



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Gilsinéia da Silva Corrêa


**Gradiente Longitudinal do Fitoplâncton ao Longo de um Grande Rio
Tropical**

Rio de Janeiro

2018

Gilsinéia da Silva Corrêa

Gradiente Longitudinal do Fitoplâncton ao Longo de um Grande Rio Tropical



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

Orientadora: Prof. Dra. Patrícia Domingos
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Manzi Marinho

Rio de Janeiro

2018

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

C824 Côrrea, Gilsinéia da Silva.
Gradiente longitudinal do fitoplâncton ao longo de um grande rio tropical./
Gilsinéia da Silva Corrêa - 2018.
97 f.: il.

Orientadora: Patrícia Domingos.
Coorientador: Marcelo Manzi Marinho
Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia Roberto
Alcantara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

1.Ecologia aquática - Teses. 2. Fitoplâncton - Paraíba do Sul, Rio, Bacia - Teses. I.
Domingos, Patrícia. II. Marinho, Marcelo Manzi . III. Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes. IV. Título.

CDU 574.5

Patricia Bello Meijinhos CRB7/5217 - Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica

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

Assinatura

Data

Gilsinéia da Silva Corrêa

Gradiente Longitudinal do Fitoplâncton ao Longo de um Grande Rio Tropical

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

Aprovada em 01 de novembro de 2018.

Orientadores:

Prof.^a Dra Patrícia Domingos
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Marcelo Manzi Marinho
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Banca examinadora:

Prof.^o Dr. Marcelo Manzi Marinho
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Leonardo de Magalhães
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Mariana Satika Suzuki
Universidade Estadual do norte Fluminense

Rio de Janeiro

2018

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus, por todo conhecimento propiciado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar todos os meus passos, por me acalantar em momentos de aflição, por ser meu porto seguro em meio ao caos, sem o qual jamais conseguiria cruzar esta linha de chegada. Ele foi meu parceiro nesta luta, agora na vitória reconheço a Sua glória e humildemente Lhe agradeço.

Aos professores Dr. Marcelo Manzi Marinho, o qual me confiou este projeto e Dr. Patrícia Domingos, pelo incentivo, compreensão de meus limites, paciência, amizade e destreza na orientação de ambos. Obrigada pelo auxílio com vossa imensa sabedoria de forma imprescindível para a elaboração deste trabalho. Todos estes momentos foram valiosos para o meu crescimento intelectual e pessoal, os quais me permitiram concretizar mais esta etapa.

Aos meus pais que mesmo sem entenderem a importância deste trabalho, se mostraram orgulhosos por mais este feito. Ao meu querido irmão Gelson (*in memoriam*) por sempre acreditar que um dia eu somaria mais esta conquista, a ti dedico parte dela. Às minhas irmãs e irmão, por todo incentivo e apoio, em especial minhas irmãs: Leni, que me acolheu em sua casa durante o processo turbulento da seleção do Mestrado e vibrou com o meu resultado, sempre assumindo um papel materno desde minha infância. Obrigada por ter seu apoio para apostar nos meus projetos minha “irmã”, você fez toda a diferença na conquista desta vitória. Às minhas irmãs Gilda e Dolores por sempre me apoiarem sendo meu esteio quando tudo parecia desmoronar. Obrigada por sempre acreditarem em mim, sonharem meus sonhos e se tornarem peças cruciais na conquista de mais este triunfo.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia e Fisiologia do Fitoplâncton (Labalgas), onde este trabalho foi desenvolvido, Vívian, Marcela, Ana, Carolzinha, Renan, Erick, Gaby pelo apoio e colaboração durante o desenvolvimento deste projeto.

À Natália Noyma (Natalinha), por ter torcido por mim desde minha seleção e pelo aceite ao convite em revisar meu trabalho. Não tenho palavras para lhe agradecer!

Aos parceiros de fito Leonardo de Magalhães e Caio Graco, por toda ajuda com estatística, interpretação dos dados e dicas com taxonomia. A ajuda de vocês foi imprescindível.

Em especial às amigas: Gisele Costa, “pessoinha” que eu não imaginava conhecer, mas que é passagem obrigatória para quem quer conhecer uma pessoa especial. Obrigada pela

parceria, irmandade, apoio e por me fazer rir quando eu queria chorar ao longo destes anos. Nossa trajetória até aqui tem histórias memoráveis que me fazem só agradecer a Deus por sua existência. Suzan Juliana, obrigada por sua sapiência no falar, pelas longas conversas, pelos conselhos que apaziguavam minhas angustias e solucionavam os medos. Obrigada por me acolher em sua casa num período tão árduo que passei e principalmente por toda luz irradiada sobre minha vida. Vocês são provas que fraternidade transcende qualquer laço co-sanguíneo.

Às amigas não acadêmicas Beatriz Souza e Daiane Figueiredo, agradeço cada oração feita com o coração onde pude encontrar a força necessária para prosseguir o longo percurso desta trajetória. Obrigada por sempre acreditarem, mais do que eu mesma, que fosse possível chegar até aqui. Vocês são deveras especiais para mim.

Aos idealizadores, coordenadores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal pela idealização desse curso.

À Capes, pela Bolsa de Mestrado.

E a todos que fizeram parte desta importante etapa da minha vida contribuindo de forma direta ou indireta.

Meus sinceros agradecimentos!

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.

(Chico Xavier)

RESUMO

Corrêa, G.S. **Gradiente Longitudinal do Fitoplâncton ao Longo de um Grande Rio Tropical**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal).. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

O Rio Paraíba do Sul abastece mais de 20 milhões de habitantes e sofre impactos relativos às atividades antrópicas, com efluentes industriais e domésticos, geração de energia elétrica e irrigação. Dentre os múltiplos usos no sistema, destaca-se a geração de energia, visto que barramentos têm sido uma das principais causas de alterações em ecossistemas aquáticos, cujas transformações podem ser associadas a perdas socioeconômicas e redução da biodiversidade. Este trabalho se insere no Projeto Cachoeiras, expedição multi-institucional, composta pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Federal de Itajubá (respectivamente INPE, CEMADEN, UERJ, UNIFEI), que percorreu todo o rio Paraíba em caiaques, realizando coletas contínuas na calha principal, de Julho a Setembro de 2015 e disponibilizou os dados de variáveis abióticas e clorofila-a. O objetivo deste estudo é avaliar as interações entre a comunidade fitoplanctônica e o conjunto de fatores físico-químicos e os efeitos dos barramentos existentes no rio sobre as expressões quantitativas e qualitativas do fitoplâncton, através da abordagem de grupos funcionais. Foram analisadas amostras fitoplanctônicas de 219 estações amostrais, com ênfase nas respostas aos efeitos dos barramentos presentes na calha do rio. Os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM) e os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (GFBMr) foram utilizados para capturar as relações do fitoplâncton com as condições ambientais. Análise de Correspondência Canônica (CCA) foi usada para relacionar as condições ambientais, com as abundâncias (biovolume) dos grupos funcionais. Os valores de Fósforo e Nitrogênio mostraram relação com o aumento dos aglomerados urbanos. As alterações na composição do fitoplâncton mostraram que grupos típicos de ambientes lênticos, surgem desde 30 km a montante dos barramentos, revelando resposta funcional do fitoplâncton à mudança do fluxo do rio. Estas mudanças se deram em função do tipo de barramento e do tempo de residência. A influência antrópica dos aglomerados urbanos, determinante para os valores de nutrientes (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) e, a mudança da hidrodinâmica pelo barramento, foram os fatores associados ao aumento da riqueza funcional do fitoplâncton, relacionado ao aumento da oferta de recursos. A abordagem de grupos funcionais GFBM e GFBMr, mostrou-se uma boa ferramenta para a análise dos efeitos impostos pela transição lótico-lêntico-lótico sobre a dinâmica espacial do fitoplâncton, sendo os grupos GFBMr mais eficientes nesta discussão.

Palavras-chave: Potamoplâncton, GFBM, GFBMr, barramentos em rios, Rio Paraíba do Sul, estratégias funcionais do fitoplâncton

ABSTRACT

Corrêa, G.S. **Longitudinal Gradient of Phytoplankton Along a Great Tropical River.**

Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018

The Paraíba do Sul River supplies more than 20 million inhabitants and is impacted by anthropic activities, with industrial and domestic effluents, electric power generation and irrigation. Among the multiple uses in the system, the generation of energy stands out, since buses have been one of the main causes of changes in aquatic ecosystems, whose transformations can be associated to socioeconomic losses and reduction of biodiversity. This work is part of the Cachoeiras Project, a multi-institutional expedition, composed by the National Institute of Space Research, National Center for Natural Disaster Monitoring and Alerts, Rio de Janeiro State University, Federal University of Itajubá (INPE, CEMADEN, UERJ, UNIFEI), which traveled throughout the Paraíba River in kayaks, performing continuous collections in the main channel, from July to September 2015 and made available data on abiotic and chlorophyll-a variables. The objective of this study is to evaluate the interactions between the phytoplankton community and the set of physicochemical factors and the effects of the existing riverbeds on the phytoplankton quantitative and qualitative expressions through the functional groups approach. Phytoplankton samples were analyzed from 219 sampling stations, with emphasis on the responses to the effects of the buses present in the river channel. Functional Groups Based on Morphology (GFBM) and Functional Groups Based on River Morphology (GFBMr) were used to capture phytoplankton relationships with environmental conditions. Canonical Correspondence Analysis (CCA) was used to relate environmental conditions to abundance (biovolume) of the functional groups. The values of Phosphorus and Nitrogen were related to the increase of urban agglomerates. Changes in the phytoplankton composition showed that typical groups of lentic environments appear from 30 km upstream of the buses, revealing the phytoplankton's functional response to the change in river flow. These changes were due to the type of bus and the residence time. The anthropic influence of the urban agglomerates, determining nutrient values (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}), and the hydrodynamic change by the bus, were the factors associated to the increase of the phytoplankton functional richness, related to the increase in the supply of resources. The GFBM and GFBMr functional groups approach proved to be a good tool for the analysis of the effects of the lotic-lentic-lentic transition on spatial dynamics of phytoplankton, with GFBMr groups being more efficient in this discussion.

Keywords: Potamoplankton, GFBM, GFBMr, riverbeds, Paraíba do Sul River, functional phytoplankton strategies

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Varição da temperatura (°C) e altitude (m) ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.....	35
Gráfico 2-	Varição da condutividade ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.....	36
Gráfico 3-	Varição do pH ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.	37
Gráfico 4-	Varição da turbidez ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.....	38
Gráfico 5-	Varição do oxigênio dissolvido ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.....	39
Gráfico 6-	Varição de fósforo total e fósforo solúvel reativo ao longo do rio Paraíba do Sul.....	43
Gráfico 7-	Varição de compostos nitrogenados ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.....	44
Gráfico 8-	Concentrações dos íons estudados, ao longo do rio Paraíba do Sul.....	45
Gráfico 9-	Relação entre a condutividade e concentração de íons.....	46
Gráfico 10-	Percentual de riqueza de táxons por classes.....	47
Gráfico 11-	Varição da Biomassa Total ao longo da calha do rio Paraíba do Sul....	48
Gráfico 12-	Análise de Correspondência Canônica (CCA) utilizando a abordagem dos grupos funcionais.....	53
Gráfico 13-	Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM) nos reservatórios e ao longo do rio Paraíba do Sul.....	54
Gráfico 14-	Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (GFBMR) nos reservatórios e ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.	55
Gráfico 15-	Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM)..	57
Gráfico 16-	Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (GFBMr) nos reservatórios.....	58

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1-	Coordenadas e localização do estado respectivo de cada hidrelétrica; potência de geração de energia; distância (km) da nascente em função de cada reservatório e ponto de amostragem mais próximo a cada barragem	26
Tabela 2-	Média e valores mínimo e máximo das variáveis abióticas nos reservatórios e nos trechos lóticos (Rio), a saber, Temperatura (Temp.), Condutividade (Cond), pH, Oxigênio Dissolvido (DO), Turbidez (Turb.), Fósforo Total (TP), Fósforo Solúvel Reativo (SRP), Nitrogênio Total (TN), Amônio (N NH ₄ ⁺), Nitrato (N NO ₃ ⁻), Sulfato (SO ₄ ⁻²), Sódio (Na ⁺), Potássio (K ⁺), Cálcio (Ca ⁺), Magnésio (Mg ⁺) e Sílica Reativa (SRSi). Reservatórios: PB = Paraibuna, SB = Santa Branca, LV/QZ = Lavrinhas/Queluz, FL = Funil, AT = Anta, IP = Ilha dos Pombos.....	40
Tabela 3-	Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (KRUK et al., 2010) observados nos trechos lóticos e lênticos ao longo da calha do Paraíba do Sul, com a descrição e exemplos de táxons encontrados ao longo do estudo.....	49
Tabela 4-	Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (CHEN et al., 2015), observados nos trechos lóticos e lênticos ao longo da calha do Paraíba do Sul, com a descrição e exemplos de táxons encontrados ao longo do estudo.....	50
Tabela 5-	Coeficiente de contribuição dos vetores ambientais para os eixos de ordenação 1 e 2 da análise de CCA realizada com os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (KRUK et al., 2010) e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (CHEN et. al., 2015) para o eixo longitudinal do rio Paraíba do Sul.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Chl-a: Clorofila-a

COND: Condutividade elétrica da água

OD: Oxigênio Dissolvido

pH: Potencial Hidrogeniônico

Temp: Temperatura

TP: Fósforo Total

SRP: Fósforo Solúvel Reativo

CCA: Análise de correspondência Canônica

GFBM: Grupos Funcionais Baseados na Morfologia

GFBMr: Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios

RCC: Conceito do Rio Contínuo

SDC: Conceito de Descontinuidade em Série

LISTA DE SÍMBOLOS

°C: Grau Celsius

Km²: Quilômetro quadrado

L⁻¹: Litro

mL: Mililitro

N₂: Gás nitrogênio

NH₄⁺: Íon amônio

NO²⁻: Íon Nitrito

NO³⁻: Íon Nitrato

SiO: Íon Sílico

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	17
1	HIPÓTESES	24
2	OBJETIVOS	25
2.1	Objetivo geral	25
2.2	Objetivos específicos	25
3.	MÉTODOS	26
3.1	Área de estudo	26
3.1.1	Bacia hidrográfica – Rio Paraíba do Sul.....	26
3.2	Hidrelétricas no Rio Paraíba do Sul	26
3.2.1	Reservatório Paraibuna.....	27
3.2.2	Reservatório Santa Branca.....	27
3.2.3	Reservatório Lavrinhas e Queluz.....	27
3.2.4	Reservatório do Funil.....	27
3.2.5	Reservatório de Anta.....	28
3.2.6	Ilha dos Pombos.....	28
3.3	Amostragem	29
3.4	Comunidade fitoplanctônica	30
3.5	Variáveis limnológicas	30
3.6	Análises estatísticas	32
4	RESULTADOS	33
4.1	Ambiente do fitoplâncton	33
4.1.1	Regime físico e químico.....	33
4.1.2	Nutrientes.....	41
4.2	O fitoplâncton	47
4.3	Relação entre os Grupos Funcionais e o ambiente	51
4.4	Efeitos da transição lótico-lêntico	56
5	DISCUSSÃO	60
5.1	Regime físico e químico	60
5.2	O fitoplâncton	65
	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75

ANEXO A - Chave de identificação dos grupos funcionais baseados na morfologia (GFBM) Kruk et al. (2010).....	82
ANEXO B - Chave de identificação dos grupos funcionais baseados na morfologia para rios (GFBMR) Chen (2015)	82
APÊNDICE A - Relação dos Pontos de Coleta ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.....	83
APÊNDICE B - Lista dos táxons observados ao longo da calha do rio Paraíba do Sul entre os meses de junho à setembro de 2015	90

INTRODUÇÃO

Fitoplâncton de rios

Rios são caracterizados como ambientes de curto tempo de residência da água, alta turbulência, ausência de estratificação da coluna d'água, altas concentrações de material em suspensão e quase sempre por grande aporte de nutrientes, (DESCY, 1993). São considerados sistemas abertos com fluxo unidirecional e apresentam suas águas em constante movimento, o que os diferenciam dos ambientes lênticos (ESTEVES, 1988).

O fluxo unidirecional e turbulento das águas, estabelece importante força reguladora da comunidade fitoplanctônica de rios (REYNOLDS *et al.*, 1994), onde os mecanismos que atribuem pressão seletiva para o fitoplâncton em sistemas lóticos, são diferentes daqueles que atuam em ambientes lênticos (lagos e reservatórios). Nos ambientes lóticos, as concentrações de nutrientes são geralmente maiores do que as exigidas pelas algas para seu crescimento (WEHR & DESCY 1998) e o sucesso das populações fitoplanctônicas está atribuído à adaptação à condição física (turbulência) (REYNOLDS 2000), visto que o fitoplâncton é frequentemente arrastado pelo fluxo do rio (REYNOLDS; DESCY; PADISAK, 1994; REYNOLDS, 2006). Este arraste promove processos de perda por diluição (REYNOLDS 2000), sedimentação (REYNOLDS; DESCY; PADISAK, 1993) e, conseqüentemente, os rios apresentam baixa biomassa fitoplanctônica comparado aos sistemas lênticos (REYNOLDS *et al.*, 1994). Entretanto, o enriquecimento de nutrientes associado a condições de fluxo reduzido, particularmente em trechos de baixo curso, podem resultar na ocorrência de florações de microalgas em sistemas lóticos (FABBRO & DUIVENVOORDEN, 1996; PADISAK, 1997).

Nesse sistema, pode-se desenvolver o grupo das diatomáceas, sendo o verdadeiro fitoplâncton de rios, o potamoplâncton (ZACHARIAS 1898), composto por espécies que apresentam crescimento rápido e capacidade de sobreviver em alta turbulência e grande oscilação da luz, determinadas pela turbidez das águas (REYNOLDS; DESCY; PADISAK, 1994). As espécies de sucesso neste ambiente são capazes de se reproduzir e crescer ao longo desse sistema (REYNOLDS & DESCY, 1994).

Teorias fluviais

Algumas teorias se dedicam a explicar a estrutura e o funcionamento dos sistemas lóticos, buscando compreender as relações entre os processos físicos, químicos e biológicos (VANNOTE *et al.* 1980, JUNK *et al.* 1989). Vannote *et al.* (1980), em seu primeiro modelo de predição para sistemas lóticos, o Modelo do Rio Contínuo (River Continuum Concept – RCC), postula que as características estruturais e funcionais das comunidades se ajustam ao estado de condições físicas ao longo do rio, desde a nascente até a foz. A estrutura e função do sistema estão condicionadas aos padrões de entrada, transporte, utilização e armazenamento da matéria orgânica ao longo de um gradiente longitudinal.

Os sistemas lóticos apresentam gradativamente aumento no tamanho (largura e ordem) e adaptações morfológicas das comunidades ali presentes, podendo ser classificados em três regiões distintas: cabeceira, médio curso e baixo curso.

Cabeceira – caracteriza-se por região que apresenta alta dependência do aporte de material orgânico, com baixa ou nenhuma produção fotossintética, onde a respiração é maior do que produção primária. Presença de organismos detritívoros, os fragmentadores.

Médio Curso - neste trecho existe uma menor dependência da contribuição direta dos ecossistemas terrestres, sendo a maior produção primária maior que a respiração, com surgimento de organismos pastadores.

Baixo Curso - caracterizado por alta turbidez devido à grande carga de sedimentos advindos dos processos à montante, onde a respiração é maior que a produção. Nesta região, há presença de organismos coletores alimentam-se de pequenas partículas de matéria orgânica.

Em contraposição a esta teoria, surge a Teoria da Descontinuidade em Série (Serial Discontinuity Concept - SDC) (WARD & STANFORD, 1983) que postula a existência de alterações, provocadas por fatores naturais ou antrópicos, como por exemplos os represamentos, que irão romper o gradiente do rio em relação às condições ambientais anteriormente proposto pela teoria do rio contínuo (RCC). Desta forma, há impactos que podem ser observados através das mudanças no eixo longitudinal dos processos bióticos e abióticos, tanto a montante, quanto à jusante do barramento (WARD & STANFORD, 1983). Para avaliar o impacto provocado pelo barramento, tanto a montante como a jusante do reservatório, é possível ainda considerar a distância do barramento (discontinuity distance) em função do ponto onde se observa a descontinuidade no eixo longitudinal (WARD & STANFORD, 1983).

O conceito da Descontinuidade em Série foi posteriormente ampliado, incorporando a importância das interações entre o rio e a sua planície de inundação (WARD & STANFORD,

1995), por meio da Teoria de Pulso de Inundação – *Flood pulse Concept*, desenvolvida por JUNK *et al* (1989).

Outras teorias sobre sistemas lóticos foram desenvolvidas (Teoria das Quatro Dimensões em Ecossistemas Lóticos - *Four-Dimensional Concept* (WARD, 1989); Teoria do Domínio de Processos - *Process Domain Concept* (MONTGOMERY, 1999) e Teoria da Imparidade com o Descontínuo Fluvial - *Uniqueness within the River Discontinuum* (POOLE, 2002), contudo não dão destaque aos eventos de barramentos de rios e suas consequências.

Efeitos reguladores do fitoplâncton de rios e os Grupos Funcionais

O fitoplâncton pode ser definido como um conjunto de microrganismos fotossintetizantes que têm parte ou a totalidade de seu ciclo de vida em suspensão nas águas continentais ou oceânicas (REYNOLDS, 2006). São responsáveis pela maior parte da produção primária do planeta e apresentam respostas rápidas às alterações ambientais, funcionando como sensores biológicos (REYNOLDS, 2006).

A comunidade fitoplânctônica tem sua estrutura e dinâmica reguladas pelos efeitos descendentes, *top-down* (herbivoria) e ascendentes, *bottom-up* (luz e nutrientes) (GONZÁLEZ, 2000; HORN, 2008). Porém, em sistemas lóticos, esta comunidade é normalmente mais influenciada pelos efeitos ascendentes, onde a turbulência e o aporte de material particulado em suspensão podem reduzir a intensidade luminosa (DESCY, 1987; REYNOLDS *et al.*, 1994). O controle descendente por nutrientes não é esperado, visto que em rios as concentrações destes são maiores do que às requeridas pelo fitoplâncton (WEHR & DESCY, 1998; ZENG *et al*, 2007; DEVERCELLI, 2006), sendo de igual maneira incomum o controle descendente por zooplâncton nestes sistemas.

