênero *Cosmarium* corroborou para caracterizar e distinguir este sistema através do **Grupo IV**, o qual apresenta grande amplitude taxonômica (Chlorococcales, Oscillatoriales, Xanthophyceae e Zygnemaphyceae).
4. Os **Grupos V e VI** caracterizaram o reservatório mesotrófico **Tanque Grande**. Estes dois grupos estiveram associados aos maiores valores de turbidez e menores concentrações de NTK. Porém, vale ressaltar que o **Grupo VI**, representado por exclusivamente por diatomáceas, abrange organismos com ampla gama de respostas a estados tróficos, e enquanto não for proposta uma sub-divisão ou reagrupação deste grupo, atenção especial deve ser dada a correta identificação dos táxons e suas respectivas ocorrências ecológicas.

5. A ocorrência do **Grupo VI** (Bacillariophyta) foi comum aos quatro sistemas estudados, e portanto, não foi suficiente para a caracterização e diferenciação dos ambientes quanto a trofia, sendo necessário conhecimento taxonômico e ocorrências ecológicas de seus representantes.

Assim, concluímos que estudos complementares são necessários e com mais ambientes de diferentes estados tróficos para assim aperfeiçoar a classificação funcional da comunidade fitoplanctônica baseada em caracteres morfológicos.

9. BIBLIOGRAFIA

- Agência Nacional de Águas, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.** 2012. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, Brasília: ANA.
- An, S.S., Friedel, T. & Hegewald E.** 1999. Phylogenetic relationships of *Scenedesmus* and *Scenedesmus*-like coccoid green algae as inferred from ITS-2 rDNA sequence comparisons. *Plantbiology* 1: 418-428.
- APHA; AWWA; WEF.** 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: APHA.
- Arrigo, K.** 2005. Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature* 437: 349 – 355.
- Ayes, F. M.** 2007. Diagnóstico da Qualidade da água do reservatório do Tanque Grande, município de Guarulhos, estado de São Paulo, no período compreendido entre 1990 e 2005. Universidade de Guarulhos. Guarulhos. p. 143.
- Azevedo, M.T.P., Nogueira, N.M.C. & Sant’Anna, C.L.** 1996. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. *Algas*, 8: Cyanophyceae. *Hoehnea* 23:1-38.
- Azevedo, M.T.P. & Sant’Anna, C.L.** 1999. *Coelosphaerium evidenter-marginatum*, a new planktonic species of Cyanophyceae/Cyanobacteria from São Paulo State, Southeastern Brazil. *Algological Studies* 94:35-43.
- Azevedo, M.T.P. & Sant’Anna, C.L.** 2003. *Sphaerocavum*, a new genus of planktic Cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. *Algological Studies* 109:79-92.
- Becker, V., Huszar, V.L.M. & Crossetti, L.O.** 2009a. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia*, 628:137- 151.
- Becker, V., Cardoso, L.S. & Huszar, V.L.M.** 2009b. Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brazil during an autumnal stratification period. *Aquatic Sciences*, 43:285-293.
- Benndorf, J., Boing, W., Koop, J. & Neubauer, I.** 2002. Top–down control of phytoplankton: the role of time scale, lake depth and trophic state. *Freshwater Biology* 47: 2282– 2295.
- Beyruth, Z.** 1996. Comunidade fitoplanctônica da Represa de Guarapiranga: Aspectos Ecológicos, sanitários e subsídios para reabilitação da qualidade ambiental. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Beyruth, Z.** 2000. Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Hydrobiologia* 424: 51-65.