Para que estes organismos se estabeleçam neste habitat, as populações necessitam de inúmeras adaptações (REYNOLDS, 2000). Estes organismos apresentam características que permitem um melhor desempenho no seu habitat, como por exemplo, as formas filamentosas que possuem maior taxa metabólica por serem excelentes antenas receptoras de luz, ou ainda apresentar altas razões superfície/volume (S/V) (NASELLI-FLORES & BARONE, 2007). Estas estratégias podem ser observadas em algumas diatomáceas, o que facilita a interceptação de luz e reduz o processo de perda por sedimentação, ou ainda em espécies pequenas, capazes de se manterem no fluxo turbulento, devido a suas altas taxas de

crescimento (REYNOLDS, 2006; SOARES *et al.*, 2007; LITCHMAN & KLAUSMEIR, 2008).

Historicamente, estudos sobre fitoplâncton de ambientes lóticos são menos frequentes em comparação aos sistemas lênticos (reservatórios, lagos, lagoas), resultando em um volume de informações menor sobre a comunidade fitoplanctônica destes sistemas (BOZELLI & HUSZAR, 2003; BORGES *et al.* 2003; SOARES, 2007).

Estudo sobre as populações fitoplanctônicas em rios brasileiros tiveram início no século XIX nos rios tropicais da bacia do Amazonas (MOBIUS, 1892; THOMASSON, 1971; DICKIE, 1881). Atualmente, grande parte dos trabalhos sobre rios está relacionada a sistemas de planícies de inundação (MUSSARA *et al.*, 1998; APPEL, 2017).

Outro fator importante diz respeito à amostragem dos estudos, uma vez que a bibliografia sobre o fitoplâncton de rios brasileiros restringe-se a estudos que, em geral, apresentam pequena frequência amostral. Frequentemente estes estudos estão restritos a pequenos trechos do rio e a variações temporais. No rio Contas na Bahia (SEVERIANO *et al.*, 2012) foram analisados 28 pontos amostrais, com intervalos trimestrais em um período de três anos. Neste trabalho foi calculada a frequência de ocorrência dos táxons em relação ao número de amostragem a alta diversidade deu-se provavelmente em função da heterogeneidade do habitat, com algumas regiões apresentando características de ambientes lênticos e outras de ambientes lóticos, comum em rios represados.

No estuário do rio São Francisco, estudado em períodos sazonais, com sete pontos amostrais entre Sergipe e Alagoas (MELO-MAGALHÃES *et al.*, 2011), foram calculadas a abundância relativa de cada táxon e frequência de ocorrência das espécies, com maior riqueza de espécies registrada na estação chuvosa, em função do aumento da carga de nutrientes dentro do estuário.

O rio Ariquindá, em Pernambuco, foi estudado durante um período anual, em três pontos amostrais, com distância média de 3,0 a 4,0 km entre eles, que registrou dominância para seis espécies, sendo todas pertencentes à classe Bacillariophyceae.(GREGO, 2010).

Estudo no médio curso do rio Pindaré, Maranhão analisou seis estações amostrais, durante os picos dos períodos chuvoso e de estiagem, entre maio e outubro/2011 (RODRIGUES *et al.*, 2015).

No Rio de Janeiro, em um estudo no estuário do rio Paraíba do Sul, foram coletados oito pontos amostrais durante o período de um mês (CÂNDIDO *et al.*, 2008). Este trabalho avaliou a distribuição da comunidade fitoplanctônica e caracterizou as espécies mais abundantes no período de baixa vazão de 2007 e alta vazão de 2008. Maiores valores de

densidade estiveram relacionados às espécies das classes das diatomáceas no período de baixa vazão e cianobactérias no período de alta vazão.

Em geral, os trabalhos para o fitoplâncton de rios habitualmente apresentam abordagem taxonômica para grandes grupos de algas. Porém, recentemente estudos a partir de abordagens funcionais para esta comunidade têm sido registrados, principalmente com associação de espécies que apresentam similaridade nas respostas às condições ambientais, formando grupos (BRASIL & HUSZAR, 2011) em função da similaridade de suas características morfológicas, embora restringindo-se a trechos de rio, nunca incorporando o percurso total do rio.

Appel (2010), em um estudo de 10 rios em diferentes bacias no estado de São Paulo, fez amostragens mensais para uma avaliação em função da abordagem funcional (REYNOLDS, 2002). Em estudo mais recente no rio Madeira, em 2017, ao longo de 300 km de extensão, foi realizado estudo para analisar a resposta do fitoplâncton em função do barramento (APPEL, 2017), utilizando a abordagem funcional dos GFBM do fitoplâncton (KRUK *et al.*, 2010).

Estudos com abordagem apenas filogenética mostram, muitas vezes, respostas insuficientes, visto que o fitoplâncton é formado por grupos polifiléticos (REYNOLDS, 2006) que podem apresentar adaptações semelhantes, necessitando de outras abordagens que levem em consideração também a função destes organismos no meio aquático para uma melhor compreensão da estrutura e funcionalidade desta comunidade, tornando a ecologia de comunidades mais preditiva.

Reynolds (1997) sistematizou uma abordagem funcional para a comunidade fitoplanctônica, baseada no modelo das três estratégias de espécies proposto anteriormente por Grime (1977) (C-competidoras, S-estresse-tolerantes e R-ruderais) para a vegetação terrestre. Para isto, foi levado em consideração o princípio da conservação da razão superfície/volume das espécies de algas (LEWIS, 1976). Em outra proposição funcional, Reynolds (1997) consolidou uma abordagem para associação de espécies (assemblages) apoiada em 31 grupos funcionais, constituídos por espécies independentemente de suas afinidades filogenéticas. Este modelo foi remodelado primeiramente em 2002, por Reynolds *et al.*, ao propor a utilização do termo “grupo funcional” em substituição ao termo “associação” e, mais tarde por Padsák *et al.* (2009), onde sugeriram 40 grupos funcionais, baseados em suas estratégias de sobrevivência, intolerâncias e sensibilidades

Afim de simplificar os modelos de classificação anteriores, Kruk *et al.* (2010) inicialmente propuseram que a morfologia poderia ser uma referência de modelo, refletindo a

fisiologia das espécies e, posteriormente, com um trabalho de maior abrangência (KRUK *et al.*, 2011), esta abordagem foi fundamentada por meio de critérios sucintos e de fácil aquisição ao microscópio. Esta seria uma abordagem de grupos baseada apenas na morfologia dos organismos – Grupos Funcionais Baseados em Morfologia (GFBM) (Anexo - I). Esta abordagem demonstra que uma classificação baseada nas características morfológicas simples pode conter a maior parte da variabilidade de atributos funcionais do fitoplâncton.

Inicialmente, a abordagem para Grupos Funcionais foi desenvolvida especialmente para ambientes lênticos, mas essa abordagem tem se mostrado promissora para ambientes lóticos (MELO & HUSZAR, 2000; NABOUT & NOGUEIRA, 2006; SOARES *et al.*, 2007). Embora esta abordagem seja relativamente recente, há registros de trabalhos que confirmam sua capacidade descritora e preditora (PACHECO *et al.*, 2010; KRUK, 2011; APPEL, 2017).

Entretanto, considerando a necessidade crescente de aprimorar o conhecimento da biodiversidade de rios em face do progressivo aumento de impactos antrópicos, a utilização da abordagem de Grupos Funcionais em rios gera a necessidade de ajustes às especificidades das condições lóticas (CHEN *et al.*, 2015) (Anexo. II).

A recente classificação funcional de Chen *et al.* (2015) estrutura a proposta do GFBM designada para rios, denominado Grupos Funcionais Baseados em Morfologia para Rios - GFBMr e enfatiza a presença de flagelos, tamanho e forma, exoesqueletos silicosos, estratégia de vida e subdivisão das diatomáceas em penadas e cêntricas, assimilando as preferências ecológicas dos grupos de fitoplâncton associados aos rios.

A presença de barramentos e seus efeitos sobre o fitoplâncton

A construção de reservatórios é um dos métodos mais antigos relacionados às intervenções antrópicas (TUNDISI 1999). Nos sistemas fluviais brasileiros, a presença de barramentos em grandes rios, afim de atender à crescente demanda por eletricidade, é uma prática habitual (RODGHER *et al.*, 2005).

Tundisi & Straskraba (1999) destacam que os efeitos do barramento dependem do tipo de rio, da bacia de drenagem, da localização da barragem e do tipo de barramento (acumulação ou fio d'água). Dentre os maiores impactos antropogênicos em sistemas fluviais, a fragmentação de habitats, provocada pela construção de barragens, é a maior observada (WINEMILLER *et al.* 2016).

Embora estes empreendimentos apresentem grande importância econômica e social (suprimento energético, agricultura, pesca, turismo e lazer), a construção de barragens, altera a hidrodinâmica dos rios (WARD & STANFORD, 1983; NOGUEIRA *et al.*, 2010), uma vez que o rompimento desta continuidade no eixo longitudinal do rio promove mudanças como, o acúmulo da biomassa a montante da barragem, em função da redução da vazão (BORTOLINI *et al.*, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2015), aumento no tempo de residência da água, redução de sólidos em suspensão, elevação da transparência da água e redução da diversidade e da riqueza de espécies a jusante, devido à retenção da biomassa a montante (RODRIGUES *et al.*, 2015; BOVO-SCOMPARINI *et al.*, 2013).

No Brasil, grande parte destes sistemas são reservatórios em cascata, ou seja, conjunto de reservatórios consecutivos construídos ao longo de um rio, que afetam a dinâmica dos reservatórios a jusante e, conseqüentemente, suas características abióticas e bióticas (BARBOSA *et al.*, 1999). Este sistema em cascata pode ainda influenciar a distribuição do fitoplâncton, interferindo na reprodução, nos ciclos de vida das espécies (TUNDISI *et al.*, 1998), nos ciclos biogeoquímicos, na circulação horizontal a jusante e produzindo novos padrões hidrodinâmicos, químicos e biológicos (BARBOSA *et al.*, 1999; STRASKRABA & TUNDISI, 1999).

Contudo, os efeitos provocados pelas barragens, podem ser minorados proporcionalmente ao aumento da distância do próprio barramento, sendo tais impactos ainda reduzidos pelos tributários presentes (BERGKAMP *et al.*, 2000) e ainda pelas barramentos do tipo fio d'água, os quais operam sem contenção de água, mantendo a mesma vazão na entrada e saída da barragem (STRASKRABA, 1999).

O uso do fitoplâncton para o monitoramento e controle da qualidade de ecossistemas aquáticos é de extrema importância, pois estes são bons indicadores das mudanças ambientais, devido a seu alto potencial de sensibilidade às alterações nos ecossistemas aquáticos (FERREIRA, 1991; PADISÁK, 1993;), sendo considerados uma excelente fonte para a compreensão da dinâmica destes ecossistemas.

1 HIPÓTESES

Em função do efeito determinado pelo regime hidrológico de sistemas lóticos e dos impactos causados por barramentos, espera-se que:

- (I) A estrutura da comunidade fitoplanctônica seja alterada ao longo do rio pela presença dos barramentos;
- (II) As respostas funcionais do fitoplâncton sejam sensíveis aos impactos antrópicos no rio, como às alterações de descontinuidade do regime contínuo longitudinal e da qualidade de água.
- (III) O contínuo longitudinal do rio Paraíba do Sul seja mantido a jusante no trecho de barragens a fio d'água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência das condições ambientais sobre a composição, biomassa e estratégias funcionais da comunidade fitoplanctônica, em função da transição entre a dinâmica lótica e lêntica, imposta pela presença de barramentos, ao longo do rio Paraíba do Sul.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a composição e biomassa da comunidade fitoplanctônica ao longo do rio Paraíba do Sul.
- Analisar a constituição dos grupos funcionais fitoplanctônicos, identificados ao longo de toda calha do rio Paraíba do Sul.
- Identificar os padrões funcionais da comunidade fitoplanctônica em função das condições hidrológicas, impostas pelos barramentos presentes na calha do rio.

3 MÉTODOS

3.1 Área de estudo

3.1.1 Bacia Hidrográfica – Rio Paraíba do Sul

A Bacia do rio Paraíba do Sul, localizada na região mais desenvolvida do país, Sudeste, compreende uma área de drenagem de cerca de 55.500 km². O principal rio é o Rio Paraíba do Sul, com 1150 km de extensão, que resulta da confluência dos rios Paraibuna e Paraitinga, sendo sua nascente na Serra da Bocaina (SP) e foz em Atafona, norte do estado do Rio de Janeiro (ANA, 2007). Seus principais afluentes à margem esquerda são os rios Jaguari, Paraibuna, Pomba, Muriaé e, à margem direita, os rios Piraí, Piabanha e Dois Rios no Rio de Janeiro (ANA, 2007).

O rio Paraíba do Sul (RPS) contribui para o abastecimento hídrico dos estados de São Paulo (Vale do Paraíba), Minas Gerais e Rio de Janeiro, totalizando 184 municípios (ANA, 2007). No Rio de Janeiro, o Paraíba do Sul responde pelo abastecimento de aproximadamente 83% da população, através da transposição de cerca de 70% de seu volume para o rio Guandu (INEA, 2014).

Além de abastecimento urbano, o rio Paraíba do Sul possui importante papel socioeconômico, apresentando finalidades múltiplas, geração de energia elétrica, consumo por parte de atividades econômicas como indústria, agricultura, mineração, pesca, regularização de vazões, turismo, lazer e preservação da flora e fauna (CEIVAP, 2006).

3.2 Hidrelétricas no Rio Paraíba do Sul

O sistema hidrográfico do rio Paraíba do Sul é constituído por trechos lóticos, interceptados por sete represamentos, sendo cinco Usinas Hidrelétricas – Paraibuna (pontos 44, 45, 46, 47), Santa Branca (pontos 53, 54, 55), Funil (pontos 121, 122, 123, 124), Anta (174, 175, 176), Ilha dos Pombos (ponto 184), e duas Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH Lavrinhas (ponto 114) e PCH Queluz (ponto 116) (Tabela 1).

Tabela 1 - Coordenadas e localização do estado respectivo de cada hidrelétrica; potência de geração de energia; distância (km) da nascente em função de cada reservatório e ponto de amostragem mais próximo a cada barragem.

Reservatórios	Cidade	Área de inundação (km ²)	Vazão média (m ³ /s)	Profundidade Máxima (m)	Tempo de residência (dias)	Regime de Operação
Paraibuna	Paraibuna, SP	177,2	69	98	793	Acumulação
Santa Branca	Santa Branca, SP Jacareí, SP	27	130	9	63	Acumulação
Larvinhas	Larvinhas, SP	0,7	78,7	4,4	0,2	Fio d'água
Queluz	Queluz, SP	1,6	78,9	4,4	0,2	Fio d'água
Funil	Resende, RJ	40	220	70	55	Acumulação
Anta	Sapucaia, RJ	12,3	101,4	8,2	4	Fio d'água
Ilha dos Pombos	Carmo,RJ; Além Paraíba, MG	4	78,7	32	0,2	Fio d'água

3.2.1 Reservatório Paraibuna

O reservatório do Paraibuna (Figura 1) se localizada no município de Paraibuna, Estado de São Paulo, sendo alimentado pelas águas armazenadas pelos barramentos dos rios Paraibuna e Paraitinga (CESP, 2009). Foi construído em 1977 pela CESP, entrando em funcionamento em abril de 1978. Tem por finalidade regular a vazão do rio Paraíba do Sul e fornecer água para várias cidades do Vale do Paraíba e do Estado do Rio de Janeiro (CEIVAP, 2010).

3.2.2 Reservatório Santa Branca

O reservatório de Santa Branca (Figura 1), localizado na região do Alto Paraíba, estado de São Paulo, é o segundo reservatório do sistema. Foi construído pela Light em 1960, destinado à regularização do Alto Paraíba (CEIVAP, 2014).

3.2.3 PCH Lavrinhas e Queluz

A PCH Lavrinhas (Figura 1), situada em São Paulo, está interligada com a transmissão de energia advinda da subestação elevatória Queluz (PCH) que, juntas, são responsáveis por suprir demandas locais e até de energia (LARVINHAS ENERGIA, 2018). A PCH Lavrinhas entrou em operação em Setembro de 2011 enquanto a PCH Queluz entrou em operação em Agosto de 2011 (ALUPAR, 2018).

3.2.4 Reservatório de Funil

A usina Hidrelétrica de Funil (Figura 1), no médio Vale do Paraíba, município de Itatiaia – RJ, teve construção iniciada em 1961 pela ELETROBRÁS, tendo a obra sido repassada em 1967 para FURNAS. Entrou em operação em 29 de novembro de 1969, sendo Funil o maior reservatório do rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2014).

3.2.5 Reservatório de Anta

A Usina Hidrelétrica de Anta (Figura 1), construída no rio Paraíba do Sul, na divisa dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, entrou em operação em junho de 2013 e faz parte do complexo sistema hidrelétrico de Simplício (FURNAS, 2013).

3.2.6 Reservatório Ilha dos Pombos

A represa de Ilha dos Pombos (Figura 1) está construída na cidade de Carmo, RJ, divisa com Minas Gerais, e teve início de operação em 1924. A represa é operada pela Companhia de Energia Light e fica na fronteira entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (CEIVAP, 2014).

Figura 1 – Reservatórios ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.



Legenda - Fotos dos reservatórios existentes ao longo da calha principal do rio Paraíba do Sul. 1) Reservatório do Funil (Fonte: O GLOBO, 2015), 2) Reservatório Lavrinhas (Fonte: AMBIOPAR, 2018) , 3) Reservatório Queluz (QUELUZ ENERGIA, 2018), 4) Reservatório Paraibuna (Fonte: O GLOBO, 2015) , 5) Ilha dos

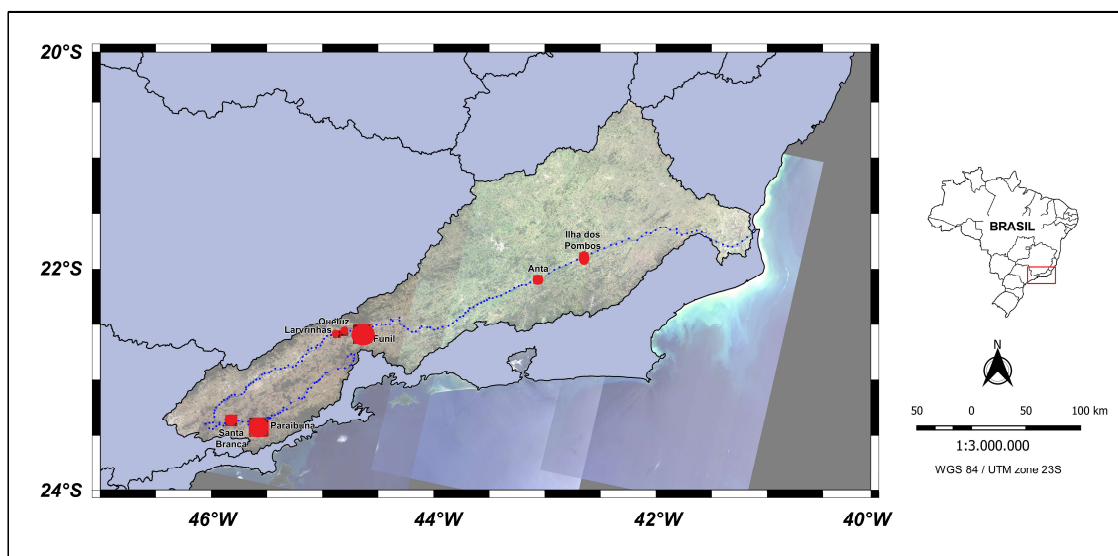
Pombos (LIGHT, 2018) 6) Reservatório de Anta (FURNAS, 2012) e 7) Reservatório Santa Branca (Fonte: O GLOBO, 2015).

Amostragem

A amostragem foi realizada ao longo de toda a calha principal do rio, desde a nascente na Serra da Bocaina (SP) até a foz, no distrito de Atafona, município de São João da Barra (RJ), em um período de 63 dias, de julho a setembro de 2015. As coletas foram realizadas com auxílio de um caiaque (Karma Unlimited) em intervalos de cerca de 5km do curso do rio, numa extensão de 1137 km (Figura 2) e totalizando 210 estações amostrais. Deste total de amostragens, 17 ocorreram em ambientes lênticos e 202 em ambientes lóticos (Apêndice I). O caiaque foi equipado com câmeras (vídeo e fotografia) e sondas, que registraram as variáveis limnológicas, além de uma mini estação meteorológica, que coletou informações sobre o ar (temperatura, vento, umidade e pressão).

Este trabalho se insere no âmbito do Projeto Cachoeiras, desenvolvido por um consórcio multi-institucional, formado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, Universidade do Rio de Janeiro – UERJ e Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

Figura 2 – Mapa da Bacia do rio Paraíba de Sul.



Legenda - Mapa da bacia do rio Paraíba do Sul, destacando o percurso da nascente à foz e os reservatórios presentes na calha principal do rio Paraíba do Sul. Os pontos em azul representam todas as estações coletadas e os círculos em vermelho representam os

reservatórios com seus respectivos nomes (Paraibuna, Santa Branca, Lavrinhas, Queluz, Funil, Anta, Ilha dos Pombos) ao longo da calha principal do rio. (Mapa feito por Daniel Tremmel Maia – Instituto de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense).

3.4 Comunidade fitoplanctônica

As amostras para análise do fitoplâncton foram coletadas na subsuperfície das estações de amostragem. As concentrações de clorofila-a foram mensuradas *in vivo* com um analisador de fitoplâncton Phyto-PAM (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Alemanha). As amostras para identificação e quantificação foram fixadas com solução de Lugol.

As populações (indivíduos./mL⁻¹) foram contadas em campos aleatórios (UHELINGER, 1964) pelo método de sedimentação (UTERMÖHL, 1958) em microscópio invertido (Olympus CKX41). Os indivíduos (células, colônias, cenóbios, filamentos) foram contados, sempre que possível, até alcançar 100 indivíduos da espécie mais freqüente (LUND *et al.* 1958).

Os grandes grupos taxonômicos foram identificados de acordo com os critérios de Van den Hoek *et al.* (1997) para todos os grupos de algas, com exceção das cianobactérias, que utilizaram bibliografia específica (KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS, 2005), sendo as populações fitoplanctônicas identificadas sempre que possível a nível de espécie.

O biovolume (mm³ L⁻¹) foi estimado de acordo com fórmulas geométricas aproximadas (HILLEBRAND *et al.*, 1999).

Foram utilizadas as chaves de KRUK *et al.* (2010) e CHEN *et al.* (2015) para determinar os Grupos Funcionais Baseados em Morfologia (GFBM) da comunidade fitoplanctônica..

3.5 Variáveis limnológicas

Os dados de temperatura da água (T), pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (COND) e turbidez (TURB) foram obtidos com o auxílio de uma sonda multiparamétrica (YSI 6600 Yellow Springs, Ohio, EUA).

Os dados de temperatura do ar, vento, umidade e pressão foram obtidos através de uma mini-estação meteorológica automática, Kestrel 500, sendo os valores registrados por sensores (iButton), suspensos com auxílio de um balão de gás hélio (Figura 3).

Figura 3 – Equipamentos utilizados para obtenção de dados meteorológicos.



Legenda – Equipamento utilizado durante o processo de coleta. 1) Mini estação meteorológica usada para medir as variáveis do ar; 2) Balão de gás hélio, usado para manter os sensores em suspensão; 3) Sensor iButton usado para registrar as variáveis do ar; 4) Ponto de fixação do balão de gás hélio no caiaque. Foto cedida por Felipe Pacheco.

Para as análises químicas, foram coletadas amostras sub-superficiais, em um volume de 500 ml, sendo as amostras para nutrientes dissolvidos, fósforo solúvel reativo (SRP), íon amônio (N-NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-), filtradas previamente em filtros de borossilicato Whatman GF/C. e as não foram filtradas usadas para análise de nutrientes totais, nitrogênio total (TN) e fósforo total (TP). Todas as amostras foram armazenadas em freezer até o momento da análise.

As amostras foram submetidas à digestão com persulfato de potássio para estimar a concentração de Fósforo Total (PT) que, assim como a concentração de fósforo dissolvido

(PSR), foram determinadas por meio de sistema de injeção de fluxo - FIA (FIALab, modelo 2500, Seattle, Washington, EUA).

O Nitrogênio Total (NT) e o Carbono Orgânico Total (COT) foram determinados através de um analisador COT e Nitrogênio (Shimadzu, modelo TOC-VCPN, com uma unidade TN TNM-1, Kyoto, Japão).

As concentrações de Amônio (NH_4^+) e Nitrato (NO_3^-), foram determinadas pelo método de cromatografia iônica (Metrohm, modelo 850 Professional IC, Herisau, Sui).

A análise da concentração de silicato (SiO) foi feita por meio do método de injeção de fluxo – FIA (FIALab, modelo 2500, Seattle, Washington, E.U.A.).

Foram analisadas também as concentrações de alguns íons presentes nas amostras (Cálcio, Potássio, Sulfato e Magnésio), os quais foram mensurados por cromatografia iônica.

Para as frações dissolvidas dos nutrientes, as amostras foram previamente filtradas através de filtros de fibra de vidro (filtro de borosilicato tipo Whatman GF/C ou similar).

3.6 Análises estatísticas

Com finalidade de investigar a existência de potenciais padrões espaciais da comunidade fitoplanctônica no rio Paraíba do Sul, foi feita uma Análise de Correspondência Canônica (CCA), que permite evidenciar as possíveis relações entre as variáveis ambientais e a variância do biovolume de cada grupo funcional (GFBM e GFBMr). Pimeiramente foi realizada uma análise de correspondência sem tendência (DCA) para a abordagem dos GFBM, onde foi revelado gradiente >3.0 , sugerindo que o método unimodal era o mais indicado (TER BRAAK & SMILAUER, 1998). Dados com distribuição não normal foram transformados em $\text{Log}_{10}(x+1)$ e as variáveis com alta colinearidade foram retiradas ($\text{VIF}>20$; TER BRAAK, 1986). A importância de cada variável na análise foi considerada por meio da seleção progressiva (Foward Selection), assumindo somente as variáveis significativas ($p<0.05$). As análises foram executadas no software CANOCO 4.5 (TER BRAAK& SMILAUER, 1998).

2.RESULTADOS

4.1 Ambiente do fitoplâncton

4.1.1 Regime físico e químico

As variáveis químicas e físicas da água apresentaram um gradiente nas concentrações, tornando possível identificar um trecho inicial, área com menor influência antrópica, um trecho médio, área com grande influência antrópica e um trecho final, área com redução da influência antrópica.

A temperatura das águas superficiais do Paraíba do Sul apresentou variação ao longo do rio (média de 19,79°C – Tabela 2). Os dados indicaram uma menor temperatura nas áreas mais preservadas, pontos mais próximos à cabeceira (13°C), o quais correspondem aos valores de maior altitude, com aumento gradativo até o reservatório do Paraibuna (13°C-20°C) (trecho inicial). Após o reservatório do Paraibuna, a temperatura se manteve em torno de 21°C até a altura da cidade de Volta Redonda (trecho médio) e, posteriormente a esta cidade, obteve um aumento, atingindo temperaturas maiores que 22°C, até à foz do rio (trecho final) (Gráfico 1).

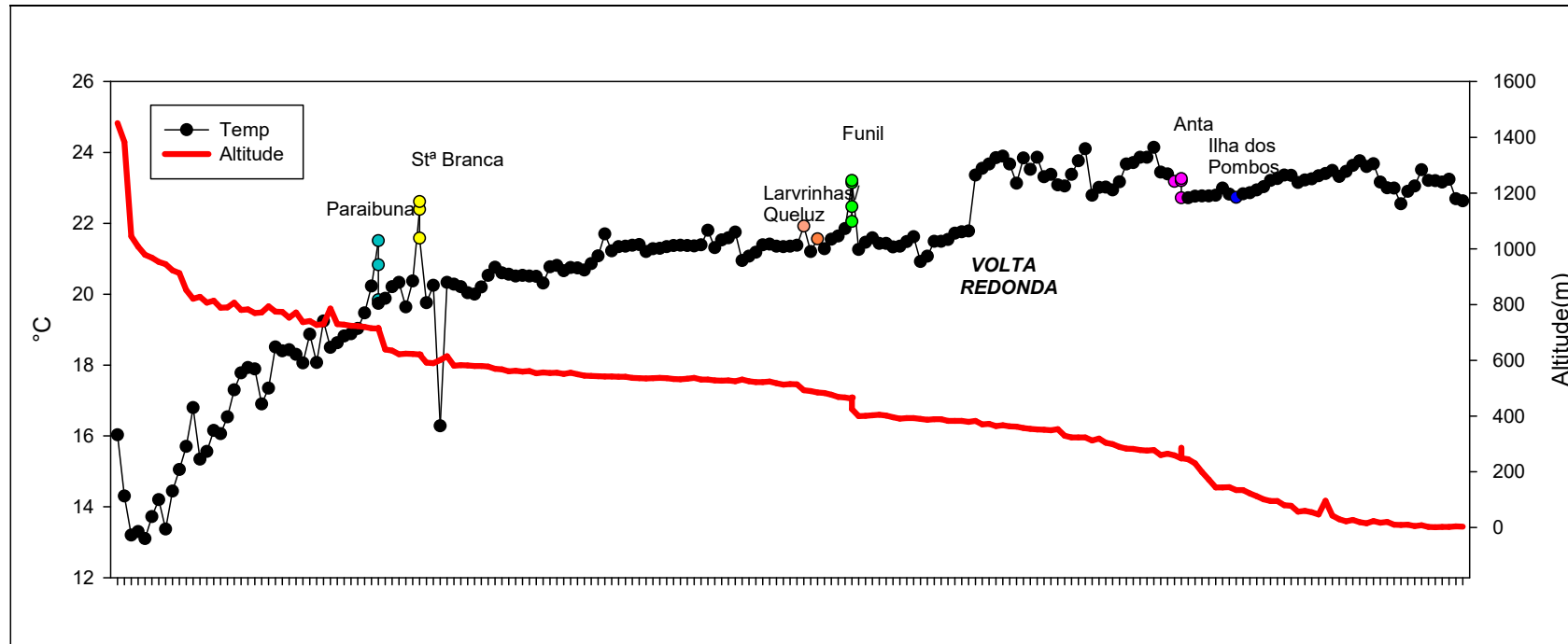
Os valores de condutividade da água foram distintos nos diferentes trechos do rio, com média de 20,98 mg L⁻¹ (Tabela III). Os valores mais baixos foram registrados na região mais próxima à cabeceira, com um aumento gradativo até 40 km após o reservatório de Santa Branca (trecho 1). Os valores de condutividade foram duplicados a partir do ponto 65, região da cidade de Jacareí (SP) (trecho 2), coincidindo com a influência dos centros urbanos. Foi observado uma redução de 25% destes valores a partir dos pontos 171-172, onde deságua o rio Piabanha, valores estes que se mantiveram até a foz (trecho 3). Pode-se ainda observar uma elevação da condutividade no ponto 211 (119 µS cm⁻¹), onde se localiza a cidade de Campos de Goytacazes (RJ) (Gráfico 2).

O pH da água foi próximo à neutralidade, com algumas variações pontuais (Gráfico 3). Os maiores valores obtidos foram registrados para o interior dos reservatórios (Paraibuna e Funil) (média = 9,74 – Tabela 2), sendo o valor máximo obtido no ponto 127, após a cidade de Itatiaia (RJ), trecho à jusante do reservatório do Funil. O menor valor (pH=3,1) foi observado no ponto 133, trecho que coincide com a localização da Tecnopolo Industrial Plastic Omnium do Brasil, fabricante de materiais plásticos automotores.

A turbidez das águas do rio Paraíba do Sul foi sempre reduzida em direção ao interior dos reservatórios, com exceção de Funil e, pontos mais próximos à cabeceira (média do rio = 0,09 – 38,3 NTU - Tabela 2). Os valores de turbidez apresentaram aumento gradativo até 850 m a montante do reservatório do Paraibuna (Trecho 1), com valores crescentes após o reservatório de Santa Branca e acentuada elevação de valores para o trecho que compreende as cidades de Jacareí, São José dos Campos e de Tremembé (MG), sendo que nesta última é reportada atividade mineradora, exercida pela Mineração Nova Era. Os valores apresentaram um máximo no ponto 120(38,3 NTU), 5km a montante do reservatório do Funil (trecho 2), com pequenas variações a jusante do reservatório do Funil, com queda nas concentrações a partir do reservatório de Anta, que se mantiveram até 60km a jusante do reservatório de Ilha dos Pombos (trecho 3). Após este trecho, os valores voltaram a elevar-se até a foz do rio, não ultrapassando 8,7 NTU (Gráfico 4).

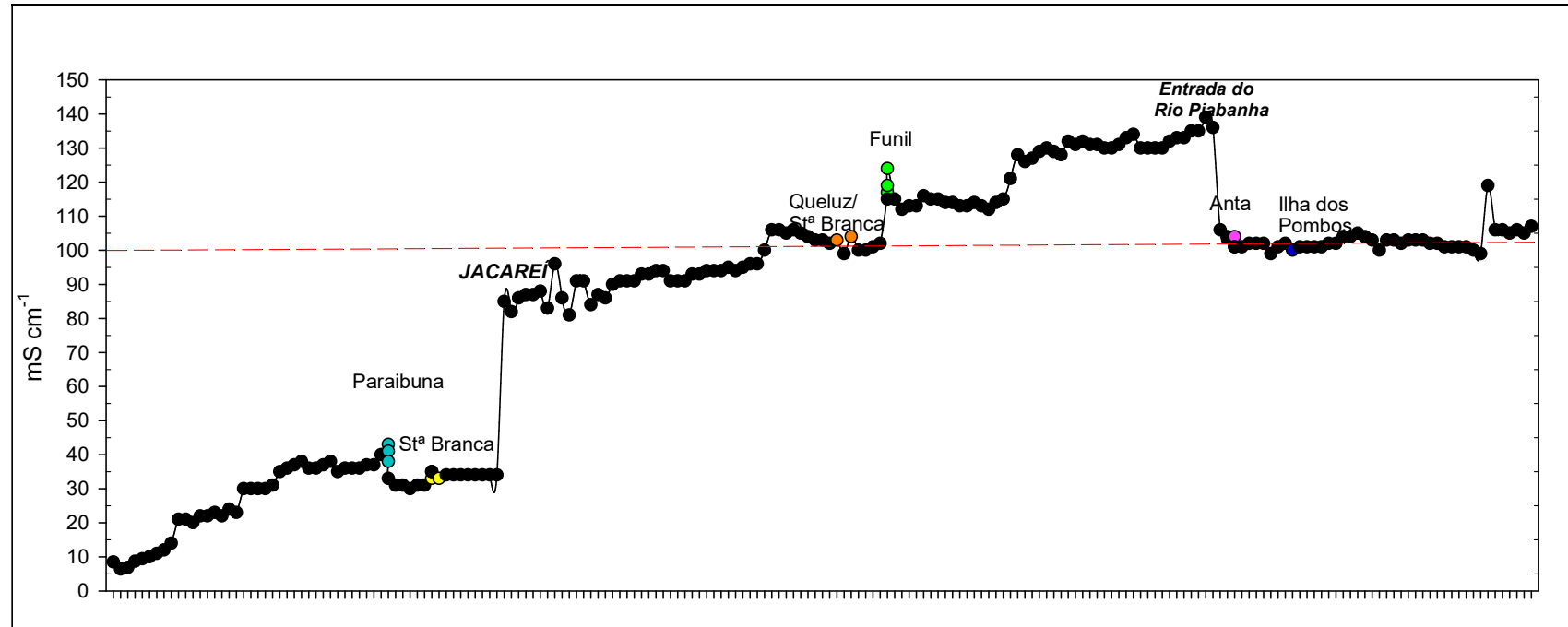
Em relação ao perfil longitudinal de oxigênio dissolvido (OD), as concentrações foram em geral maiores que o mínimo permitido, mas não inferiores a 6 mg L⁻¹ (CONAMA, 2005). Foram registrados valores maiores nos reservatórios, sendo o máximo registrado no reservatório do Funil (13,12 mgL⁻¹) (Gráfico 5) e o menor valor registrado no ponto 82 (1,4 mg L⁻¹), próximo à cidade de Caçapava (SP). Para os demais trechos do rio, observaram-se variações nos valores de OD que oscilaram entre 7-9 mg L⁻¹.

Gráfico 1– Variação da temperatura (°C) e altitude (m) ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.



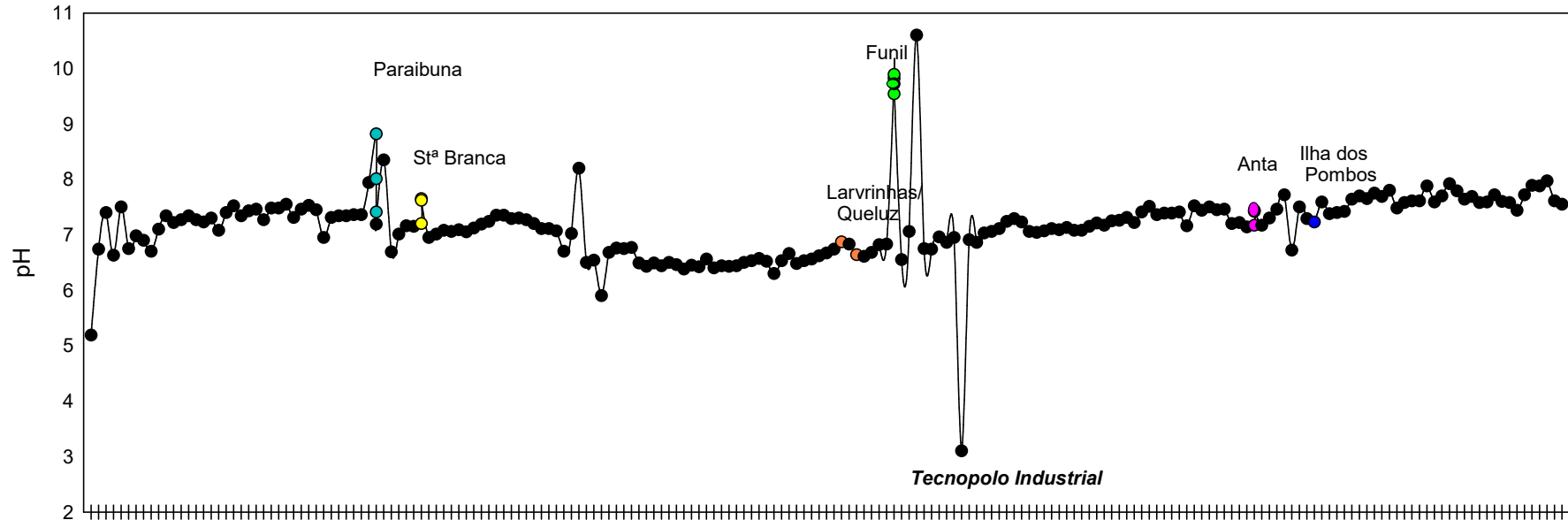
Legenda – Variação longitudinal da temperatura da água e altitude. O eixo (1) representa os valores de temperatura (°C) e o eixo (2) representa os valores de altitude (m). As figuras geométricas (círculos) em cores, representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Lavrinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●).

Gráfico 2 – Variação da condutividade ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.



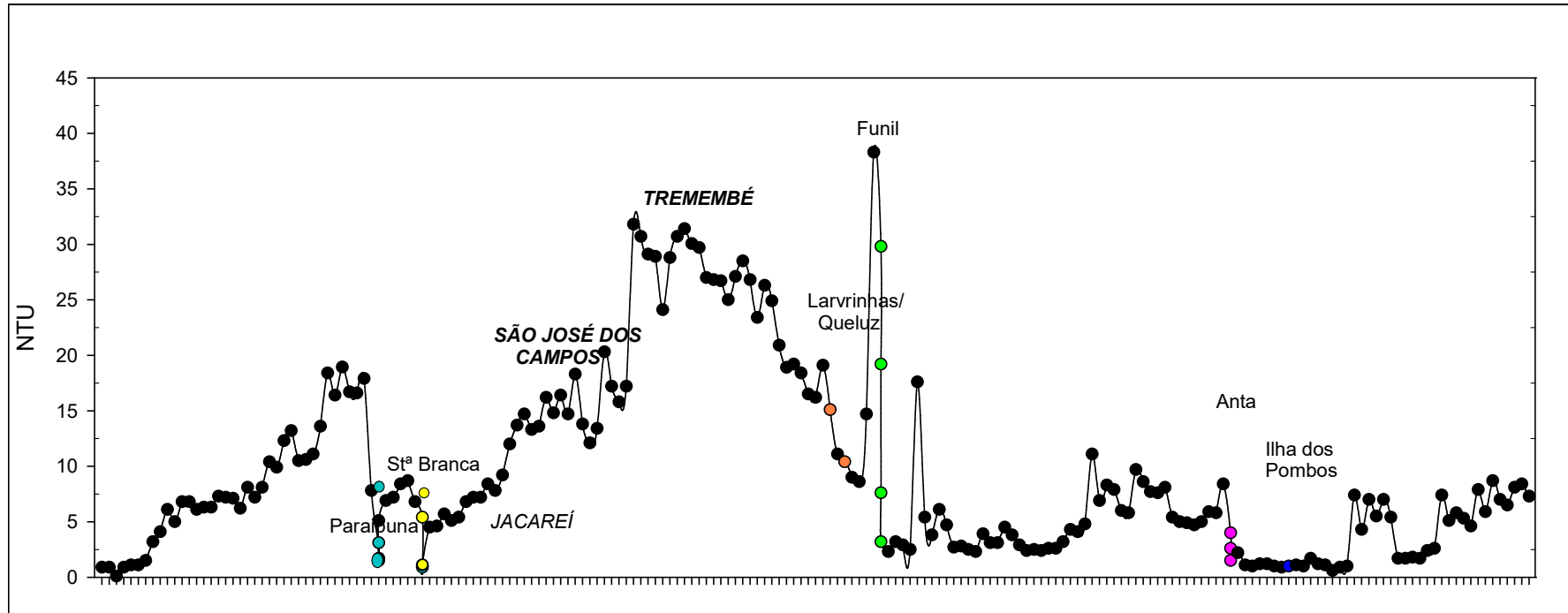
Legenda – Variação longitudinal –da condutividade da água. O eixo (Y) representa as concentrações de condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e o eixo (X) representa as variações destes valores no eixo longitudinal do rio Paraíba do Sul. As figuras geométricas (círculos) em cores representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Lavrinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●). A linha tracejada em vermelho representa o limite dos valores de condutividade esperados para ambiente de água doce.

Gráfico 3 - Variação do pH ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.



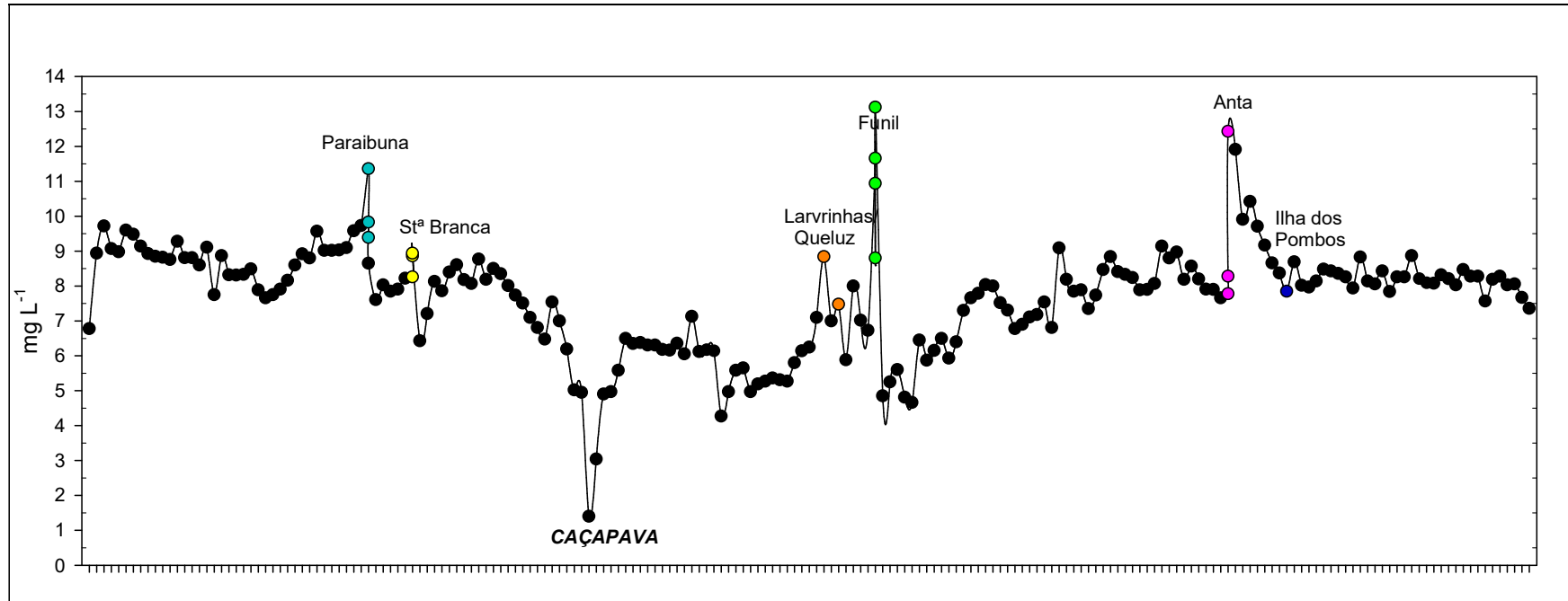
Legenda: Variação longitudinal do pH ao longo da calha do rio Paraíba do Sul. O eixo (Y) representa os valores mensurados para cada variável física/química e o eixo (X) representa as variações destes valores no eixo longitudinal do rio Paraíba do Sul. As figuras geométricas (círculos) em cores, representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Larvrinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●).