- Beyruth, Z., Caleffi, S., Zanardi, E., Cardoso, E. & Rocha, AA.** 1997. Water quality of Guarapiranga reservoir, São Paulo, Brazil, 1991/1992. *Verh. Internat Verein Limnol*, 26:675-683.
- Bouvy, M., Molica, R., De Oliveira, S., Marinho, M. & Beker, B.** 1999. Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciboeskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. *Aquatic Microbial Ecology* 20: 285-297.
- Borges, P.A.F., Train, S. & Rodrigues, L.C.** 2008. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. *Hydrobiologia*, 607:63-74.
- Brasil, J. & Huszar, V.L.** 2011. O Papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. *Oecologia Australis*, 15(4): 799-834.
- Buchheim, M., Buchheim, J., Carlston, T., Braband, A., Hepperle, D., Krienitz, L. Hegewald, E. & Wolf, M.** 2005. Phylogeny of the Hydrodictyaceae (Chlorophyceae): Inferences From rDNA Data. *Journal Phycology* 41:1039-1054.
- Capobianco, J.P.R. & Whately, M.** 2002. Billings 2000: ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região Metropolitana de São Paulo. São Paulo. Instituto Socioambiental; 59 p.
- Carlson R. E.** 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22, 361–80.
- Carvalho, M.C.** 2003. Comunidade fitoplanctônica como instrumento de biomonitoramento de reservatórios no Estado de São Paulo. Tese de doutorado, Faculdade de Saúde Pública. São Paulo. 129p.
- Castro, A.A.J., Bicudo, C.E.M. & Bicudo, D.C.** 1991. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. *Algas 2: Cryptophyceae*. *Hoehnea* 18(1):87-106.
- CETESB.** 1990. Determinação de pigmentos fotossintetizantes, Clorofila - A, B e C e Feofitina-A. Norma Técnica L5.306 São Paulo. 22 p.
- CETESB.** 1993. Avaliação da qualidade das águas para consumo humano no Estado de São Paulo – 1992. São Paulo. CETESB. Relatório Técnico.
- CETESB.** 2000. Avaliação da qualidade das águas para consumo humano no Estado de São Paulo – 1999. São Paulo. CETESB. Relatório Técnico.
- CETESB.** 2003. Avaliação da qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2002. São Paulo. (Série Relatórios) Disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 15/07/2013.
- CETESB.** 2008. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2007. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo.
- CETESB.** 2009. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2008. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo.

- CETESB.** 2010. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2009. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo.
- CETESB.** 2011. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2010. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo.
- CETESB.** 2012. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2011. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo.
- Comas, A.** 1996. Las Chlorococcales dulciacuículas de Cuba. Bibliotheca Phycologica 99, Cramer, 192p.
- Comité Européen de Normalisation - CEN.** 2003. Water quality - Guidance standard for the routine sampling and pre-treatment of benthic diatoms from rivers. European Standard.
- Capobianco, J.P.R. & Wathely, M.** 2002. Billings 2000: Ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da Região Metropolitana de São Paulo: Relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período de 1989-99. Instituto Socioambiental (ISA): São Paulo. 59p.
- Crossetti, L.O. & Bicudo, C.E.M.** 2008a. Phytoplankton as a monitoring tool in a topical urban shallow reservoir (Garças Pond): the assemblage index application. *Hydrobiologia* 610: 161-173.
- Crossetti, L.O. & 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.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Governo de São Paulo.** Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=28 (acesso em janeiro de 2012).
- Dantas, E.W., Moura, A.N., Bittencourt -Oliveira, M.C., Arruda Neto, J.D.T. & Cavalcanti, A.D.C.** 2008. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundau reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 22: 970-982.
- Dow C.S. & Swoboda U.K.** 2000. Cyanotoxins. In: *Ecology of Cyanobacteria. Their Diversity in Time and Space* (Eds B.A. Whitton & M. Potts), Kluwer Academic, The Netherlands. pp. 613-632.
- EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A.** Disponível em: <http://www.emae.com.br/emae/index.php> (acesso em dezembro de 2013).
- Espíndola, E.L.G.** 2001. Limnologia de Represas: alguns fatores determinantes. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- Esteves, F.A.** 2011. Fundamentos de Limnologia. 3ª ed., Rio de Janeiro, Editora Interciência 826p.

- FABHAT.** 2012. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Alto Tietê ano 2010. Relatório de andamento nº1 – Volume 2. São Paulo.
- Faustino, S.B.** 2013. Distribuição espacial das diatomáceas nos sedimentos superficiais da represa Guarapiranga (São Paulo). Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica do Estado de São Paulo, São Paulo.
- Ferber L., Levine S., Lini A. & Livingston G.** 2004. Do cyanobacteria dominate in eutrophic lakes because they fix atmospheric nitrogen? *Freshwater Biology*, 49, 690–708.
- Ferragut, C, Lopes, M.R.M., Bicudo, D.C., Bicudo, C.E.M. & Vercellino, I.S.** 2005. Ficoflora perifítica e planctônica (exceto Bacillariophyceae) de um reservatório oligotrófico raso (Lago do IAG, São Paulo). *Hoehnea* 32:137-184.
- Finkel, Z.V., Beardall, J., Flynn, K.J., Quigg, A., Rees, T.A.V. & Raven, J.A.** 2010. Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry. *Journal of Plankton Research*, 32: 119-137.
- Fonseca, B.M. & Bicudo, C.E.M.** 2008. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, 600: 267-282.
- Fonseca, B.M. & Bicudo, C.E.M.** 2010. How important can the presence/absence of macrophytes be in determining phytoplankton strategies in two tropical shallow reservoirs with different trophic status? *Journal of Plankton Research*, 32: 31-46.
- Fonseca, B.M., Ferragut, C., Tucci, A., Crossetti, L.O., Ferrari, F., Bicudo, D.C., Sant’Anna, C.L., Bicudo, C.E.M.** 2014. Biovolume de cianobactérias e algas de reservatórios tropicais do Brasil com diferentes índices tróficos. *Hoehnea* 41 (1): 9-30.
- Fontana, L., Albuquerque, A.L.S., Brenner, M., Bonotto, D.M., Sabaris, T.P.P., Pires, M.A.F., Cotrim, M.E.B & Bicudo, D.C.** 2014. The eutrophication history of a tropical water supply reservoir in Brazil. *Journal of Paleolimnology* 51, p. 29-43.
- Ganf, G. & Viner, A.** 1973. Ecological stability in a shallow equatorial lake (L. George, Uganda). *Proceedings of the Royal Society B* 184: 321–346.
- Gemelgo, M.C.P., Sant’Anna, C.L., Tucci, A. & Barbosa, H.R.** 2008. Population dynamics of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju, a cyanobacteria toxic species, in water supply reservoirs in São Paulo, Brazil. *Hoehnea* 35: 297-307.
- Gemelgo, M.C.P., Mucci, J.L.N. & 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(4): 1001-1013.
- Godinho, L.R.** 2009. Família Scenedesmaceae no Estado de São Paulo: Levantamento florístico. Tese de Doutorado, Instituto de Botânica, São Paulo.

- Godinho, L.R., Comas, A.A. & Bicudo, C.E.M.** 2010. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas, 30: Chlorophyceae (família Scenedesmaceae). Hoehnea 37(3): 513-553.
- Goodall, D.W.** 1954. Objective methods for the classification of vegetation. III. An essay in the use of factor analysis. Australian Journal of Botany 2, 304–324.
- Graham, L.E. & Wilcox, L.W.** 2000. Algae. Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Hakanson, L.** 2005. The importance of lake morphometry and catchment characteristics in limnology – ranking based on statistical analyses. Hydrobiologia 541: 117–137.
- Hegewald, E.** 1997. Taxonomy and phylogeny of Scenedesmus. Algae (Korean Journal of Phycology) 12: 235–246.
- Hegewald, E.** 2000. New combinations in the genus *Desmodesmus* (Chlorophyceae, Scenedesmaceae). Algological Studies 96:1-18.
- Hegewald, E. & Hanagata, N.** 2000. Phylogenetic studies on Scenedesmaceae (Chlorophyta). Algological Studies 100: 29–49.
- Hegewald, E. & Wolf, M.** 2003. Phylogenetic relationships of *Scenedesmus* and *Acutodesmus* (Chlorophyta, Chlorophyceae) as inferred from 18S rDNA and ITS-2 sequence comparisons. Plant Systematics and Evolution 241: 185–191.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.D., Kirschtel, D., Pollinger, U., Zohary, T.** 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. Journal of Phycology. 35(2): 403-424.
- Hoffmann, L., Komárék, J. & Kastovsky, J.** 2005. System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria) state in 2004. Algological Studies 117:95-115.
- Hüber-Pestalozzi, G.** 1955. Das phytoplankton des Süßwassers: systematik und biologie: Euglenaceen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 16(4):605p.
- Hunt, R. J. & Matveev, V. F.** 2005. The effects of nutrients and zooplankton community structure on phytoplankton growth in a subtropical Australian reservoir: an enclosure study. Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters 35: 90–101.
- Huisman, J., Matthijs H.C.P. & Visser, P.M.** 2005. Harmful Cyanobacteria. Springer, Dordrecht.
- Huszar, V.L.M., Silva, L.H., Marinho, M., Domingos, P. & Sant'Anna, C.L.** 2000. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian Waters. Hydrobiologia 424: 67-77.
- Hutchinson, G.E.** 1967. A Treatise on Limnology. Volume II: Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. John Wiley & Sons, New York, NY. 1115p.
- Isaksson, A.** 1998. Phagotrophic phytoflagellates in lakes - a review. Archives fur Hydrobiologie Special Issues Advances in Limnology 51:63-90.