Gráfico 4 – Variação da turbidez ao longo da calha do rio Paraíba do Sul



Legenda: Variação longitudinal da turbidez ao longo da calha do rio Paraíba do Sul. O eixo (Y) representa os valores mensurados para cada variável física/química e o eixo (X) representa as variações destes valores no eixo longitudinal do rio Paraíba do Sul. As figuras geométricas (círculos) em cores, representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Larvinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●).

Gráfico 5 – Variação do oxigênio dissolvido ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.



Legenda: Variação longitudinal do oxigênio dissolvido. O eixo (Y) representa os valores mensurados para cada variável física/química e o eixo (X) representa as variações destes valores no eixo longitudinal do rio Paraíba do Sul. As figuras geométricas (círculos) em cores, representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Larvinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●).

Tabela 2 - Média e valores mínimo e máximo das variáveis abióticas nos reservatórios e nos trechos lóticos (Rio).

Variáveis	RESERVATÓRIOS						RIO
	PB	SB	LV/QZ	FL	AT	IP	
	Média Geral	Média Geral	Média Geral	Média Geral	Média Geral	Média Geral	Média Geral
Temp. (°C)	19,7 19,7 - 21,5	22,2 21,5 - 22,6	21,74 21,56 - 21,92	22,71 22,05 - 23,21	23,06 22,72 - 23,26	22,7	20,98 13,1 - 24,14
Cond.($\mu\text{S cm}^{-1}$)	38,75 33 - 43	34,33 33 - 35	103,5 103 - 104	118,75 115 - 124	102 101 - 104	100	84,88 6,4 - 139
pH	7,85 7,19 - 8,82	7,49 7,2 - 7,65	6,75 6,64 - 6,87	9,74 9,54 - 9,89	7,34 7,17 - 7,44	7,2	7,12 3,1 - 10,6
DO (mg L^{-1})	9,80 8,65 - 11,36	8,68 8,26 - 8,94	8,16 7,48 - 8,84	11,13 8,8 - 13,12	9,49 7,8 - 12,43	7,9	7,53 1,4 - 11,91
Tub.(NTU)	2,85 1,5 - 5,1	2,46 0,9 - 5,4	12,75 10,4 - 15,1	14,95 3,2 - 29,8	2,7 1,5 - 4	1,0	9,59 0,09 - 38,3
TP($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,010 0,0061 - 0,014	0,045 0,002 - 0,006	0,06 0,057 - 0,064	0,2 0,065 - 0,44	0,14 0,052 - 0,029	0,0032	0,042 0,0025 - 0,3
SRP($\mu\text{g L}^{-1}$)	4,91 2,1 - 10,2	1,44 0,0026 - 2,80	29,22 28,57 - 29,88	52,59 4,75 - 89,99	32,04 18,34 - 41,376	15,4	18,24 0,10 - 77,06
TN (mg L^{-1})	0,73 0,56 - 0,81	0,20 0,17 - 0,26	1,49 1,48 - 1,51	0,96 0,79 - 1,11	1,83 1,67 - 2	1,9	1,22 0,01 - 2,08
NH4 (mg L^{-1})	0,48 0,37 - 0,57	0,27 0,2 - 0,33	0,24 0,21 - 0,28	0,21 0,12 - 0,28	0,35 0,4 - 0,28	0,4	0,27 0 - 0,53
NO3 (mg L^{-1})	0,24 0,19 - 0,29	2,76 2,58 - 3,01	1,25 1,23 - 1,27	0,75 0,61 - 0,99	1,48 1,39 - 1,62	1,5	0,95 0,01 - 1,67
Na (mg L^{-1})	2,81 2,81 - 2,91	1,97 1,87 - 2,05	14,76 14,58 - 14,95	15,10 14,58 - 15,38	11,76 11,38 - 12,04	11,4	10,72 0,4 - 18,7
K (mg L^{-1})	2,49 2,18 - 2,64	1,89 1,83 - 1,93	2,99 2,96 - 3,02	3,69 3,24 - 4,01	3,13 2,88 - 3,41	3,1	2,65 0 - 4
Ca (mg L^{-1})	2,52 2,16 - 2,7	0,87 0,81 - 0,92	3,52 3,48 - 3,57	4,19 3,69 - 4,53	4,98 4,9 - 5,04	5,0	3,54 0,2 - 5,59
Mg (mg L^{-1})	1,15 0,98 - 1,24	1,76 0,86 - 2,70	1,19 1,17 - 1,22	1,45 1,27 - 1,58	1,40 1,37 - 1,45	1,5	1,21 0,02 - 2,06
SiO (mg L^{-1})	8,23 0,1 - 11,46	1,76 0,86 - 2,70	5,82 0,33 - 11,31	9,17 16,50 - 5,05	13,91 28,20 - 4,17	35,8	12,27 0,04 - 41,46

Legenda: Temperatura (Temp.), Condutividade (Cond), pH, Oxigênio Dissolvido (DO), Turbidez (Turb.), Fósforo Total (TP), Fósforo Solúvel Reativo (SRP), Nitrogênio Total (TN), Amônio (N NH₄⁺), Nitrato (N NO₃⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Sódio (Na⁺), Potássio (K⁺), Cálcio (Ca⁺), Magnésio (Mg⁺) e Sílica Reativa (SiO₂). Reservatórios: PB = Paraibuna, SB = Santa Branca, LV/QZ = Lavrinhas/Queluz, FL = Funil, AT = Anta, IP = Ilha dos Pombos.

4.1.2 Nutrientes

As concentrações de Fósforo Total (TP), variaram ao longo do rio, com média de $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 2). As menores concentrações foram registradas para o trecho inicial do rio, principalmente para os pontos mais próximos à cabeceira. Valores máximos foram registrados para o reservatório do Funil, no ponto mais próximo à barragem ($0,4 \text{ mg/L-1}$), no reservatório de Anta ($0,30 \text{ mg L}^{-1}$), nas proximidades das cidades de Tremembé (SP) ($0,20 \text{ mg L}^{-1}$), Volta Redonda (RJ) ($0,224 \text{ mg L}^{-1}$) e Sebastião Lacerda, Distrito de Vassouras (RJ) ($0,30 \text{ mg L}^{-1}$) (Gráfico 6). As concentrações de Fósforo Solúvel Reativo (SPR) também foram baixas para o trecho inicial do rio, com aumento de quase quatro vezes o valor nas proximidades da cidade de Jacareí (SP) ($0,033 \text{ mgL}^{-1}$). Esses valores mantiveram-se elevados até o reservatório do Funil, com o registro mínimo para o ponto mais próximo à barragem (Gráfico 6). Após aproximadamente 13km da barragem do Funil, os valores retornam a subir, com maiores registros para as cidades Barra do Pirai (RJ) e Vassouras (RJ). As concentrações de SRP, em grande parte dos trechos, não foram limitantes ao crescimento do fitoplâncton ($< 10\mu\text{g L}^{-1}$), com exceção para os trechos iniciais e finais do rio (próximos à foz).

As concentrações totais de nitrogênio total (NT), nitrato (N NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+) mantiveram-se entre $0 - 0,1\text{mg L}^{-1}$, até aproximadamente 60 km da cabeceira, crescendo gradativamente ao longo do rio, com declínio para o interior dos reservatórios, principalmente no reservatório do Funil (Tabela 2). O aumento dos valores registrados para nitrogênio total foram observados para pontos relacionados com a proximidade aos centros urbanos (São José dos Campos - SP, Caçapava - SP, Volta Redonda – RJ). Esta tendência foi observada de igual maneira para os valores de nitrato (NO_3^-) que representou a maior fração do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) durante o percurso do rio. As concentrações encontradas não foram limitantes ao crescimento fitoplanctônico ($< 100 \mu\text{g L}^{-1}$), com exceção para o trecho inicial do rio (Gráfico 7).

Em geral, a concentração dos íons demonstrou incremento rápido após a nascente do rio (Gráfico 8), no entanto, os íons cálcio (Ca^+), potássio (K^+) e magnésio (Mg^+) sofreram pouca variação ao longo da calha do rio. Caso diferente foi observado para os íons sódio (Na^+) e sulfato (SO_4^{2-}) que sofrem aumento abrupto nas proximidade da cidade de Jacareí (SP), com declínio após a cidade de Três Rios (RJ), cujos valores foram intermediários deste trecho até a foz do rio. A partir de uma relação linear, foi possível observar correlação entre o

aumento da condutividade em função do aumento das concentrações dos íons, especialmente os íons sódio e sulfato (Gráfico 9).

Gráfico 6 – Variação de fósforo total e fósforo solúvel reativo ao longo do rio Paraíba do Sul.

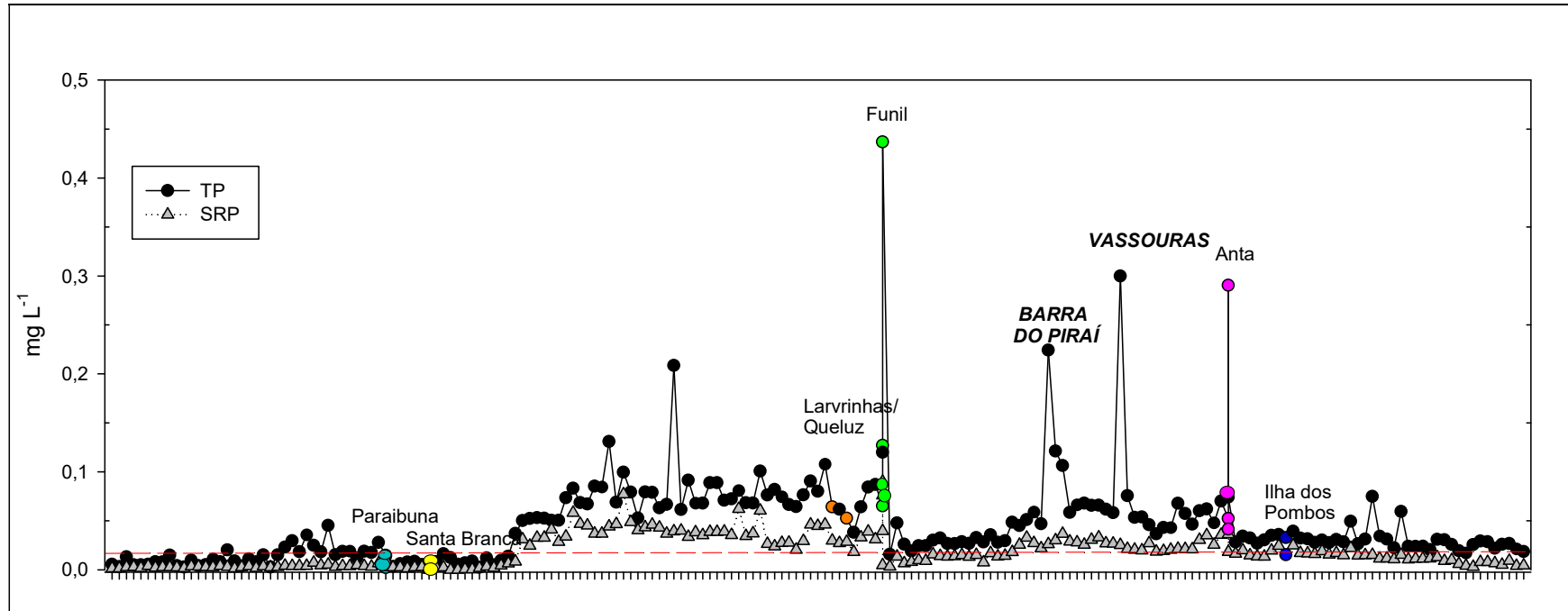
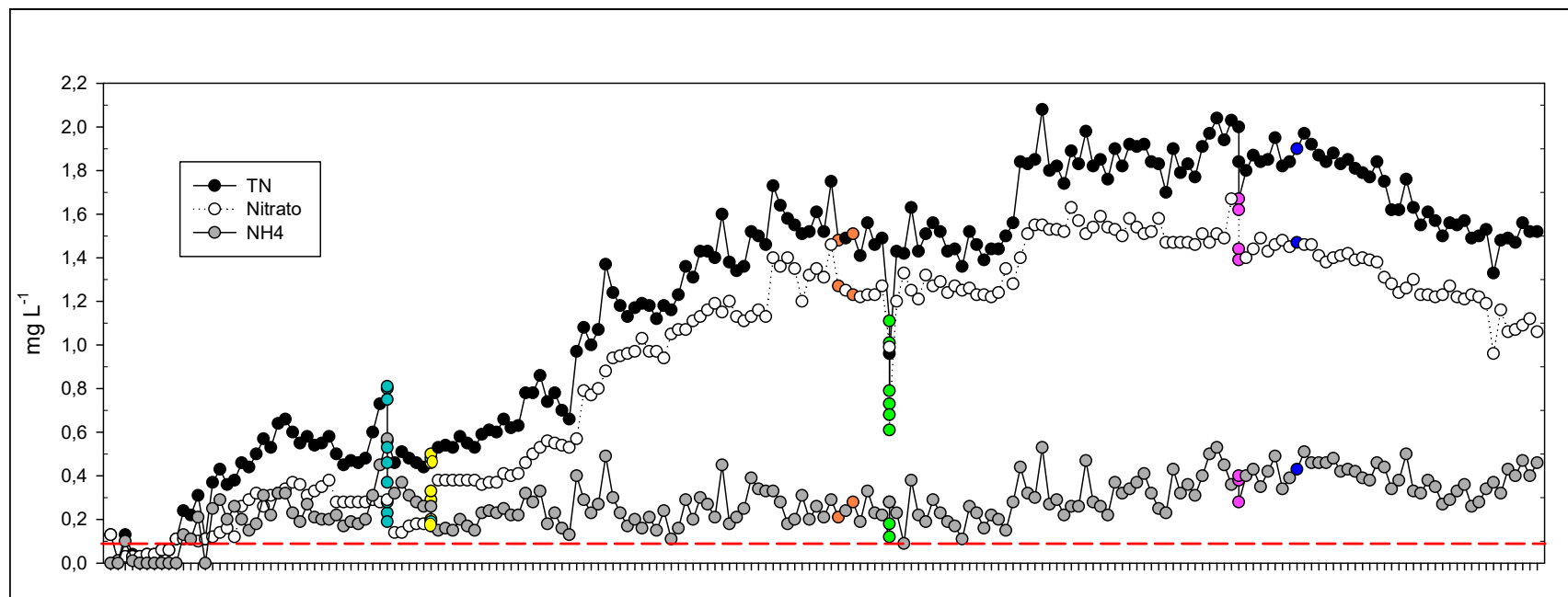
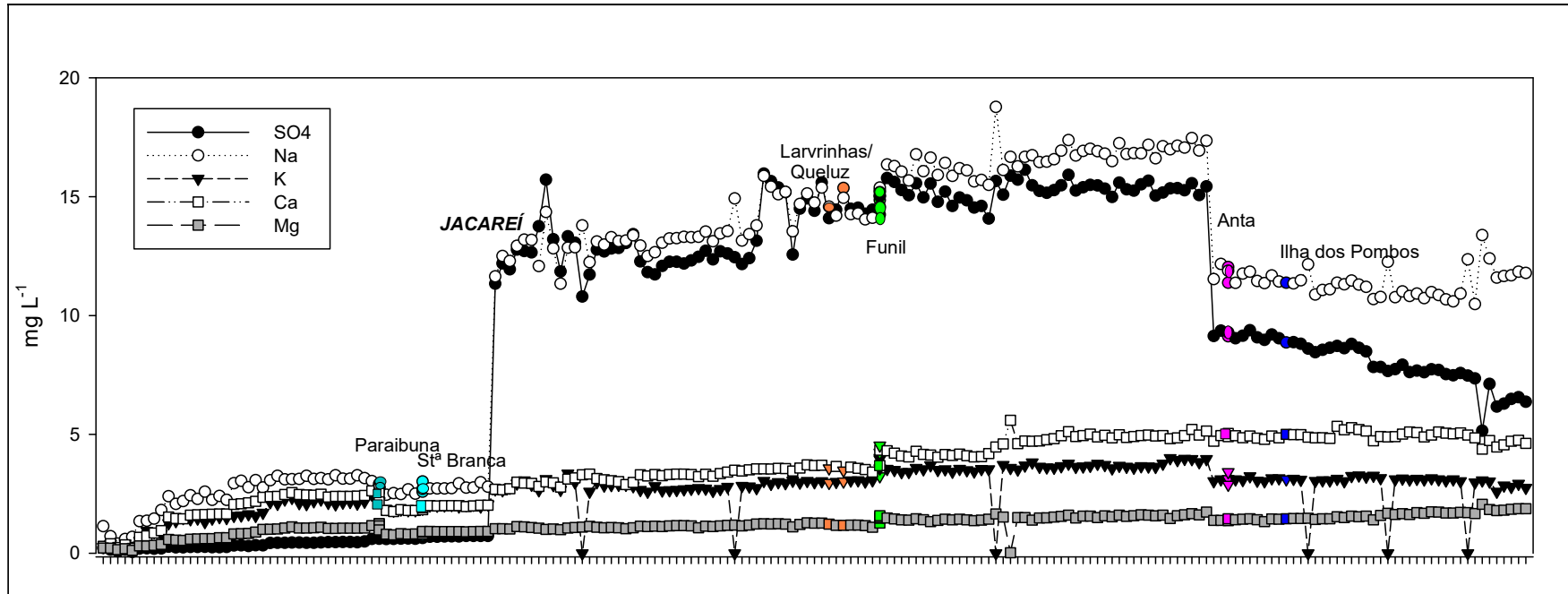


Gráfico 7 – Variação de compostos nitrogenados ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.



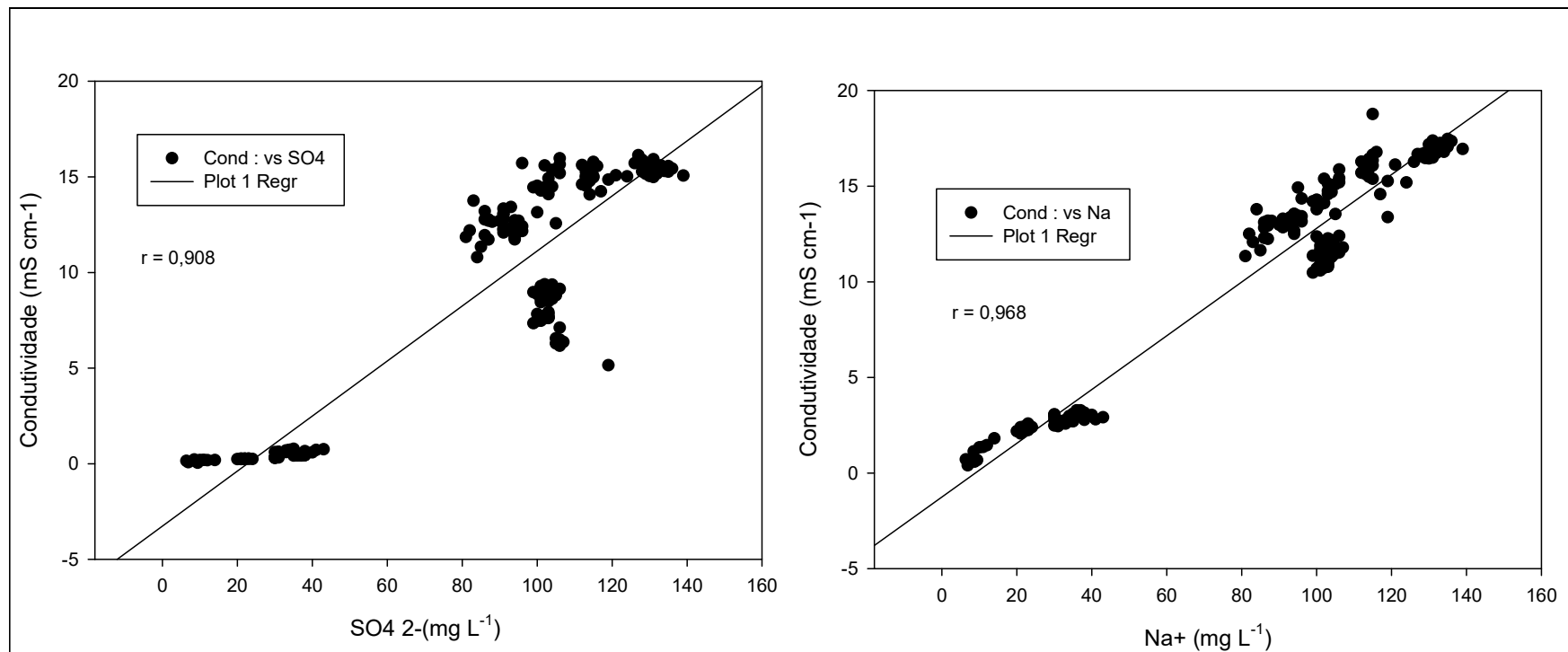
Legenda – Variação espacial das concentrações de nitrogênio total (NT), nitrato (N NO₃⁻) e amônio (N NH₄⁺) ao longo do trajeto percorrido. A linha tracejada em vermelho representa a concentração de nitrato limitante para o crescimento do fitoplâncton (100 µg L⁻¹). As figuras geométricas (círculos) em cores, representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Lavrinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●).

Gráfico 8 – Concentrações dos íons estudados, ao longo do rio Paraíba do Sul



Legenda – Concentração de íons (mg/L^{-1}) medidos ao longo da calha principal do rio Paraíba do Sul. As figuras geométricas (círculos) em cores, representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Lavrinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●).