- Komárek, J. & Fott, B.** 1983. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung: Chlorococcales. *In*: Huber Pestalozzi, G., Heynig, H. & Mollenhauer, D.(eds) des Süßwassersflora Band (1). Gustav Fischer, Jena, 1044 p.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K.** 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 4: Nostocales. *Algological Studies* 56:247-345.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K.** 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil Chroococcales. *In* Süßwasserflora von Mitteleurop (H.Ettl, G.Gärtner, H.Heynig & D.Möllenhauer eds.). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. vol.19/1. 548 p.
- Komárek, J. & Azevedo, M.T.P.** 2000. *Geitlerinema unigranulatum*, a common tropical cyanoprokaryote from freshwater reservoirs in Brazil. *Algol. Stud.* 99:39–52.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K.** 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. *In* Süßwasserflora von Mitteleuropa (B. Büdel G. Gärtner, L. Krientitz & M. Schagerl eds.). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. vol. 19/2. 759 p.
- Komárkova-Legnerová, J. & Cronberg, G.** 1994. Planktic blue-green algae from lakes in South Scania, Sweden. Part I. Chroococcales. *Algological Studies* 72:13-51.
- Klaveness, D.** 1988. Ecology of the Cryptomonadida: a first review. *In* Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton (C.D. Sandgren, ed.). Cambridge University Press, Cambridge, p.103-133.
- Krientitz, L. & Bock, C.** 2012. Present state of the systematics of planktonic coccoid green algae of inland waters. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-012-1079-z.
- Krientitz, L., Hegewald, E., Hepperle, D. & Wolf, M.** 2003. The systematics of coccoid green algae: 18S rRNA gene sequence data versus morphology. *Biologia* 58: 437–446.
- Kruk, C., Huszar, V.L.M., Peeters, E.T.H.M., Bonilla, S., Costa, L., Lüring, M., Reynolds, C. & Scheffer, M.** 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55: 614-627.
- Kruk, C. & Segura, A.M.** 2012. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia* (2012) 698:19.
- Lamparelli, M.C.** 2004. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo: 235pp.
- Lehman, J.T.** 1988. Selective herbivory and its role in the evolution of phytoplankton growth strategies. *In* Sandgren, C. D. (ed.), Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, 369–387.
- Lewis, W.M.J.** 1976. Surface/volume ratio: implications for phytoplankton morphology. *Science*, 192: 885-887.