Gráfico 9 – Relação entre a condutividade elétrica e concentração de íons.

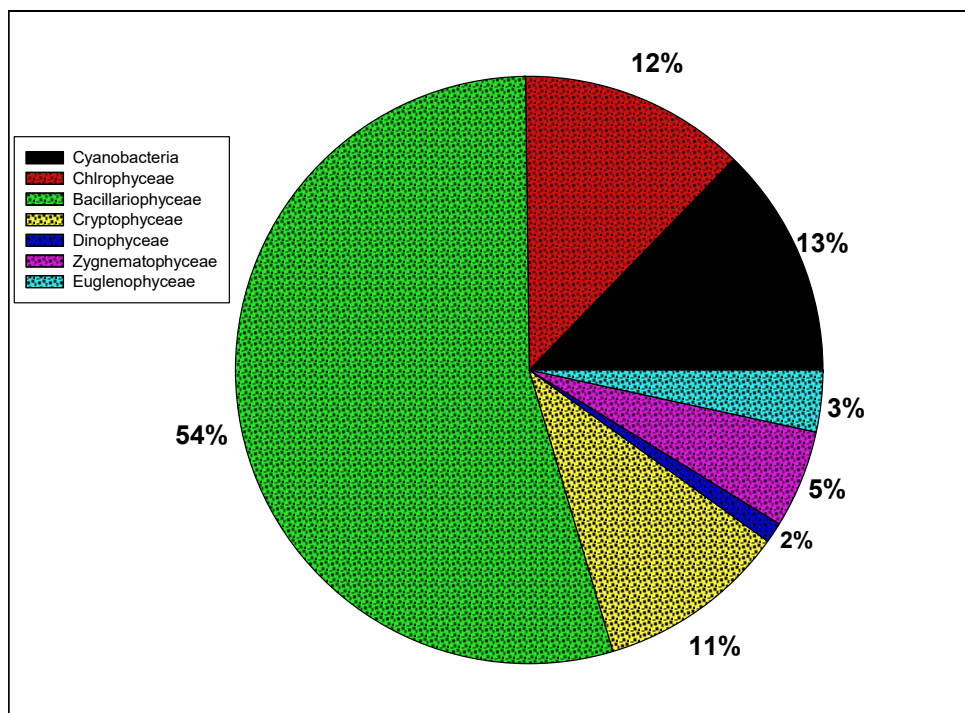


Legenda – Representação gráfica da relação linear entre a condutividade elétrica e a concentração dos íons sulfato e sódio.

4.2 O Fitoplâncton

O fitoplâncton foi composto por 359 táxons (Apêndice II), distribuídos em oito classes taxonômicas: Cyanobacteria, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Cryptophyceae, Chrysophyceae, Zygnematophyceae, Euglenophyceae, Dinophyceae e Crysophyceae, doravante chamadas de cianobacteria, clorofíceas, diatomáceas, criptofíceas, crisofíceas, ziggnematofíceas, euglenofíceas, dinoflagelados e crisofíceas, respectivamente. A classe das diatomáceas revelou a maior riqueza de táxons, 192, seguida das classes cianobacteria com 45, clorofíceas com 44, criptofíceas com 37, ziggnematofíceas com 19, euglenofíceas com 12, dinoflagelados com 4. (Gráfico 10).

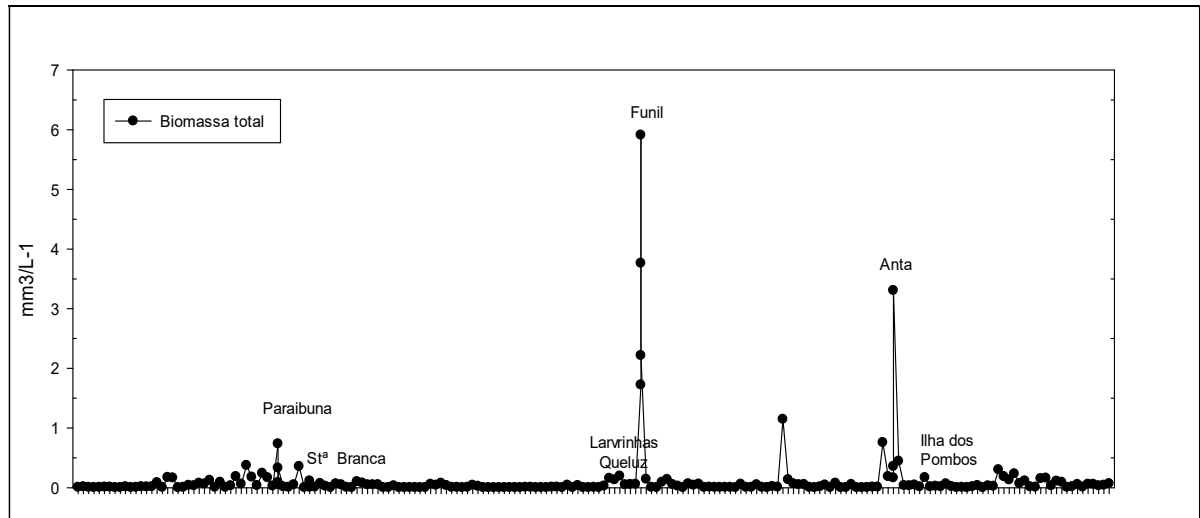
Gráfico 10 – Percentual de riqueza de táxons por classes.



Legenda – Riqueza relativa (%) de táxons por classe taxonômica no rio Paraíba do Sul.

A biomassa fitoplanctônica total variou de 0,02 a 5,9 mm³ L⁻¹, sendo que a biomassa mais elevada foi observada nos reservatórios, com um máximo para o reservatório do Funil (5,9 mm³ L⁻¹), seguido do reservatório de Anta (3,3 mm³ L⁻¹), enquanto que os menores valores foram observados nos trechos de rio (Gráfico 11). Nos demais reservatórios, os valores de biomassa foram baixos, e não ultrapassaram 0,8 mm³ L⁻¹ (Gráfico 11).

Gráfico 11 - Variação da Biomassa Total ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.



Legenda: Variação espacial da biomassa fitoplanctônica total

Considerando a abordagem de grupos funcionais, os 359 táxons foram distribuídos nos sete grupos funcionais propostos por Kruk *et al.* (2010) e nos 11 grupos funcionais propostos por Chen *et al.* (2015) (Tabelas 3 e 4). Os GFBM de maior biomassa foram os grupos III, V e VI. O Grupo III, formado por filamentos grandes (*Oscillatoria sp.*, *Dolichospermum circinales*), teve maior biomassa nos reservatórios ou em trechos próximos à transição lótico-lêntico (Gráfico 13). O Grupo V, representado por dinoflagelados (*Ceratium furcoides*) e criptofíceas, esteve presente com maior biomassa nos reservatórios e em alguns trechos do rio mais próximos à montante e/ou jusante dos reservatórios. A exceção foi registrada para trechos finais do rio, onde também se observou a presença deste grupo, porém com biomassa reduzida. O Grupo VI, constituído por diatomáceas, foi o mais abundante, porém com baixa biomassa. Este grupo esteve presente desde a cabeceira até a foz do rio, com redução de ocorrência para interior dos reservatórios.

Em relação aos grupos GFBM_R (Chen *et al.*, 2015), a maior biomassa foi registrada para os grupos III, RV1c e RIIb. O Grupo III, representado por filamentos (*Oscillatoria sp.*, *Dolichospermum circinales*), teve maior biomassa nos trechos de reservatório ou em trechos próximos à transição lótico-lêntico (Gráfico 14). O Grupo RIIb, representado por dinoflagelados (*Ceratium furcoides*, *Peridinium sp.*), esteve presente com maior biomassa nos reservatórios, mas também em alguns trechos do rio mais próximos a montante e/ou jusante dos reservatórios. A exceção foi registrada para os trechos finais do rio (10 km de Itaocara - RJ), onde também se observou a presença deste grupo, porém com biomassa reduzida. O Grupo RV1c, constituído por diatomáceas coloniais (*Melosira varians*, *Melosira sp. 2*),

apresentou maior biomassa em trechos mais próximos da região de montante dos reservatórios. Também foi observado um aumento da biomassa para este grupo, no trecho compreendido entre Barra do Pirai (RJ) e Vassouras (RJ) (Gráfico 14).

Tabela 3 - Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (KRUK *et al.*, 2010) observados nos trechos lóticos e lênticos ao longo da calha do Paraíba do Sul, com a descrição e exemplos de táxons encontrados ao longo do estudo.

GFBM	Descrição	Rio	Reservatórios
I	Pequenos organismo com alta razão superfície/volume	<i>Synechococcus sp 1</i> , <i>Chroococcus minor</i> , <i>Pseudoanabaenaceae mucicola</i>	<i>Microcystis sp. 1</i> (células soltas), <i>Synechocystis cf. aquatilis</i> , <i>Synechococcus sp. 1</i>
II	Pequenos flagelados com exoesqueleto de estrutura de sílica	<i>cf. Dynobrium sp. 1</i>	***
III	Grandes filamentos com aerótopos	<i>Lyngbya sp. 1</i> , <i>Oscillatoria</i>	<i>Dolichospermum sp. 1</i> , <i>Planktotrix sp.</i> , <i>Oscillatoria sp.</i>
IV	Organismos de tamanho médio sem estruturas especiais	<i>Chlorella sp. 1</i> , <i>Monoraphidium cf. apiculatus</i> , <i>Micrasteria sp. 1</i> , <i>Desmideae sp.</i> , <i>Pediastrum simplex</i>	<i>Monoraphidium sp. 1</i> , <i>Pseudanabaenaceae cf. galeata</i> , <i>Shoederia sp.</i> , <i>Closterium sp. 2</i>
V	Unicelulares, flagelados de tamanho médio à grande	<i>Cryptophyceae sp.</i> , <i>Euglenophyceae sp.</i>	<i>Peridinium sp.</i> , <i>Ceratium furcoides</i> , <i>Euglenophyceae sp.</i> , <i>Thrachelomonas sp.</i>
VI	Organismos não flagelados com exoesqueleto de sílica	<i>Cymbella sp.</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Penada sp.</i> , <i>Synedra sp.</i> , <i>Gyrosigma sp.</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Melosira cf. varians</i> , <i>Melosira sp. 2</i>	<i>Achnantes cf. taeniata</i> , <i>Aulacoseira cf. sp granulata</i> , <i>Aulacoseira granulata vr.</i> <i>Angustissima</i> , <i>Melosira cf. varians</i>
VII	Grandes colônias mucilaginosas	***	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aphanocapsa sp.</i> , <i>Aphanothece sp.</i> , <i>Cf. Dycytosphaerium cf. pulchelum</i>

(***) Sem representação de táxons para este grupo

Tabela 4 - Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (CHEN *et al.*, 2015), observados nos trechos lóticos e lênticos ao longo da calha do Paraíba do Sul, com a descrição e exemplos de táxons encontrados ao longo do estudo.

MBFGR	Descrição	Rio	Reservatórios
RIa	Pequenos organismos com alta razão superfície/volume	<i>Synechococcus sp.1</i> , <i>Chroococcus minor</i> , cf. <i>Eutetramorus sp. 1</i> , <i>Crucigenia</i> cf. <i>tetrapedia sp.1</i>	<i>Microcystis sp. 1 (células soltas)</i> , <i>Synechocystis cf. aquatilis</i> , <i>Synechococcus sp. 1</i>
RIb	Pequenos organismos com alta razão superfície/volume com flagelos	<i>Chamydomonas sp. 1</i> , <i>Pedinomonas sp. 1</i>	***
RIIa	Pequenos organismos flagelados com exoesqueleto silicoso	<i>Dynobrium sp.</i>	***
RIIb	Flagelados médios à grandes com exoesqueleto	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Ceratium furcoides</i> , <i>Peridinium sp. 1</i>
RIII	Cianobacterias filamentosas ignorando aerótopos	<i>Lyngbya sp. 1</i> , <i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Dolichospermum sp. 1</i> , <i>Raphidiopsis sp.</i> , <i>Phormidium sp.1</i> , <i>Aphanizomenon gracile</i>
RIV	Indivíduos médios sem características especializadas	<i>Geminella sp.</i> , <i>Monoraphidium sp. 1</i> , <i>Desmodesmus sp.</i> , <i>Micrasteria sp. 1</i> , <i>Scenedesmus cf. apiculatus</i>	<i>Monoraphidium sp.1</i> , <i>Pseudanabaenaceae cp. Galeata</i> , <i>Shoederia sp. 1</i> , <i>Closterium sp. 2</i> , <i>Oedogonium sp.</i>
RV	Indivíduos médios a grandes, flagelados sem exoesqueletos	<i>Cryptophyceae sp.</i> , <i>Euglenophyceae sp.</i> , <i>Phacus sp.</i>	<i>Euglenophyceae sp.</i> , <i>Thracelomonas sp.</i>
RVIIa	Organismos não flagelados com exoesqueleto de sílica de tamanho pequeno (volume <300)	<i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Penada sp. 2</i> , <i>Gomphonema sp. 4</i> , <i>Gyrosigma sp.</i>	<i>Diatomaceae cêntrica sp.6</i> ,
RVIIb	Organismos não flagelados com exoesqueleto de sílica de tamanho grande (volume)	<i>Gomphonema olivaceae</i> , <i>Navicula sp.1</i> , <i>Synedra sp. 2</i>	<i>Penada sp. 20</i> , <i>Penada sp.59</i>
RVIIc	Organismos não flagelados com exoesqueleto de sílica formando colônias	<i>Achnantes taeniata</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Melosira sp. 2</i>	<i>Aulacoseira cf. sp granulata</i> , <i>Melosira cf. varians</i> , <i>Melosira sp. 2</i>
RVII	Colônias grandes com mucilagem	***	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aphanocapsa sp</i> , <i>Aphanothece sp.</i> , <i>Cf. Dycityosphaerium cf. pulchelum</i>

(***) Sem representação de táxons para este grupo

Nos reservatórios de acumulação (Paraibuna, Santa Banca, Funil), os grupos MGBF mais abundantes foram o grupo III e o grupo V. O primeiro é composto por grandes filamentos, maior tolerância à limitação de luz e reduzida taxa de afundamento, devido à

presença de aerótopos e/ou alta relação superfície/volume (S/V). O grupo V é constituído por flagelados unicelulares de tamanho médio, tendo algumas espécies que se beneficiam da mixotrofia. Os grupos foram representados principalmente pelas espécies *Dolichospermum sp.* e *Ceratium furcoides*, respectivamente. Para os barramentos a fio d'água (Lavrinhas, Queluz e ilhados Pombos), o grupo mais abundante foi o VI, representado pelas diatomáceas.

A partir da proposição de Cheng *et al* (2015), GFBM_R, os grupos mais abundantes foram os grupos RIII e RIIb em reservatórios de acumulação, o grupo RVIc para barragens a fio d'água e os grupos RVIb e RVIc para trechos lóticos.

4.3 Relação entre os Grupos Funcionais e o ambiente

A CCA (Análise de Correspondência Canônica) do rio Paraíba do Sul, relacionando os GFBM e GFBM_R e o ambiente, foi realizada considerando o rio como um contínuo. Os resultados desta análise mostraram relação entre os grupos funcionais (GFBM e GFBM_R) e as variáveis ambientais, sendo as variáveis selecionadas progressivamente de acordo com o percentual de contribuição para a explicabilidade total (Tabela 5). Os dois primeiros eixos representaram 72 % (eixo 1 = 55%, Eixo 2 = 17%) e 74% (eixo 1 = 56%, Eixo 2 = 18%) respectivamente, da explicabilidade do conjunto de dados.

Na análise canônica (CCA) utilizando os GFBM, o eixo 1 esteve positivamente relacionado com amônia e, principalmente ao GFBM IV (Gráfico 12). O lado negativo do eixo esteve relacionado com a temperatura, pH, condutividade e fósforo dissolvido e com os grupos III e VII, agrupando os pontos do reservatório do Funil. O eixo II se relacionou positivamente com silicato e principalmente com o grupo V, agrupando os trechos iniciais do rio e revelando relação inversa a todas as demais variáveis. O lado negativo do eixo 2, esteve relacionado com a turbidez e nitrato e principalmente com os grupos I, II e VI, agrupando as PCH's (Lavrinhas, Queluz e Ilha dos Pombos).

Na análise canônica (CCA), utilizando os MGF_R, o eixo 1 foi positivamente relacionado com a amônia e principalmente o grupo RIV. O lado negativo do eixo 1 esteve relacionado principalmente com o pH, temperatura, condutividade e fósforo solúvel reativo, além de demonstrar relação positiva com os grupos RIII e RVII. O eixo 2 esteve positivamente relacionado com sílica e inversamente com todas as demais variáveis. Neste eixo também se observou uma relação com os grupos RIIb e RVIa e o agrupamento dos trechos iniciais do rio. O lado negativo do eixo 2, esteve relacionado com amônia e turbidez e

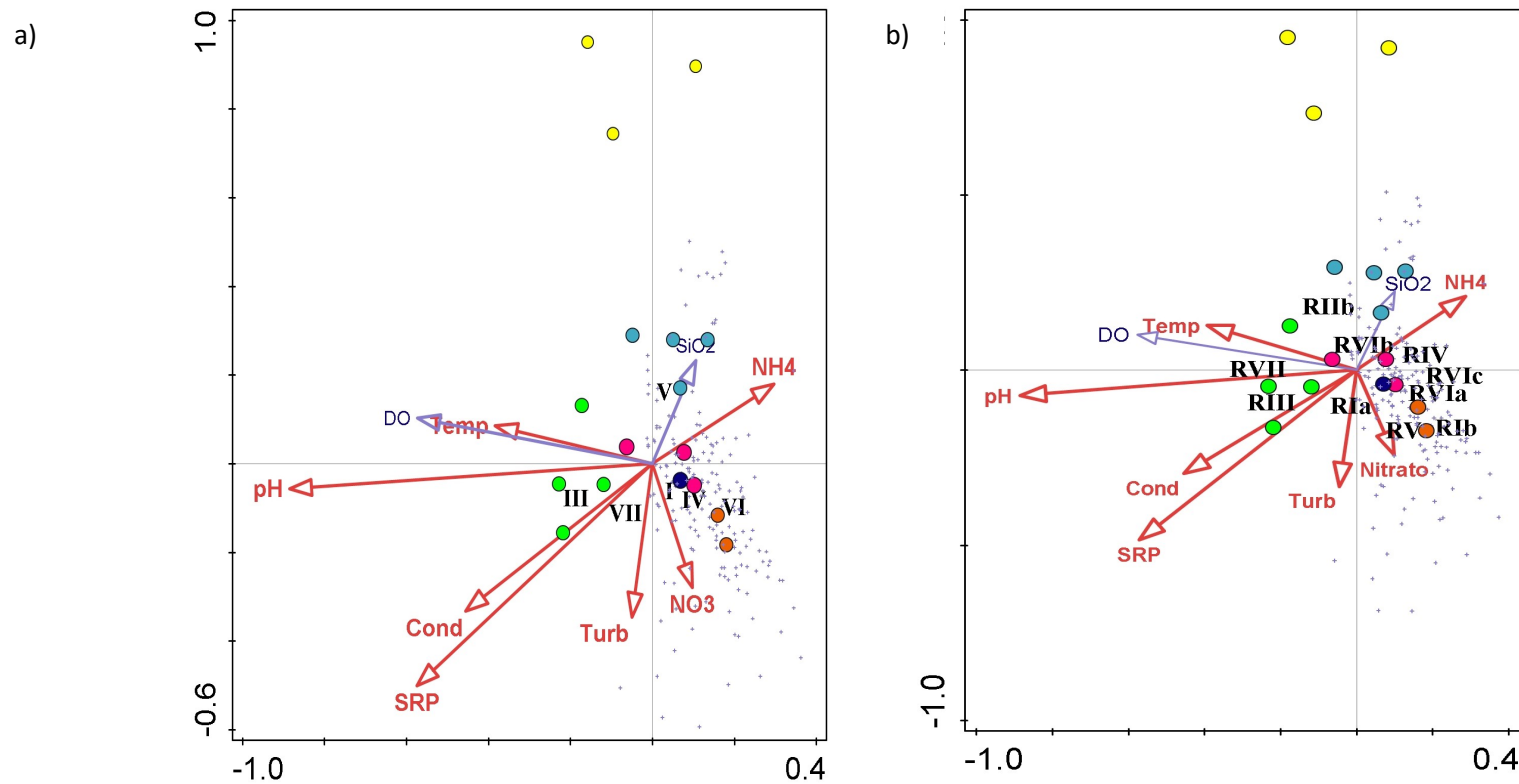
com os grupos GFBM_R RIa, RIIa, RIb, RV, RVIb e RVc. Os pontos agrupados foram os relacionados às PCH's (Tabela VI).

Tabela 5 - Coeficiente de contribuição dos vetores ambientais para os eixos de ordenação 1 e 2 da análise de CCA realizada com os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (KRUK *et al.*, 2010) e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (CHEN *et al.*, 2015) para o eixo longitudinal do rio Paraíba do Sul.

Name	pH	SRP	Turb	NH4	Temp	NO3	Cond
KRUK							
Explicabilidade %	21.2	3.8	3.6	1.7	1.0	4.7	1.2
Contribuição %	57.0	10.3	9.8	4.4	2.6	12.7	3.1
P	0.001	0.001	0.001	0.009	0.037	0.001	0.02
CHEN							
Explicabilidade %	13.1	2.4	2.3	1.2	0.9	3.3	0.8
Contribuição %	54.9	9.9	9.4	5.0	3.8	13.7	3.3
P	0.001	0.002	0.003	0.03	0.045	0.001	0.057

Nota: As variáveis explanatórias selecionadas através da seleção progressiva foram: pH, SRP = Fósforo Solúvel Reativo, Turb = Turbidez, NH4 = Amônia, Temp = Temperatura, NO3-2 Nitrato e Cond = Condutividade elétrica

Gráfico 12 – Análise de Correspondência Canônica (CCA) utilizando a abordagem dos grupos funcionais.



Legenda – Diagrama *tripplot* de ordenação das amostras do rio Paraíba do Sul utilizando todos os pontos amostrais, entre as variáveis explanatórias (pH; Cond = Condutividade, Turb = Turbidez, Temp = Temperatura, DO = Oxigênio Dissolvido, SiO₂- = Sílica, NH₄ = Amônia, NO₃ = Nitrato) e as variáveis respostas (Grupos funcionais de GFBM (KRUK *et. al.*, 2010) (a) e GFBM_R (Chen *et. al.*, 2015) (b), mostrando os dois primeiros eixos gerados pela Análise de Correspondência Canônica (CCA). Os vetores vermelhos (setas) correspondem às variáveis limnológicas significativas e os vetores (setas) lilás, correspondem às variáveis suplementares. As figuras geométricas (círculos) em cores, representam pontos de coleta referentes aos reservatórios: Paraibuna (●), Santa Branca (●), Lavrinhas/Queluz (●), Funil (●), Anta (●) e Ilha dos Pombos (●).

Gráfico 13 – Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM) nos reservatórios e ao longo do rio Paraíba do Sul.

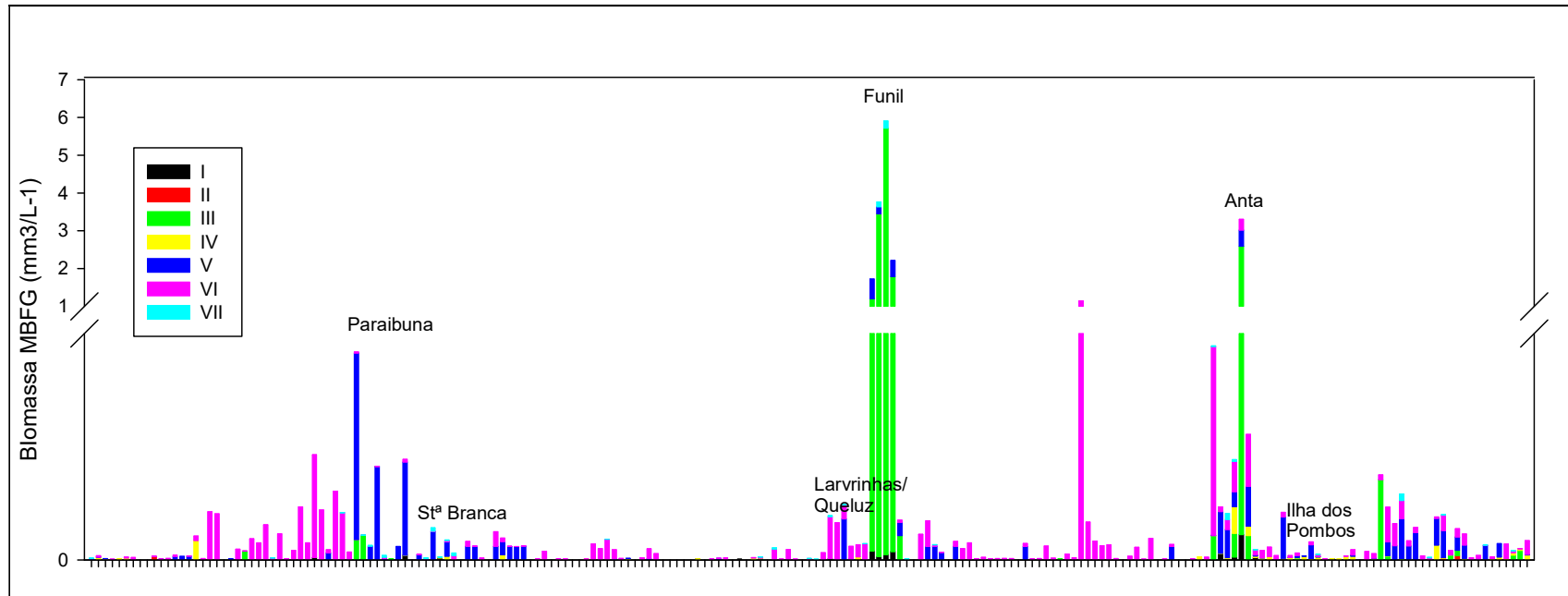
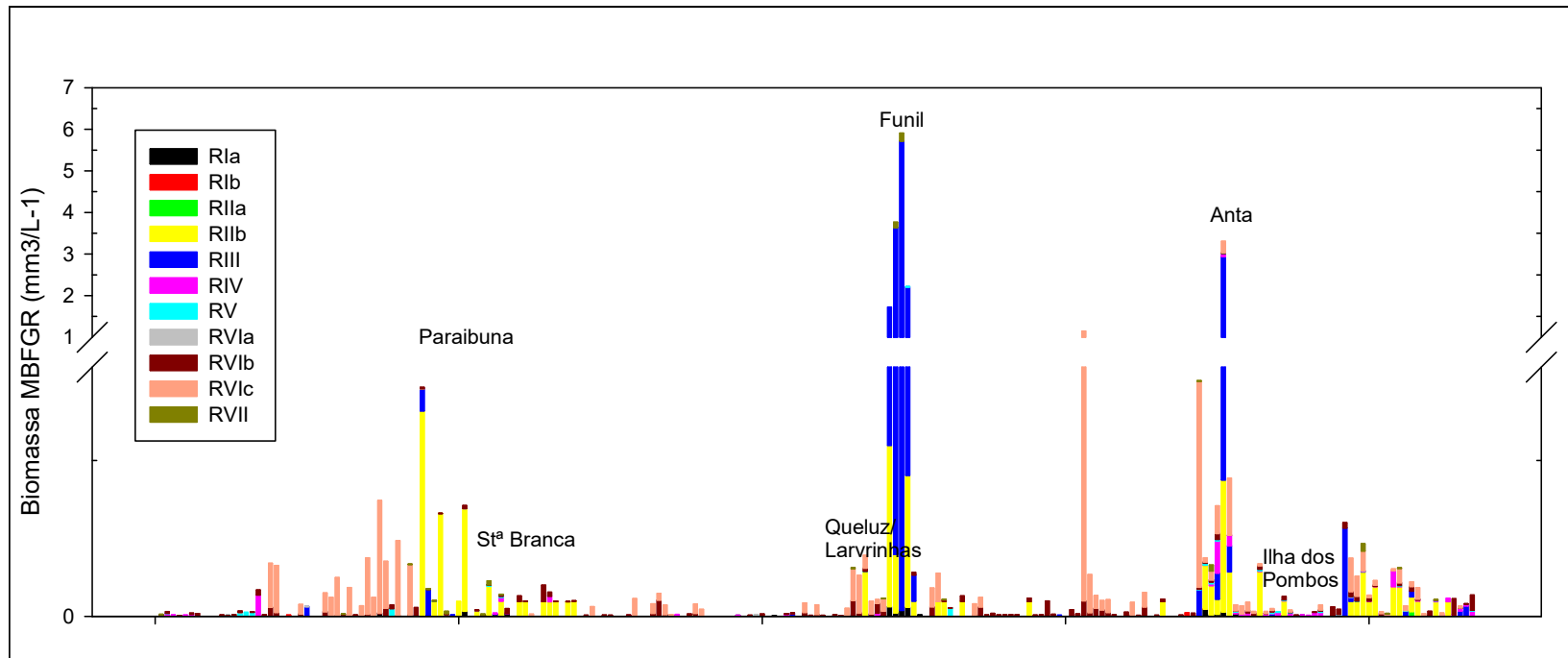


Gráfico 14 – Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (GFBM_R) nos reservatórios e ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.

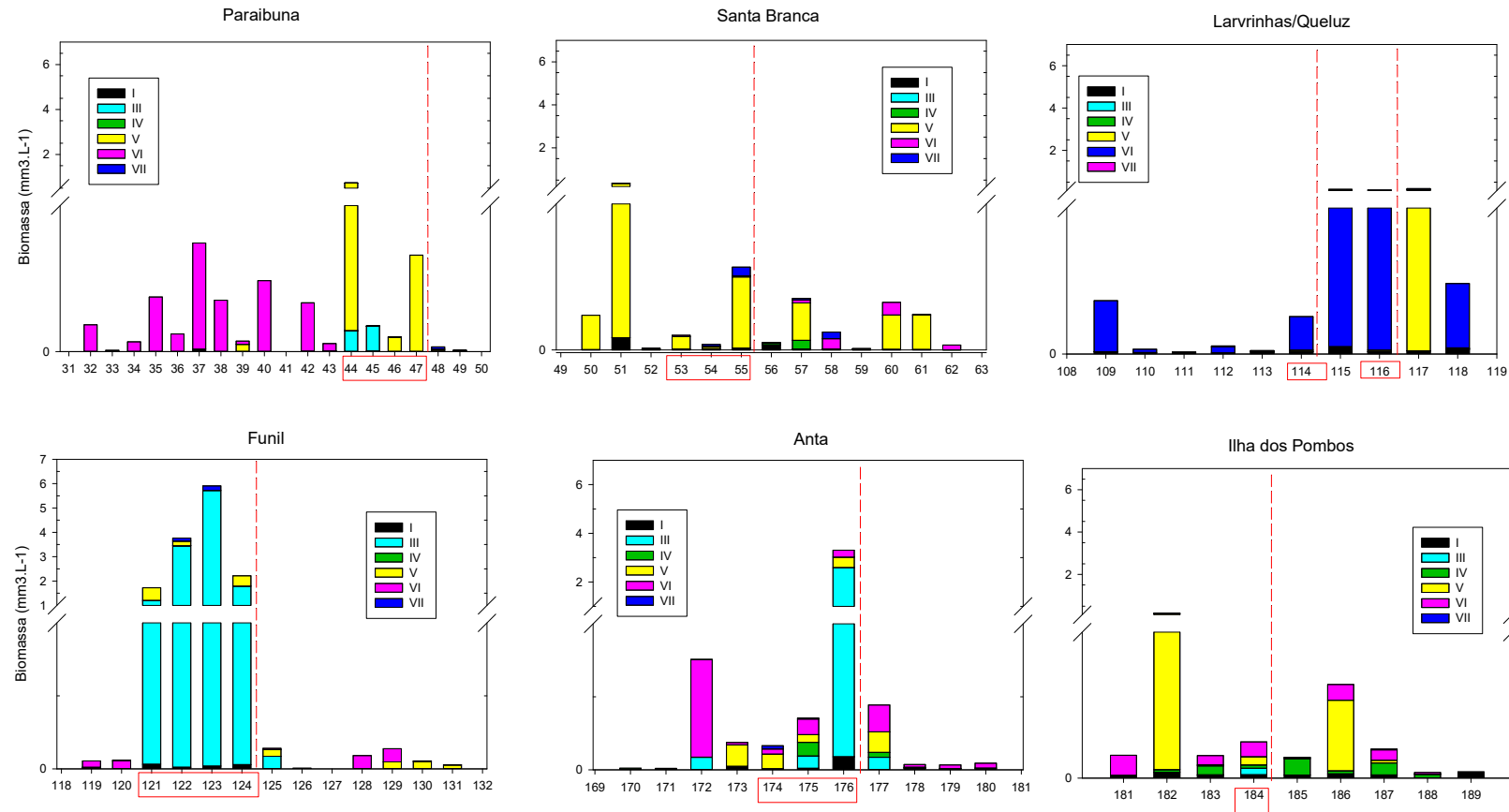


Legenda - Biomassa dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia do potamoplâncton (CHEN *et. al.*,2015). Reservatórios com seus respectivos nomes (Paraibuna, Santa Branca, Lavrinhas, Queluz, Funil, Anta e Ilha dos Pombos), distribuídos no eixo longitudinal do rio.

4.4 Efeitos da transição lótico-lêntico-lótico

Os efeitos da transição lótico-lêntico, em função do barramento, puderam ser observados utilizando a abordagem para grupos funcionais. De acordo com os grupos GFBM e com os grupos GFBM_R, pode-se observar uma alteração da composição funcional do fitoplâncton a partir de 30km de distância da barragem. Concomitante à abordagem para os grupos GFBM, nos reservatórios Paraibuna e Funil, ocorreu incremento dos grupos III e V no interior dos reservatórios, ao mesmo tempo em que se observa uma mudança para o grupo VI a partir de uma distância de 10 km a jusante e a montante dos reservatórios. Esta alteração não foi observada a jusante do reservatório de Paraibuna e nem a montante do reservatório de Santa Branca, ao contrário, destacou-se principalmente o grupo V. Para as barragens a fio d'água, Lavrinhas e Queluz, a composição funcional não foi grandemente alterada, porém houve aumento da biomassa dos grupos II e VI, com exceção da região a jusante de Queluz, onde observou-se predomínio do grupo V a partir de uma distância de 5km da barragem. Na barragem de Iha dos Pombos, pode-se observar um aumento na diversidade dos grupos funcionais, que variaram desde os grupos I, IV e VI a montante, para os grupos I, III, V, VI, no interior do reservatório e para os grupos I, IV, V e VI a jusante. No reservatório de Anta (barragem a fio d'água) foram observados os grupos III; RIII, V e RV e VI a partir de 30km do barramento. A partir de 5km de distância da barragem, observou-se aumento da biomassa do grupo III; RIII e mudança na composição funcional para os grupos VI a partir de 10 km após a barragem (Gráfico 15).

Gráfico 15 – Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM).



Legenda – Biomassa dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia de acordo com os grupos de Kruk *et al.* (2010). A linha tracejada na vertical em vermelho representa o ponto mais próximo à barragem do reservatório. A caixa em vermelho representa os pontos correspondentes ao interior de cada reservatório. Os demais pontos correspondem aproximadamente a 10 km de jusante e montante de cada reservatório.

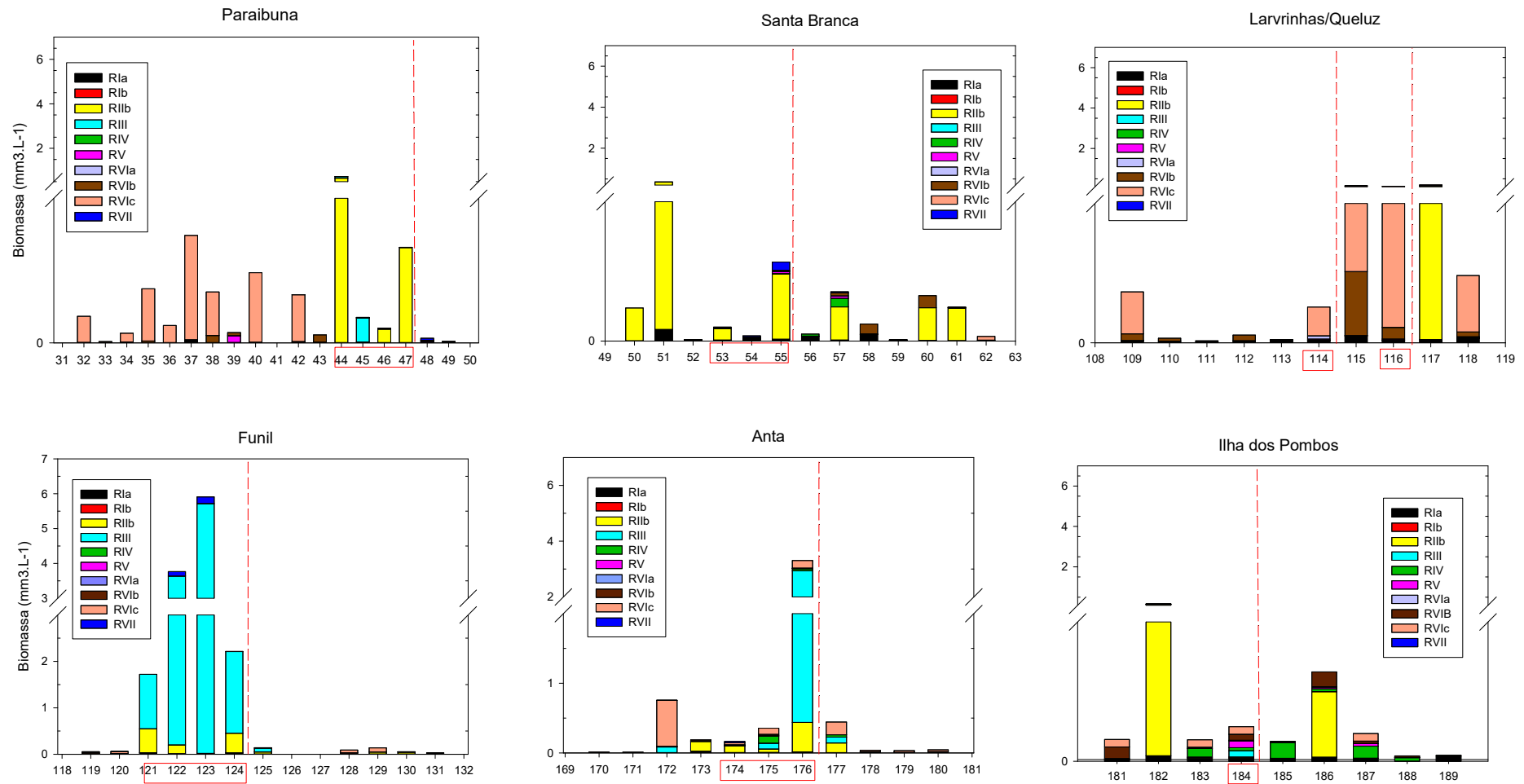
Considerando a composição baseada nos grupos GFBM_R proposto por CHEN *et al.* (2015), observa-se que a montante do reservatório do Paraibuna se encontram os grupos RVIIb e RVIIc principalmente, enquanto os grupos RIIb e RIII são observados no interior do reservatório e os grupo RVIIb e I são observados em baixa biomassa a jusante.

No reservatório de Santa Branca, tanto a montante quanto no interior, os grupos IIb e Ia foram os de maior biomassa, enquanto que o grupo VII foi encontrado no ponto mais próximo à barragem (5 km). No trecho a jusante observa-se a permanência dos grupos RIIb e RIa e o surgimento do grupo RVIIb.

No reservatório do Funil observa-se baixa biomassa do grupo RVIIc a montante, mas houve um incremento dos grupos RIIb e RIII no interior do reservatório e baixa biomassa dos grupos RIII e RVIIc a jusante. Nas barragens a fio d'água, Lavrinhas e Queluz, observou-se a presença dos grupos RIa e RVIIb a montante e dos grupos RIa, RIc e RIa no interior de Lavrinhas. Os grupos RVIIb, RVIIc e VI foram observados no interior de Queluz, enquanto os grupos RIa, RIIb, RVIIb e RVIIc foram observados a jusante. A composição funcional do ponto entre estas duas barragens ($\cong 10$ km) foi representada pelos grupos RIa, RVIIb e RVIIc.

Em lha dos Pombos houve aumento na diversidade dos grupos funcionais em função da proximidade com a barragem. Foram observados os grupos RVIIb, RVIIa, RIIb e RIV a montante do barramento. Os grupos RI, RIII, RV, RVIIb e RVIIc foram observados no interior do reservatório e os grupos RIV, RIIb, RVIIb e RVIIc a jusante. No reservatório de Anta (barragem a fio d'água) foram observados os grupos RIII, RIIb e RVIIc a montante (10 km), enquanto os grupos RIIb, RIII, RIV, RVIIc foram observados no interior do reservatório e os grupos RIIb, RIII e RVIIc a jusante do mesmo (10 km) (Gráfico 16).

Gráfico 16 – Distribuição de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para Rios (GFBMr) nos reservatórios.



Legenda – Biomassa dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia de acordo com os grupos de Cheng *et al.* (2015). A linha tracejada na vertical em vermelho representa o ponto mais próximo à barragem do reservatório. A caixa em vermelho representa os pontos correspondentes ao interior de cada reservatório. Os demais pontos correspondem aproximadamente a 10 km de jusante e montante de cada reservatório.

5 DISCUSSÃO

5.1 Regime físico e químico

A heterogeneidade na estrutura da comunidade fitoplanctônica no rio estudado sugere rompimento da continuidade do gradiente longitudinal do rio Paraíba do Sul. A presença de barramentos, bem como entradas de aporte de nutrientes, contribuíram para esta descontinuidade.

A composição física, físico-química e biológica da água do rio Paraíba do Sul, está relacionada ao processo de ocupação humana e às atividades oriundas deste evento (industrial, urbana, agrícola) no entorno. Pacheco *et al.*(2017), utilizando os mesmos dados abióticos, encontrou quatro setores diferentes (Cluster) em função da influência antrópica. Nosso estudo, também mostrou heterogeneidade espacial ao longo do rio, no qual as variáveis monitoradas apresentaram um gradiente relacionado à esta ocupação e revelaram, no trecho mais próximos à cabeceira e sem influência antrópica (aproximadamente 80km), menores valores para todas as variáveis.

As temperaturas mais baixas ($\cong 13^{\circ}\text{C}$) e a maior altitude registradas para este trecho, refletem as condições de sombreamento da mata ciliar no entorno da nascente, caracterizando o curso superior do rio. Outros estudos realizados em microbacias florestadas também obtiveram menores valores para áreas de cabeceira, quando relacionadas a áreas com atividades agrícolas (DONADIO *et al.*, 2005; SILVA, 2009). Neste trecho o rio apresenta leito mais inclinado, com alto poder erosivo (rio rápido), intenso transporte de materiais e menor densidade de partículas em suspensão (CEIVAP, 2018), o que justifica a baixa turbidez (Gráfico 4). A temperatura durante o estudo esteve entre 13°C e 23°C , sendo os maiores valores encontrados principalmente no interior de reservatórios. Essa condição pode ser vista como um fator favorável ao surgimento de cianobactérias, as quais apresentam crescimento ótimo em temperaturas acima de 20°C (SILVA, 2005).

Os menores valores de condutividade elétrica foram obtidos para o trecho do curso superior do rio, enquanto os valores elevados da condutividade foram obtidos para o trecho de grande influência antrópica; industrial e urbana. Este aumento brusco, a partir do município de Jacareí, teve correlação positiva com os íons sódio e sulfato (Gráfico 2), o que pode ser explicado pela atividade industrial de papel existente no município, onde aumentam as

concentrações destes compostos, em função do seu uso no processo de produção da polpa de celulose (Processo Kraft) (AMARAL, 2008). O valor da condutividade revelou redução a partir dos pontos onde deságua o rio Piabanha, o que pode indicar uma diluição da concentração dos íons em função da entrada deste tributário (Gráfico 2).

O potencial hidrogeniônico (pH), cuja oscilação se dá pela variação das concentrações de íons H^+ advindos da dissociação do ácido carbônico, indica a estabilidade química da água e pode interferir sobre a solubilidade de nutrientes. Entretanto, as oscilações mais amplas desta variável respondem às variações do consumo ou produção de dióxido de carbono (CO_2), através do processo de respiração, tornando o ambiente mais ácido e pelo processo fotossintético, devido à assimilação do CO_2 pelas algas, especialmente em eventos de florações, tornando o ambiente mais básico.