- Lloyd, M. & Ghelardi, R.J.** 1964. A table for calculating the equitability component of species diversity. *Journal An. Ecology* 33:217-225.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Lecren, E.D.** 1958. The invert microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11:143-170.
- Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, JG., Luzia, AP. & Degani, RM.** 2010. Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 2010, vol. 70, no. 3 (suppl.), p. 825-829.
- Mazumder, A. & Havens., K.H.** 1998. Nutrient–chlorophyll–Secchi relationships under contrasting grazers communities in temperate versus subtropical lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 1652–1662.
- McCune, B. & Mefford, J.J.** 1997. PC-ord. Multivariate analysis of ecological data, version 3.0. Oregon MjM Software Design, 47p.
- McQueen, D.J., Post, J.R. & Mills, E.L.** 1986. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43: 1571–1581.
- Menezes, M.** 1994. Fitoflagelados pigmentados de quatro corpos d' água da região sul do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo. 700p.
- Mieleitner, J., Borsuk, M., Bürgi, H.R. & Reichert, P.** 2008. Identifying functional groups of phytoplankton using data from three lakes of different trophic state. *Aquatic Sciences*, 70: 30-46.
- Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Dantas, E.W. & Arruda Neto, J.D.T.** 2007. Phytoplanktonic Associations: A Tool to Understand Dominance Events in a Tropical Brazilian Reservoir. *Acta Botanica Brasilica*, 21: 641- 648.
- Nascimento, M.N.** 2012. Biodiversidade e distribuição das diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial em represa profunda oligotrófica (Sistema Cantareira, Represa Jaguari-Jacareí). Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica do Estado de São Paulo, São Paulo.
- Naselli-Flores, L.** 2000. Phytoplankton assemblages in twenty-one Sicilian reservoirs: relationships between species composition and environmental factors. *Hydrobiologia* 424: 1–11.
- 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.
- Naselli-Flores, L., Padisák, J. & Albay, M.** 2007. Shape and size in phytoplankton ecology: do they matter? *Hydrobiologia*, 578: 157-161.
- Nishimura, P.Y.** 2008. Ecologia da comunidade fitoplanctônica em dois braços da Represa Billings (São Paulo, SP) com diferentes graus de trofia. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Nogueira, I.S.** 1991. Chlorococcales sensu lato (Chlorophyceae) do município de Rio de Janeiro e arredores, Brasil: inventário e considerações taxonômicas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 356p.
- Nogueira, M.G., Henry, R. & Maricatto, F. E.** 1999. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. *Lakes Reservoirs: Res. Manage.* 4: 107–120p.
- Oliveira, A.M.S., Andrade, M.R.M., Queirós, N.** 2005. Diagnóstico ambiental para manejo sustentável do Núcleo Cabuçú do Parque Estadual da Cantareira e áreas vizinhas do Município de Guarulhos (Relatório de Pesquisa FAPESP).
- Oliveira, M.D. & Calheiros, D.F.** 2000. Flood pulse influence in phytoplankton communities of the south Pantanal floodplain, Brazil. *Hydrobiologia* 427:101-112.
- Pacheco, J.P., Iglesias, C., Meerhoff, M., Fosalba, C., Goyenola, G., Mello, F.T., García, S., Gelós, M. & García-Rodríguez, F.** 2010. Phytoplankton community structure in five subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): a morphology-based approach. *Hydrobiologia*, 646: 187-197.
- Padisák, J., Soróczki-Pintér, É., & Reznér, Z.** 2003a. Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton – an experimental study. *Hydrobiologia* 500: 243–257.
- Padisák, J., Scheffler, W., Sípós, C., Kasprzak, P., Koschel, R. & Krienitz, L.** 2003a. Spatial and temporal pattern of development and decline of the spring diatom populations in Lake Stechlin in 1999. *Archiv für Hydrobiologie/Advances in Limnology* 58: 135–155.
- Padisák, J., Crossetti, L.O., Naselli-Flores, L.** 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621:1-19.
- Paerl, H.W. & Huisman, J.** 2009. Minireview climate change: A catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environ. Microbiol. Rep.* 1: 27 – 37.
- Ramos, G.J.P., Bicudo, C.E.M., Neto, A.G. & Moura, C.W.N.** 2012. *Monoraphidium* and *Ankistrodesmus* (Chlorophyceae, Chlorophyta) from Pantanal dos Marimbus, Chapada Diamantina, Bahia State, Brazil. *Hoehnea* 39(3): 421-434.
- Rangel, L.M., Silva, L.H.S., Arcifa, M.S. & 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: 75-78.
- Reynolds, C.S.** 1980. Phytoplankton associations and their periodicity in stratifying lake systems. *Holarctic Ecology*, 3, 141-159.
- Reynolds, C.S.** 1984. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Reynolds, C.S.** 1988. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. Pp. 388-433. In: C.D. Sandgren (ed.). Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press, New York, NY. 442p.
- Reynolds, C.S.** 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Germany: Ecology Institute, 371 p.
- Reynolds, C.S.** 2006. Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press. Cambridge, UK. p.535.
- Reynolds, C.S., Padisák, J., Sommer, U.** 1993. Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. *Hydrobiologia*, 249:183-188.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S.** 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24(5): 417-425.
- Rocha, A.A. & Branco, S.M.** 1985. O nitrogênio e fósforo como fatores limitantes ao desenvolvimento de algas cianofíceas na represa Billings. *Revista DAE*, 45: 156-158.
- Rodrigues, L.L., Sant'Anna, C.L. & Tucci, A.** 2010. Chlorophyceae das Represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil. *Revista Brasileira Botânica* 33: 247-264.
- Romo, S., Villena, M.J., Sahuquillo, M., Soria, J.M., Gimenez, M., Alfonso, T., Vicente E. & Miracle M.R.** 2005. Response of a shallow Mediterranean lake to nutrient diversion: does it follow similar patterns as in northern shallow lakes? *Freshwater Biology* 50: 1706 – 1717.
- Rosini, E.F., Sant'Anna, C.L. & Tucci, A.** 2012. Chlorococcales (exceto Scenedesmaceae) de pesqueiros da Região Metropolitana de São Paulo, SP, Brasil: levantamento florístico. *Hoehnea* 39: 11-38.
- Rosini, E.F., Sant'Anna, C.L. & Tucci, A.** 2013a. Scenedesmaceae (Chlorococcales, Chlorophyceae) de pesqueiros da Região Metropolitana de São Paulo, SP, Brasil: levantamento florístico. *Hoehnea* 40(4): 661-678.
- Rosini, E.F., Sant'Anna, C.L. & Tucci, A.** 2013b. Cyanobacteria de pesqueiros da região metropolitana de São Paulo, Brasil. *Rodriguésia* 64(2): 399-417.
- Round, F.E.** 1971. The taxonomy of the Chlorophyta II. *British Phycological Journal* 6:235-264.
- Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G.** 1990. The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rueda, F.J., Moreno-Ostos E. & Armengol, J.** 2006. The residence time of river water in reservoirs. *Ecological Modelling* 191, 260-274.
- Sabater, S. & Sabater, F.** 1988. Diatom assemblages in the River Ter. *Arch. Hydrobiol.* 111: 397-408.

- Salmaso, N.** 2003. Life strategies, dominance patterns and mechanisms promoting species coexistence in phytoplankton communities along complex environmental gradients. *Hydrobiologia* 502: 13–36.
- Salmaso, N. & 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.** 1984. Chlorococcales (Chlorophyceae) do Estado de São Paulo, Brasil. *Bibliotheca Phycologica* 67:1-348.
- Sant’Anna, C.L., Azevedo, M.T.P. & Sormus, L.** 1989. Fitoplâncton do Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil: Estudo Taxonômico e Aspectos Ecológicos. *Hoehnea* 16:89-131.
- Sant’Anna, C.L., Azevedo, M.T.P., Senna, P.A.C., Komárek, J. & Komárková, J.** 2004. Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. *Revista Brasileira de Botânica* 27(2): 213-227.
- Sant’Anna, C.L., Azevedo, M.T.P., Werner, W.R., Dogo, C.R., Rios, F.R. & Carvalho, L.R.** 2008. Review of toxic species of cyanobacteria in Brazil. *Algological Studies* 126: 249-263.
- 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 Junior, W.A., Rosal, C., Adame, G.** 2012. Atlas de Cianobactérias e Microalgas de águas continentais Brasileiras. Instituto de Botânica de São Paulo. (Publicação On-Line). Disponível em : http://botanica.sp.gov.br/files/2013/09/virtuais_3atlas.pdf (acesso em julho de 2013).
- Shannon, C.E. & Weaver, W.** 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Sheperd, G.J.** 1996. Fitopac 1: Manual do usuário. Campinas: Unicamp.
- Simpson, E.H.,** 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- Silva, L.H.S.** 1995. Variabilidade Temporal na estrutura da comunidade fitoplanctônica de um reservatório eutrófico, Lago Monte Alegre, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado em Botânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 142p.
- Silva, C.A., Train, S. & Rodrigues, L.C.** 2005. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, 537: 99-109.
- Silva, P.D.** 2012. A. Biodiversidade e distribuição das diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial nas represas de abastecimento do Sistema Alto Cotia (SP). Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica do Estado de São Paulo, São Paulo. 111 p.
- Sommer, U.** 1981. The role of r- and K-selection in the succession of phytoplankton in Lake Constance. *Acta Oecologia Generale* 2: 327–342.