Pôde ser observado para este estudo um aumento no pH, que alcançou valores superiores a 9,0 (Gráfico 3), principalmente para o reservatório do Funil (estação 122), coincidindo com o aumento da biomassa fitoplanctônica (Gráfico 11). Alguns autores consideram valores elevados de pH associados às estratégias de incorporação do carbono inorgânico pelas cianobactérias (SHAPIRO, 1973; CARACO & MILLER, 1998). Para o reservatório do Funil, o aumento do pH pode ser associado à dominância de espécies de cianobactérias como *Microcystis aeruginosa* e *Dolichospermum* sp., capazes de incorporar compostos iônicos de carbono (HCO_3^-), lembrando que em meios com pH acima de 8,4 não há mais disponibilidade de CO_2 gasoso ou ácido carbônico.

O menor valor de pH (3,1) foi observado para o trecho onde se localiza o Tecnopolo Industrial Plastic Omnium do Brasil, próximo ao município de Resende (RJ), fabricante de materiais plásticos automotores. Além da introdução do CO_2 através da atmosfera, chuva, águas subterrâneas e, principalmente a decomposição e respiração de organismos nos corpos d'água (ESTEVEZ, 1998), outra fonte que também pode provocar alteração do pH nas águas é a poluição antrópica. Vale ressaltar que o processo de fabricação de para-choques e para-lamas pela Omnium, apresenta uma etapa conhecida como *Power Wash* (desengraxe), na qual os efluentes do desengraxe produzidos, juntamente com os efluentes sanitários, deveriam ser encaminhados a um tanque para a correção do pH (FEAM, 2007). A considerar o valor de pH registrado neste trecho do rio (pH= 3,1), pode-se inferir que, embora tratados, os efluentes permanecem apresentando carga significativa, promovendo a acidificação do meio.

A concentração dos íons cálcio (Ca^+), potássio (K^+) e magnésio (Mg^+) mostrou um aumento rápido após a nascente do rio, com pouca variação ao longo do rio. Foi constatado

um aumento abrupto da concentração dos íons sódio (Na^+) e sulfato (SO_4^{2-}) nas proximidades da cidade de Jacaréi (SP), onde se encontram indústrias de produção de celulose. No processo de cozimento para obtenção de polpa Kraft, é utilizado sulfato de sódio e hidróxido de sódio para a deslignificação e obtenção da celulose (CMPC, 2018). A quantidade destes produtos no efluente lançado no rio justifica o aumento destes íons no meio, bem como a maior correlação de concentração, principalmente do sódio com o aumento da condutividade (Gráfico 9).

Quanto à turbidez, observou-se redução em direção ao interior dos reservatórios em geral, enquanto o aumento da turbidez se deu em direção aos grandes centros urbanos (Gráfico 4). A acentuada elevação da turbidez no trecho que compreende a cidade de Tremembé (MG), está relacionada ao processo intenso de extração de areia no local (PACHECO *et. al*, 2017). A atividade de mineração de areia tem grande importância socioeconômica, porém é considerada modificadora do ambiente (CONAMA 01/86), promovendo inúmeros impactos na qualidade das águas. A incidência de processos erosivos por meio da extração altera a geomorfologia fluvial e eleva a concentração de partículas em suspensão, promovendo o aumento da turbidez no curso d'água (LELLES 2005). Este processo ocasiona significativamente a redução da entrada de luz e, conseqüentemente a redução da taxa de produtividade primária. A redução da turbidez no interior dos reservatórios está associada à mudança hidrológica e ao tempo de residência da água, que promove a sedimentação das partículas em suspensão, permitindo maior entrada de luz no local.

Foi registrado maior valor de turbidez a montante do reservatório do Funil (38,3 NTU), fator que pode ser relacionado ao aumento da biomassa fitoplanctônica. O fitoplâncton, em elevada densidade, pode interferir na penetração da luz através do auto-sombreamento, ocasionando efeitos negativos na produção primária (ESTEVEES, 1998).

A alta concentração de oxigênio dissolvido na água está relacionada com a entrada deste gás vindo da atmosfera e, principalmente, à produção primária, enquanto a baixa concentração se relaciona com o consumo através do processo de decomposição (WETZEL, 2001). As maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram registradas para pontos no interior do reservatório do Funil (Gráfico 5), o que pode estar associado ao processo de fotossíntese, devido à biomassa elevada de algas (ESTEVEES, 1998). O menor valor registrado foi na cidade de Caçapava (SP), onde foram encontradas macrófitas aquáticas (*Echinochloa* sp.). As comunidades de macrófitas aquáticas originam acúmulo de biomassa, principalmente no período de seca, promovendo grande acréscimo de matéria orgânica ao ecossistema. Esse acréscimo de matéria orgânica provoca o consumo do oxigênio dissolvido por meio da

decomposição microbiana (ESTEVEES, 1998). Este grupo de macrófitas tem crescimento favorecido por fatores ambientais como turbidez da água, corroborando com os nossos resultados, nos quais o trecho onde esta espécie foi encontrada, é o mesmo onde se observou maiores valores de turbidez.

Nos últimos anos têm sido observados grandes problemas relacionados à qualidade dos recursos hídricos. A degradação da qualidade das águas destes sistemas é ocasionada principalmente pelo enriquecimento excessivo de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio, estando o aumento da biomassa do fitoplâncton relacionado a suas elevadas concentrações (HUSZAR & CARACO, 1998; HUSZAR, 2000).

Estas fontes artificiais, ricas em fosfato, são mais eminentes em regiões com elevada densidade populacional. A presença de centros urbanos e a alta densidade populacional foram indicadores da alta concentração de compostos fosfatos (TP e SRP) e nitrogenados (NT, NO₃) na calha do rio Paraíba do Sul.

Em relação ao fósforo, algumas estações amostrais, principalmente no interior de reservatórios, apresentaram níveis maiores que o estabelecido pela classificação CONAMA 357/05 ($< 0,15 \text{ mg L}^{-1}$) para águas de classe 2. Rios de classe 2 são aqueles que apresentam qualidade das águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas e, à recreação de contato primário.

Menores concentrações de fósforo (TP e SRP) foram registradas no trecho inicial do rio, principalmente para os pontos mais próximos à cabeceira, representando um trecho com menor perturbação (PACHECO *et al.*, 2017). O aumento nos valores é percebido em trechos que compreende a metrópole do Vale do Paraíba (Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté), demonstrando que a expansão de áreas urbanas e cidades com maior adensamento populacional foram indicadoras de uma alta concentração de fósforo (TP e SRP). O despejo de efluentes industriais e domésticos estão entre os principais fatores de degradação da qualidade das águas do Paraíba do Sul, onde na maioria das vezes, estes efluentes são lançados ao rio sem qualquer tipo de tratamento (CEIVAP, 2006), podendo influenciar a concentração de fósforo no sistema (ARBUCKLE *et al.*, 2015).

Os valores de fósforo dissolvido para o reservatório do Funil, foram os maiores do estudo, seguido dos valores encontrados no reservatório de Anta, o que pode ser associado à incorporação e posterior liberação por meio da excreção e degradação deste pela comunidade fitoplanctônica que cresceu no interior dos reservatórios. De acordo com Smith (1983), o

aumento de fósforo nos sistemas aquáticos favorece a dominância por cianobactérias. Cabe destacar o registro frequente de florações por cianobactérias para o reservatório do Funil (SOARES *et al.*, 2012; RANGEL *et al.*, 2016).

Embora os valores de fósforo total demonstrem uma tendência ao aumento após o reservatório do Funil ($\cong 30\text{km}$), essas concentrações foram menores do que as alcançadas no Vale do Paraíba. De acordo com Pacheco e colaboradores (2017), esta região do Paraíba do Sul é dominada pela agricultura de cana-de-açúcar, onde a utilização de fertilizantes é comum, os quais podem acrescer valores de fósforo e nitrogênio às águas do rio, pelo processo de lixiviação. A redução destes valores após o reservatório do Funil e Anta, pode representar a eficiência dos reservatórios em funcionar como um "filtro biológico", enquanto que o retorno do aumento destes valores, com maiores registros para as cidades de Volta Redonda (RJ), Barra do Pirai (RJ) e Três Rios (RJ), ratificam a influência das áreas urbanas ao longo da calha do rio. No Baixo Paraíba do Sul, os baixos valores de fosfato dissolvido podem estar relacionados à formação de complexo de hidróxido de ferro hidratado, que adsorve orto-fosfato e indisponibiliza-o para os produtores.

Os valores dos compostos nitrogenados se mostraram baixos para o trecho mais próximo à cabeceira, revelando aumento contínuo após o reservatório de Santa Branca, sendo estes valores mantidos constantes por quase todo o percursos restante (Gráfico 7). De acordo com a Teoria do Rio Contínuo, CCR (VANNOTE *et al.*, 1980), compostos têm suas concentrações reduzidas rio abaixo, devido à assimilação por organismos aquáticos.

Embora os valores não tenham sido considerados altos, houve significativo aumento de amônia e nitrogênio no trecho ainda considerado com menor perturbação, a 60 km da cabeceira. O aumento nos valores em direção aos grandes centros urbanos, demonstrou que a influência antrópica foi, mais uma vez o fator determinante para elevar as concentrações destes compostos nutrientes. O nitrato foi o primeiro composto nitrogenado com maior contribuição para o NID, o aumento dos seus valores se mantiveram constantes ao longo do curso do rio, porém com registros abaixo de $1,7 \text{ mg L}^{-1}$. Valores mínimos foram registrados para o trecho inicial do rio, próximo à cabeceira ($0,03\text{-}0,1 \text{ mg L}^{-1}$). Para Reynolds (1997), somente valores abaixo de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ indicam limitação para o crescimento do fitoplâncton, o que foi verificado nesse estudo, apenas para os 60 km iniciais do rio.

Trabalhos em que os ambientes apresentaram altos valores de turbidez, condutividade elétrica, nitrogênio e fósforo total, foram relacionados a algum impacto antrópico (APPEL, 2010; PACHECO *et al.*, 2017). As variáveis analisadas neste estudo mostraram influência de

atividades antrópicas em função da ocupação urbana. Pacheco e colaboradores (2017), analisando os mesmos dados aqui apresentados, concluíram que, em função das variáveis ambientais, o rio pode ser dividido em quatro setores, área com menor poluição; área de transição do rio entre as regiões menos e mais impactadas, área com alta densidade populacional e atividade industrial, e área com aumento de influência agrícola. O autor evidencia que as concentrações de nitrogênio e fósforo no sistema estão fortemente influenciadas pela ocupação urbana e atividade agrícola, conforme também relacionado neste estudo.

5.2 O Fitoplâncton

A mudança na estrutura da comunidade fitoplanctônica, tanto na sua composição quanto na biomassa total e grupos funcionais, foi associada à alteração nas variáveis limnológicas e também confirmaram o rompimento do gradiente longitudinal do rio Paraíba do Sul.

Neste estudo, a biomassa total do fitoplâncton em trechos de rio, foi sempre baixa, corroborando com dados obtidos em outros estudos para ambientes lóticos (ZALOCAR de DEMITROVIC, 2005, ROZA, 2016; APPEL, 2017), sendo as diatomáceas o grupo que apresentou maior riqueza de táxons. Resultado semelhante foi encontrado para os estudos dos rios Ariquindá, em Pernambuco (GREGO, 2010) e Pindaré, no Maranhão (RODRIGUES *et al.*, 2015). Este fato pode ser explicado por indivíduos deste grupo apresentarem como característica típica, a presença de parede celular composta por sílica, que lhes confere maior resistência aos movimentos abrasivos das águas fluviais (REYNOLDS, 2006). A segunda classe com maior riqueza de táxons foi cianobactéria, que teve a maior contribuição observada no reservatório do Funil. Esta classe se constitui de espécies descritoras de ambientes tropicais eutróficos e muitas vezes podem produzir toxinas, já descritas para este ambiente (AZEVEDO, 1998).

A biomassa do fitoplâncton foi sempre muito baixa nos trechos lóticos, com alguns aumentos nos trechos lênticos, interior de reservatórios, estando principalmente direcionado pelas concentrações de fósforo e tempo de residência (TUNDISI & MATSUMURA TUNDISI, 2008), associados ao processo de urbanização.

Embora a biomassa tenha sido baixa, alguns crescimentos pontuais nos chamaram atenção, como no trecho localizado a 5 km da montante do reservatório do Paraibuna e ponto

153, próximo ao município de Vassouras, ambos acompanhados do aumento de compostos nitrogenados. Os maiores valores de biomassa foram registrados para o interior dos reservatórios, atingindo um máximo no estudo para o reservatório do Funil (Gráfico 11). Pode-se considerar que este aumento se deu em função das modificações na hidrodinâmica da água devido à presença dos barramentos.

A Análise de Correspondência Canônica (CCA), mostrou um gradiente crescente de concentração de nutrientes ao longo do eixo longitudinal do rio.

No Rio Paraíba do Sul existem sete barramentos na calha principal do rio, sendo três deles considerados a fio d'água (Lavrinhas, Queluz, Anta e Ilha dos Pombos) e os demais reservatórios de acumulação. Barramentos a fio d'água foram construídos com objetivo de minimizar os impactos ambientais ao longo dos anos e têm sido implantadas em novos empreendimentos hidrelétricos (TANCREDI & ABBUD, 2013). Estas usinas têm menor capacidade de geração de energia elétrica, com pouca ou nenhuma ação de regularização da água, entretanto trazem a vantagem de ter baixo tempo de residência da água e ausência dos problemas gerados por esse processo, principalmente nos ambientes aquáticos tropicais.

De acordo com Ward & Stanford (1983), a presença de barramentos interrompe o contínuo longitudinal do rio (VANOTE *et al.*, 1980), alterando o seu gradiente químico, físico e biológico. A presença dos barramentos promove redução do fluxo do rio, maior tempo de residência da água, acúmulo de nutrientes e maior disponibilidade de luz (PAYNE, 1986; FIGUEIREDO, 2007; SOUZA, *et al.*, 2011,) em função da sedimentação de sólidos em suspensão. Os dados obtidos demonstram a existência de processos que promovem a descontinuidade longitudinal do rio, em função dos reservatórios, tanto de acumulação, quanto reservatórios a fio d'água. Como resposta a estas alterações nossos resultados demonstraram um acúmulo de biomassa total, principalmente para o interior de reservatórios (RODRIGUES *et al.*, 2015; BORTOLINI *et al.*, 2016), mudança composicional na comunidade fitoplanctônica, com redução das diatomáceas, com exceção para Lavrinhas e Queluz, aumento com codominância de fitoflagelados e cianobactérias (BOVO-SCOMPARIN *et al.*, 2013) e redução da biomassa a jusante do reservatório (RODRIGUES *et al.*, 2015).

O fitoplâncton de rios é regulado principalmente pelo fluxo unidirecional do rio, onde os efeitos descendentes, *top-down* (herbivoria) e ascendentes, *bottom-up* (por nutrientes) (GONZÁLEZ, 2000; HORN, 2008) são pouco esperados. Entretanto, em sistemas lóticos, esta comunidade é normalmente mais influenciada pelos efeitos

ascendentes, onde a turbulência e o aporte de material particulado em suspensão podem reduzir a intensidade luminosa. Nestas condições, as espécies apresentam alta taxa de crescimento e não demonstram exigência por luminosidade elevada (DESCY, 1987; REYNOLDS *et al.*, 1994).

A composição da comunidade fitoplanctônica foi analisada em função da sua resposta funcional ao longo do rio Paraíba do Sul, observando os padrões de distribuição desta comunidade no ambiente lótico e, posteriormente, avaliando a resposta do fitoplâncton às condições ambientais impostas pelos barramentos. A distribuição dos grupos funcionais para o ambiente estudado, se deu em função alteração de ambiente lótico-lêntico promovida pela presença de barramentos. Essa distribuição refletiu em alterações da descontinuidade, onde foi possível observar a mudança da expressão funcional do fitoplâncton a partir de aproximadamente 30 km de distância dos barramentos, revelando resposta funcional desta comunidade à mudança do fluxo do rio (Gráficos 15 e 16).

A composição dos grupos GFBM I, III, IV, V, VI (KRUK *et al.*, 2010) e GFBMr RIa, RIb, RIII, RIV, RV, RVIb, RVIc (CHEN *et al.*, 2015) nos trechos lóticos inclui organismos de moderada a alta tolerância à limitação luminosa e resistentes à abrasão do fluxo fluvial. Nos trechos lênticos os grupos GFBM III, V, VI, VII e GFBMr RIII, RIIB, RVIa, RVIb, RVIc, RVII foram os mais representativos.

Apenas algumas espécies e poucos grupos funcionais são favorecidas pelas condições típicas de ambientes fluviais, sendo destacados por sua biomassa. Somente quatro, dos sete grupos GFBM, se destacaram por sua biomassa (I, III, V, VI). A prevalência de apenas um grupo de diatomáceas, descrita para os agrupamentos GFBM (KRUK *et al.*, 2010), foi limitante para descrever o sistema estudado, sendo os grupos GFBMr (CHEN *et al.*, 2015) usado como um melhor descritor do fitoplâncton para o rio Paraíba do Sul. Isso se deve às subdivisões das diatomáceas, quais sejam, o grupo RVIa (diatomáceas com volume menor que $300\mu\text{m}^3$), o grupo RVIb (diatomáceas com volume maior que $300\mu\text{m}^3$) o grupo RVIc (diatomáceas em cadeia) e o grupo dos fitoflagelados RIIB (dinoflagelados médios a grandes, com exoesqueleto), presentes na proposição de Chen *et al.* (2015). Estes grupos evidenciaram a ocorrência de dinoflagelados e diatomáceas em cadeia.

O grupo GFBM I/GFBMr I ocorreu em praticamente todo o rio estudado. Os maiores registros de biomassa foram no interior dos reservatórios de Funil e Anta. Vale ressaltar que em ambos reservatórios, a contribuição deste grupo está relacionada às células de *Microcystis*

sp. na sua forma unicelular (células soltas). A forma predominante de células soltas e não na forma colonial, pode ser um dos motivos da elevada abundância no reservatório do Funil. Esta forma de vida confere à espécie rápida taxa de crescimento, considerando que na forma unicelular sua taxa de crescimento é de 0.48 d^{-1} , enquanto na forma colonial chega a $1,11 \text{ d}^{-1}$ (REYNOLDS, 2006). Indivíduos com alta razão superfície/volume (S/V) apresentam rápida aquisição de recursos e redução de perdas por afundamento (SOMMER *et al.*, 1984).

O grupo GFBM III/ GFBMr III esteve relacionado com altas concentrações de pH e DO (Figura.14), indicando uma condição de alta produtividade fotossintética, o que justifica a máxima biomassa do estudo no reservatório de Funil seguido do reservatório de Anta.

O surgimento deste grupo pode ser observado a aproximadamente 20km antes da barragem dos reservatórios de Paraibuna, Funil e Anta, sendo neste último encontrado a 5km de jusante do reservatório.

Os valores de biomassa estiveram relacionados principalmente com a cianobactéria *Dolichospermum sp.* Indivíduos deste grupo apresentaram alta razão S/V, que lhes confere maior tolerância à limitação por luminosidade (NASELLI-FLORES & BARONE, 2007). Sabe-se que espécies de cianobactérias são eficientes competidoras por fósforo (HUISMAN *et al.*, 1997, TRIPATHI *et al.*, 2013), estratégia favorável sob as condições de queda abrupta do SRP, verificada a 5km da barragem de Funil. Neste mesmo ponto foi observado o máximo de TP, que se encontrava incorporado à biomassa.

A máxima turbidez do estudo observada neste reservatório, também é um fator favorável ao desenvolvimento de estratégia funcional do GFBM III/GFBMr III, com alta razão S/V, as quais são consideradas boas antenas de luz. Essa estratégia pode ter também contribuído para que a dominância no interior deste reservatório. A análise de CCA revela relação entre turbidez e o reservatório de Funil, juntamente com os grupos ali predominantes.

Para o reservatório de Funil, as espécies *Microcystis aeruginosa* e *Microcystis sp.* (grupo GFBM VII e GFBMr VII) foram encontradas em menor biomassa em relação à *Dolichospermum sp.* É possível que a diferença de biomassa destes dois gêneros se explique por sua taxa de crescimento. Reynolds (2006) apresenta para uma espécie de *Anabaena* (atual *Dolichospermum*), valor de taxa de crescimento de 0.78 dia^{-1} , enquanto para *Microcystis* a taxa de crescimento é menor (1.1 d^{-1}).

O reservatório de Anta pertencente ao complexo hidrelétrico de Simplício, opera a fio d'água, porém apresenta tempo de residência de 4 dias, diferentemente dos demais

barramentos a fio d'água deste estudo que possuem em média 0,2 dias. Esta característica resulta numa dinâmica diferenciada, promovendo tempo suficiente para o aumento de biomassa, principalmente de cianobactérias, como é o caso de *Dolichospermum sp.*, que é facilitado pelo enriquecimento pelo despejo de efluentes e pela taxa de replicação desta espécie (0.78 dias) (REYNOLDS, 2006).

A partir de 20km antes dos barramentos de Funil, Anta e Queluz, assim como a 20km do barramento de Paraibuna e até 5km antes do barramento de Santa Branca, observa-se a presença do grupo GFBM V, representado por fitoflagelados de grande a médio porte. Usando a descrição de Chen *et al.* (2015) para grupos funcionais, foi possível observar que a espécie com maior contribuição para este grupo, GFBMr IIb, foi o dinoflagelado *Ceratium furcoides*, considerada espécie invasora para águas brasileiras. Organismos flagelados costumam ser favorecidos por ambientes com baixa iluminação na zona de mistura, uma vez que a capacidade de regular seu posicionamento na coluna d'água evita grandes períodos na zona afótica (REYNOLDS, 1984; REYNOLDS *et al.*, 2002; FONSECA & BICUDO, 2008). Os dinoflagelados são ainda capazes de ter comportamento heterotrófico, realizando mixotrofia quando as concentrações por nutrientes não são favoráveis (REYNOLDS, 2006; REYNOLDS *et al.*, 2002).

O trecho do rio que compreende os dois primeiros reservatórios apresentou baixas concentrações de nutrientes, principalmente de fósforo (TP e SRP), sendo considerado limitante ao crescimento do fitoplâncton concentrações abaixo de $10\mu\text{g L}^{-1}$ (REYNOLDS, 2006). Valores menores que esta concentração foram encontrados para este trecho inicial do rio (Gráfico 6). Essa configuração propiciou o aumento de biomassa do grupo GFBM V; GFBMr RIIb (Gráficos 15 e 16), sendo em maior abundância o dinoflagelado *Ceratium furcoides*.