- Sommer, U.** 1984. The paradox of the plankton: fluctuations of phosphorus availability maintain diversity of phytoplankton in flow-through cultures. *Limnology and Oceanography* 29: 633–636.
- Sun, J. & Liu, D.** 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 25: 1331-1346.
- Tang, E.P.** 1995. The allometry of algal growth rates. *Journal of Plankton Research* 17: 1325–1335.
- Tell, G. & Conforti, V.** 1986. Euglenophyta pigmentadas de la Argentina. *Bibliotheca Phycologica*, 75. 301p.
- Tilman, D.** 1982. *Resource Competition and Community Structure*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Tilman, D., Kiesling, R., Sterner R. & Tilman, S.** 1986. Green, blue-green and diatom algae: taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon, and nitrogen. *Archiv für Hydrobiologie* 106: 473–485.
- Tilzer, M.M.** 1984. A quantum yield as a fundamental parameter controlling vertical photosynthetic profiles of phytoplankton in Lake Constance. *Archiv für Hydrobiologie (Supplement)* 69: 169–198.
- Tucci, A.** 2002. Sucessão da comunidade fitoplantônica de um reservatório urbano e eutrófico, São Paulo, SP, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro 274 p.
- Tucci, A., Sant’Anna, C.L. Gentil, R.C. & Azevedo, M.T.P.** 2006. Fitoplâncton do Lago das Garças, São Paulo, Brasil: um reservatório urbano eutrófico. *Hoehnea* 33: 147-175.
- Tundisi, J.G.** 1999. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos *In* Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. (R. Henry, Ed.). FUNDIBIO, Botucatu.p: 19-38.
- Tundisi, J.G. & Barbosa, F.A.** 1981. Impacto das obras hidráulicas nas bacias hidrográficas. *Interfaces, escritos e documentos*; 69:1-26.
- Utermöhl, H.** 1958. Zur Vervollkommung der quantativen phytoplankton-methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 9(2): 1-38.
- Valentin, J.L.** 2000. *Ecologia Numérica: Uma introdução a análise multivariada de dados ecológicos*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 117p.
- van-den-Hoek, C., Mann, D.G. & Janhs, H.J.A.** 1995. *An Introduction to Phycology*. University of Cambridge Press, Cambridge.
- Vidal L. & Kruk C.** 2008. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) extends its distribution to Latitude 34°53’S: taxonomical and ecological features in Uruguayan eutrophic lakes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 3, 142–151.

- Weber, C.I.** 1973. Plankton. In: National Environmental Research Center Office of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency Cincinnati (ed.). Biological field and laboratory methods for measuring the quality of surface water and effluents. p.1-17.
- Weithoff, G.** 2003. The concepts of “plant functional types” and “functional diversity” in lake phytoplankton – a new understanding of phytoplankton ecology? *Freshwater Biology* 48: 1669–1675.
- Wengrat, S., Bicudo, D.C.** 2011. Spatial evaluation of water quality in an urban reservoir (Billings Complex, southeastern Brazil). *Acta Limnol. Bras.* 23 (2): 200-216.
- Witkowski, A., Lange-Bertalot, H. & Metzeltin, D.** 2000. Diatom flora of marine coasts I. In H. Lange-Bertalot (ed.). *Iconographia Diatomologica*, Vol. 7, Königstein: 925 pp.
- Yang, X., Anderson, N.J., Dong, X. & Shen, J.I.** 2008. Surface sediment diatom assemblages and epilimnetic total phosphorus in large, shallow lakes of the Yangtze floodplain: their relationships and implications for assessing long-term eutrophication. *Freshwater Biology* 53: 1273-1290.

10. ANEXOS

Os táxons fitoplanctônicos classificados com frequência de ocorrência constante ($F > 80\%$) em pelo menos um dos reservatórios estudados estão apresentados no Anexo I.

Anexo I. Táxons fitoplanctônicos classificados como constantes ($F\% \geq 80\%$) em pelo menos um dos reservatórios estudados. Reservatórios Billings, Braço Taquacetuba (BITQ), Taiaçupeba (PEBA), das Graças (COGR) e Tanque Grande (TGDE), durante o período de Outubro de 2011 a Setembro de 2012 (n= 6).

Táxons	Frequência de ocorrência (F%)			
	BITQ	PEBA	COGR	TGDE
Bacillariophyta				
1 <i>Aulacoseira granulata</i>	17	67	100	
2 <i>Aulacoseira</i> sp.	17		100	
3 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	100	67	33	83
4 <i>Fragilaria</i> sp.2	33	67	100	
5 <i>Urosolenia</i> sp.1	33	67	83	17
6 <i>Urosolenia</i> sp.2		83	100	
Chlorophyceae				
7 <i>Acanthosphaera zachariasii</i>	17	17	83	17
8 <i>Chlorella minutissima</i>	33	17	67	100
9 <i>Chlorella vulgaris</i>	83	17	100	83
10 <i>Closteriopsis</i> cf. <i>acicularis</i>	50	17	100	67
11 <i>Dictyosphaerium</i> sp.2	67	17	100	
12 <i>Dictyosphaerium</i> sp.3				83
13 <i>Monoraphidium nanum</i>			50	100
14 <i>Monoraphidium</i> sp.	83	17	100	100
15 <i>Nephrocytium spirale</i>	83	17	33	33
16 <i>Pseudodidymocystis fina</i>	83	17	50	83
17 <i>Scenedesmus ecornis</i>	33	17	83	
Chrysophyceae				
18 <i>Chromulina elegans</i>	33	100	83	50
19 <i>Dinobryon divergens</i>		83	50	100
20 <i>Dinobryon</i> sp.		83	67	17
Cryptophyceae				
21 <i>Cryptomonas brasiliensis</i>		100	17	
22 <i>Cryptomonas curvata</i>			67	83
23 <i>Cryptomonas obovata</i>	67	33	50	100
24 <i>Rhodomonas lacustris</i>	67	100	100	100
Cyanobacteria				
25 <i>Anathece</i> sp.	100	100	100	100
26 <i>Aphanizomenon gracile</i>	83	33		
27 <i>Chroococcales</i> (ñ ident 2)	100		17	
28 <i>Chroococcus minutus</i>	83	67	67	

29	<i>Coelomoron cf. tropicale</i>	83	17		
30	<i>Coelosphaerium sp.</i>	83			
31	<i>Merismopedia punctata</i>	83	17		
32	<i>Pseudanabaena galeata</i>	100			
33	<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	83	17		
34	<i>Synechococcus nidulans</i>		83	33	33
35	<i>Synechocystis aquatilis</i>		100	83	100
36	<i>Woronichinia naegeliana</i>	83			
	Dinophyceae				
37	<i>Gymnodinium sp.</i>	83	67		
38	<i>Peridinium sp.3</i>		83	100	50
	Euglenophyceae				
39	<i>Trachelomonas curta</i>	50	83		
	Zygnemaphyceae				
40	<i>Cosmarium bioculatum</i>	17	50	100	
41	<i>Cosmarium contractum</i>		33	100	
42	<i>Cosmarium majae</i>		50	100	
43	<i>Cosmarium sp.1</i>		17	100	
44	<i>Staurostrum tetracerum</i>		33	100	
45	<i>Staurodesmus triangularis</i>			83	