Este grupo se manteve dominante desde a jusante do reservatório de Paraibuna até 5 km antes da barragem do reservatório de Santa Branca, o que totaliza um trecho de 40 km de distância. A análise de Correspondência Canônica (CCA) mostrou maior relação entre este grupo e os dois primeiros reservatórios, evidenciando o êxito dos fitoflagelados, representados pelos grupos GFBM V e GFBMr IIb, desde o primeiro evento de mudança do regime lótico para o lântico, imposta pelos barramentos de acumulação.

Pode-se considerar que, devido a esta proximidade entre os reservatórios, permanecem as condições do meio que favorecem a expressão destes grupos funcionais, indicando a manutenção de uma hidrodinâmica que se aproxima das condições lânticas.

Assim, não houve tempo hábil para o retorno da composição funcional anterior aos reservatórios, observada na comunidade fitoplanctônica.

Para o reservatório de Funil e Anta houve coexistência entre o grupo GFBM V; GFBMr IIb e o grupo GFBMIII; GFBMr III, sendo os táxons de maior contribuição o dinoflagelado *Ceratium furcoides* e a cianobactéria filamentosa *Dolichospermum sp.*, respectivamente.

Eventos de substituição de espécies, em que cianobactérias coloniais foram substituídas por filamentosas, na medida em que aumenta a biomassa de *Ceratium furcoides*, também foram registrados para o reservatório de Itaúba (RS) (CASSOL, 2014). Estes eventos se justificam pelo fato das espécies filamentosas serem boas antenas de luz, podendo assim maximizar o aproveitamento da luminosidade e, além disso, a conhecida mixotrofia de dinoflagelados confere vantagem competitiva para a nutrição.

O aumento da biomassa para o grupo GFBM V; GFBMr IIb também foi registrado a montante do reservatório Ilha dos Pombos (15 km antes da barragem). Neste trecho encontra-se aumento de áreas agrícolas que se segue pela elevação dos composto nitrogenados (Figura. 9), em função do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados. Sabe-se que amônio e uréia, são preferencialmente utilizados por flagelados (DORTCH, 1990), porém valores máximos de biomassa e florações, são controlados pela disponibilidade de nitrato (KUDELA & PETERSON, 2009). Estas condições podem ter favorecido o aumento da biomassa deste grupo para este ponto no rio.

A PCH de Ilha dos Pombos também funciona a fio d'água, e revelou alteração na composição funcional dos grupos fitoplanctônicos que, embora tenham apresentado baixa biomassa, demonstraram maior diversidade no trecho a 5km antes da barragem, registrando os grupos GFBM III, V, VI e GFBMr III, V, VIb e VIc.

O grupo GFBM VI foi dominante nos trechos lóticos e se relacionou principalmente com as concentrações de nitrato (Gráfico 15). Foi registrado aumento biomassa deste grupo a 5 km antes da barragem de Lavrinhas cujos valores elevados se estenderam até 5km antes da barragem de Queluz, totalizando um trecho de 15 km (Gráfico 15). Conforme as subdivisões propostas por Chen *et al.* (2015) para este grupo de diatomáceas, foi possível identificar um potencial aumento da biomassa dos representantes do grupo GFBMr; VIb, representado pelas espécies de diatomáceas penadas. (volume maior que $30 \mu\text{m}^3$) e do grupo GFBMr VIc, representado principalmente pelos táxons *Melosira varians* e *Melosira sp.*.

As duas PCH's (Lavrinhas e Queluz) são ambientes relativamente rasos

(profundidade = 4,4 m) e com baixo tempo de residência (0,2 dias), o que pode ter favorecido o aumento da biomassa deste táxon.

Appel (2017) analisou os efeitos da barragem tipo fio d'água para o rio Madeira, no Amazonas. Porém não observou descontinuidade longitudinal comum em reservatórios de acumulação, entretanto, Bicudo (2006) observou tal alteração, mesmo para barramento a fio d'água, mas em rios de pequeno porte. Embora não tenha sido observada alteração na composição dos grupos funcionais para estes barramentos, houve aumento da biomassa. Vale ressaltar que para estudo do rio Madeira, a continuidade longitudinal foi mantida em função da forte vazão, mantida pelo barramento a fio d'água (média = 6874,3 m³/s) (APPEL, 2017), enquanto valores de vazão para as PCH's de Lavrinhas e Queluz apresentam registros máximos de 78,7 m³/s (ALUPAR, 2018).

Entretanto, neste estudo as alterações de abundância foram melhor relacionadas aos barramentos, enquanto a expressão funcional respondeu à mudança de regime da dinâmica da água. Assim, apenas a tendência de elevação da biomassa respondeu de maneira semelhante.

O aumento da biomassa registrados no trecho localizado a 5km da barragem do reservatório do Paraibuna e no ponto 153, próximo ao município de Vassouras, esteve representada por espécies do grupo MFBGr VIc, sendo as espécies *Melosira varians* e *Melosira sp.* os táxons com maior contribuição. Sabe-se que diatomáceas são boas competidoras por nitrato (NO₃⁻) (GLIBERT *et al.*, 2014) e que os valores de nitrato e amônio no curso superior do rio, a montante do reservatório do Paraibuna, embora baixos, demonstraram um certo aumento para estas estações amostrais, que podem ter favorecido o crescimento de *Melosira*.

A espécie *Melosira varians*, muito comum em água doce, é típica de ambientes eutróficos com misturas de águas (REYNOLDS *et al.*, 2002). Estudos para lagos e riachos naturalmente eutróficos e poluídos, em toda a América do Norte (STOERMER & JULIUS, 2003) têm reportado ocorrência comum desta espécie sob condições alcalinas (pH 7–8,5). A condição é semelhante a encontrada neste estudo, o que pode ter favorecido a dominância desta espécie neste trecho do rio.

O motivo do aumento da biomassa deste táxon para o trecho posterior do rio (ponto 153), pode ter sido influenciado pela entrada do rio Piraí, que passa pela cidade de mesmo nome, desembocando a 10km antes deste trecho (ponto 153). As águas deste tributário, sob influência da cidade de Piraí, pode ter provocado um “input” de compostos nitrogenados neste

ponto do rio. No entanto, é importante ressaltar que, mesmo as espécies apresentando preferências por ambientes eutrofizados, não foram observadas elevadas biomassas típicas de sistemas eutrofizados (Biomassa máxima atingida = $1,15 \text{ mm}^3 \text{L}^{-1}$).

Embora não tenha sido encontrada em elevadas biomassas, é importante ressaltar a ocorrência o grupo GFBM VII; GFBMr VII, visto que este grupo é muito comum em ambientes de águas paradas ou de pouca movimentação. Conforme previsto, este grupo ocorreu apenas em ambientes lênticos e em baixa biomassa, no entanto, vale ressaltar que em ambos os grupos estão inclusas espécies potencialmente produtoras de toxinas (KRUK e SEGURA, 2012), bem como típicas de ambientes eutrofizados. A análise de CCA revela a relação entre esta estratégia funcional e os reservatórios eutrofizados de Funil e Anta (Gráfico 12). O rio Paraíba do Sul vem passando por uma estiagem prolongada, que tem como resultado a diminuição da vazão na calha fluvial, levando a condições mais lênticas, o ano de 2015 foi o auge do período de estiagem.

As principais alterações nos grupos funcionais no rio Paraíba do Sul mostraram a mudança de grupos característicos de sistemas fluviais (diatomáceas) para co-dominância de distintos grupos característicos de ambientes lênticos, com maior tempo de residência e maior incidência de luz solar (SOUZA *et al.*, 2016).

Este estudo contribuiu para confirmar que a prevalência de apenas um grupo de diatomáceas e apenas um grupo de flagelados descrita para os agrupamentos GFBM (KRUK *et al.*, 2010) foi limitante para descrever o sistema estudado, sendo os grupos GFBMr (CHEN *et al.*, 2015) melhor descritores das respostas do fitoplâncton aos gradientes abióticos e hidrológicos do rio Paraíba do Sul. Rangel (2016), utilizando a abordagem de grupos GFBM em um sistemas de transição rio-reservatório, também descreveu o grupo VI como uma limitação da abordagem dos grupos GFBM para sistemas fluviais.

A existência de subdivisões das diatomáceas em RVIa, RVI,b e RVIc, que se diferenciam em função do biovolume e forma de vida (formadoras ou não cadeias) e dos flagelados, divididos em RIIb e RV (com ou sem exosqueleto) são fatores que contribuem para esse resultado.

Diferentemente dos nossos resultados, Appel (2017) evidenciou que a abordagem GFBM (KRUK *et al.*, 2010) foi mais efetiva para explorar a variabilidade dos dados do que a abordagem dos GFBMr (CHEN *et al.*, 2015). A autora relata que os grupos criados para as diatomáceas, estiveram igualmente relacionados e, ressalta ainda, que o grupo GFBMr V não

capturou o aumento dos flagelados a montante do barramento. Isto se deve provavelmente ao fato de que os representantes do grupo V para este estudo, foram criptofíceas com MDL < 10 µm. O grupo V GFBMr (CHEN *et al.*, 2015) abrange flagelados com MDL >10 µm, enquanto que para o grupo V GFBM (KRUK *et al.*, 2010), a faixa de tamanho se insere desde MDL >2, dessa forma, abrangendo maior biomassa (APPEL, 2017).

Para nossos resultados, provavelmente a abordagem dos GFBMr (CHEN *et al.*, 2015) foi efetiva devido ao fato de os maiores valores de biomassa registrados no presente estudo, estarem relacionados às espécies *Melosira varians*, diatomácea em cadeia e *Ceratium furcoides*, dinoflagelado com MDL 100 vezes maior que o limite mínimo da classificação para o grupo GFBMr V.

Nossos estudos mostraram pela primeira vez que a concentração de nutrientes e a mudança na hidrodinâmica do rio, transição lótico-lêntico, selecionaram os grupos funcionais ao longo da calha do rio Paraíba do Sul.

Embora saiba-se que reservatórios em cascata podem influenciar a oligotrofização em rios (BORTOLINI *et al.*, 2016), causando mudanças nas características destes sistemas e descontinuidade nas características físicas e biológicas (WARD & STANFORD, 1995), no presente estudo só foi observado valores limitantes de P e N no trecho inicial do rio. Essa configuração pode ter ocorrido por diversos fatores como influência dos centros urbanos, industrial e agrícola. Tal descontinuidade refletiu no aumento da biomassa do fitoplâncton de cianobactérias, principalmente para o interior de reservatórios e, conseqüentemente na redução da biodiversidade.

De acordo com o paradigma de Bass Becking (“*Everything is everywhere, but the environment selects*”), Quispel (1998) postula que organismos microscópicos, como o fitoplâncton, desenvolvem inóculos (no sentido de potencial estrutura de reprodução) em quase todo o ambiente, por apresentarem pequeno tamanho e fácil dispersão. No entanto, para que estes organismos se estabeleçam no local, é necessário que o hábitat apresente condições favoráveis para seu crescimento e sobrevivência (REYNOLDS, 1984). A semelhança encontrada na composição do fitoplâncton em trechos distantes entre si no rio Paraíba do Sul, mostra que a distribuição das populações do fitoplâncton não é arbitrária, mas sim organizada em função de condições ambientais semelhantes (WETZEL *et al.*, 2012).

CONCLUSÃO

1. A influência antrópica é o principal fator relacionado ao aumento da concentração de nutrientes e alteração da composição física, físico-química e biológica das águas do rio Paraíba do Sul. Pacheco *et al.*(2017) ao analisarem os mesmos dados aqui apresentados, concluíram que, em função dessas variáveis, o rio pode ser dividido em três setores. Entretanto, os autores não consideraram a dinâmica imposta pelos barramentos em suas considerações ecológicas.
2. Dentre as variáveis medidas, a limitação por fósforo, juntamente com a mudança da hidrodinâmica do rio, em função dos barramentos, foram as principais forças que determinaram a biomassa total do fitoplâncton.
3. O rio estudado apresentou baixa biomassa fitoplanctônica durante o estudo, com excessão do interior de reservatórios.
4. Os grupos funcionais dominantes foram aqueles formados por pequenos organismos (I;RIa) e os adaptados a sistemas lóticos com alta turbulência e baixa luminosidade (VI; RVIa, RVIb; RVIc);
5. A alteração da composição dos grupos funcionais, depende do tipo de barramentos (acumulação ou a fio d'água). Embora as barragens a fio d'água não alterem a composição dos grupos funcionais, o curto tempo de retenção da água é suficiente para promover alguma alteração, como o aumento da biomassa fitoplanctônica,
6. A estrutura da comunidade fitoplanctônica foi alterada ao longo do rio pela presença dos barramentos, sendo esta alteração observada a partir de aproximadamente 30 km de distância da barragem.
7. Os grupos funcionais baseados em morfologia para rios, foi melhor descritor da comunidade do rio Paraíba do Sul em comparação com a abordagem da proposição de Kurk *et al.*, 2010

REFERÊNCIAS

- ALUPAR. 2018. Disponível em: < <http://www.alupar.com.br/faq/pchs/>> Acesso em 09 de maio de 2018
- AMARAL, K. J. *Uso de água em indústria de papel e celulose sob a ótica da gestão de recursos hídricos*. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Abril de 2008.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2007. Disponível em: < <http://gripbsul.ana.gov.br/Hidrografia.html>>. Acesso em: 29 jun 2017
- APPEL, E. N. A. Forças Reguladoras do Biovolume Total e dos Grupos Funcionais do Fitoplâncton em Rios Tropicais (Sudeste do Brasil): Fatores Hidrológicos e Usos do Solo. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Museu Nacional / Programa de Pós-graduação em Ciências - UFRJ, Rio de Janeiro, Abril de 2010.
- APPEL, E.N. Efeitos do Barramento Tipo Fio d'Água Sobre as Comunidades Fitoplanctônicas do Rio Madeira e Seus Tributários na Área de Influência da Usina Hidrelétrica Santo Antônio, RO, Brasil. 2017. 169f. Tese (Doutorado em Botânica) Museu Nacional / Programa de Pós-graduação em Ciências - UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.
- ARBUCLE, K. E., J. A. DOWING. The influence of watershed land use on lake N: P in a predominantly agricultural landscape. *Limnol. Oceanogr.* v. 46, p. 970–975, 2001.
- AZEVEDO, S.M.F.O. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. *Medicina On Line*, v.1(3), p. 1-16, Julho/Agosto/Setembro 1998.
- BARBOSA, F. A. R.; PADISÁK, J.; ESPINDOLA, E. L. G.; BORICS, G.; ROCHA, O. The cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its application to the river Tietê basin, São Paulo State, Brazil. In: TUNDISI, J. G.; STRAKRABA, M. (Eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology, *Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers*, p.425-437, 1999.
- BERGKAMP, G.; MCCARTNEY, M; DUGAN, P.; MCNEELY, J.; ACREMAN, M. *DaµS, Ecosystem Functions and Environmental Restoration*. Word Commission en DaµS. www.daµS.org. 200p. 2000.
- BICUDO, D.C.; FERRAGUT, C.; CROSSETTI, L.O. & BICUDO, C.E.M. 2006. Efeitos do represamento sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica do Reservatório de Rosana, baixo rio Paranapanema. *Acta Sci. Biol. Sci.*, v. 30, n. 1, p. 57-65, 2006.
- BORGES, P.A.F.; RODRIGUES, C.L.; PAGIORO, T.A. & Train, S. Spatial variation of phytoplankton and some abiotic variables in the Pirapó River - PR (Brazil).in August 1999: a preliminary study. *Acta Scientiarum*, v. 25, p. 1-8, Janeiro 2003.
- BORTOLINI, J. C., G. A. MORESCO, A. C. M. DE PAULA, S. JATI & L. C. RODRIGUES. Functional approach based on morphology as a model of phytoplankton variability in a subtropical floodplain lake: a long-term study. *Hydrobiologia* v. 767, p. 151-163, 2016
- BOVO-SCOMPARIM, V. M.; TRAIN, S. & RODRIGUES, L.C. Influence of reservoirs to dispersion and seasonal variation of the phytoplankton community in the Upper Paraná River, Brazil. *Hydrobiologia*, v.702, p.115–127, 2013.
- BOZELLI, R. L.; HUSZAR, V. L. M. Comunidades fito e zooplanctônicas continentais em tempo de avaliação. *Limnotemas*, v.3, 2003.
- BRASIL, J. & HUSZAR, V. L. M. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. *Oecologia Australis*, v. 15, n. 4, p. 799-834, 2011

- CÂNDIDO, V. S., RANGEL, T. P., NASCIMENTO, S. M. , SUZUKI, M S. A Comunidade fitoplanctônica do Estuário Interno do Rio Paraíba do Sul em Dois Períodos: Baixa Vazão de 2007 e Alta Vazão de 2008. Apresentação em Congresso.
- CARACO, N F and , MILLER, R. Effects of CO₂ on competition between a cyanobacterium and eukaryotic phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.55, p;54-62, 1998.
- CASSOL, A. P. V., Impacto da Espécie Invasora *Ceratium furcoides* (LEVANDER) LANGHANS 1925 em Duas Represas do Alto Jacuí, RS. (Mestrado em Agrobiologia Área de Concentração em Interação Organismo Ambiente) - Faculdade de Agrobiologia - Universidade Federal de Santa Maria – (RS), Fevereiro de 2014.
- CEIVAP, 2006: Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - Diagnóstico dos Recursos Hídricos, Relatório Final, PSR-010-R0. Fundação COPPETEC Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. 221p.
- CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. 2014. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br>>. Acesso em 03 julho 2017.
- CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Relação das Principais Usinas Hidrelétricas na Bacia do Paraíba do Sul e no Complexo Hidrelétrico de Lajes. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/downloads/tabela%20hidreletrica.pdf>>. Acesso em: 12 de setembro de 2016.
- CEIVAP. Comitê de Integração da bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul: Diagnóstico dos recursos hídricos. Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente – Relatório Final. Rio de Janeiro, 2010.
- CESP – COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO, 2009. Disponível em: <http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaParaibuna?OpenDocument> Acesso em: 27 de agosto de 2017.
- CHEN, N.; LIU, L.; LI, Y.; QIAO, D.; LI, Y.; ZHANG, Y; LV, Y. Morphology-based classification of functional groups for potamoplankton. *J. Limnology*, v. 74 (3), p. 559-571, 2015.
- CMPC - Celulose Rio Grandense. Disponível em: <<http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos2-18>> Acesso em: 23 de agosto de 2018.
- DESCY, J.P. Phytoplankton composition and dynamics in the River Meuse (Belgium). *Algological studies*. v. 47, p.225-245, 1987.
- DESCY, J.P. Ecology of the phytoplankton of the River Moselle: effects of disturbances on community structure and diversity. *Hydrobiologia*, v. 249, p. 111-116, 1993.
- DEVERCELLI, M. Phytoplankton of the middle Paraná River during an anomalous hydrological period: a morphological and functional approach. *Hydrobiologia*, v. 563, p.465-478, 2006.
- DICKIE, G. Notes on the algae from the Amazons and its tributaries. *Journal Limnology Society, Series Botany*, v.18, p.123-132, 1881.
- DONADIO, N.M.M., GALBIATTI, J.A., PAULA, R.C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Engenharia Agrícola*, v. 25(1), p. 115-125, 2005.
- DORTCH, Q. The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton. *Mar Ecol. Prog. Ser*, v. 61, p. 183-201, 1990.
- ESTEVEZ, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. Edição:2ª, Editora: Interciência, Rio de Janeiro.
- FABBRO LD, DUIVENVOORDEN LJ. Profile of a bloom of the Cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya and Subba Raju in the Fitzroy

- River in tropical central Queensland. *Marine and Freshwater Research* v. 47, p. 685–694, 1996.
- FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - Parecer Técnico GEDIN 074/2007 Processo COPAM: 184/2006/002/2007 - PLASTIC OMNIUM DO BRASIL LTDA.
- FERREIRA, M.T. Use of algae for monitoring rivers in Portugal. In WHITTON, BA., ROTT, E. & FRIEDRICH, G. (Eds.) The use of algae for monitoring rivers. STUDIA Studenteforderungs-GmbH, Innsbruck, ISBN 3-9500090-0-0, p. 145-150, 1991.
- FIGUEIREDO D.M., Padrões limnológicos e do fitoplâncton nas fases de enchimento e de estabilização dos reservatórios do APM Manso e AHE Jauru (Estado de Mato Grosso), Tese de doutorado (Doutorado em Ecologia) - Centro de Ciências Biologia e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
- FONSECA, B.M.; BICUDO, C.E.M.. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, v. 600, p. 267-282, 2008.
- GONZÁLEZ, E.J. Nutrient enrichment and zooplankton effects on the phytoplankton community in microcosms from El Andino reservoir (Venezuela). *Hydrobiologia*, v.434, p. 81-96; 2000.
- GREGO, C. K. S. *Estrutura e dinâmica do fitoplâncton no estuário do rio Ariquindá, Tamandaré, Pernambuco, Brasil*. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Centro de Tecnologia e Geociências – Universidade Federal de Pernambuco, Fevereiro de 2010.
- GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am. Nat.*, v. 111, n. 982, p. 1169-1194, 1977.
- HILLEBRAND, H. DURSELEN CD, KISCHEDEL D. POLLINGHER U Zohary T. biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J.phycol.* v. 35, p. 403-424, 1999.
- HORN, H; HORN, W. Bottom-up or top-down – How is the autotrophic picoplankton mainly controlled? Results of long term investigations from drinking water reservoirs of different trophic state. *Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters*. v.38, n. 3-4, p. 302-312, 2008.
- HUISMAN, J.; SNOEP, J. L.; MUR, L. R.. Competition for phosphorus between the nitrogen-fixing cyanobacteria *Anabaena* and *Aphanizomenon*. *FEMS Microbiology Ecology*, v.24, n. 3, p. 259-267, 1997.
- HUSZAR, V. L. M. & CARACO, N. The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological-functional approaches in six temperate lakes. *Freshwater Biology*. v. 40, p. 679-696, 1998.
- HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C. L. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia*. v. 424, p. 67-77, 2000.
- INEA. NOTA TÉCNICA DIGAT/INEA nº 01/2014. 2014. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/arquivos/nota-tecnica-25mar-2014.pdf>> Acesso em: 01 agosto de 2017
- JUNK, W.J. BAYLEY, P.B. & SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: DODGE, D.P. ed. Proceedings of International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. *Fish. Aquat. Sci* v.106, p.110-127, 1989.
- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. 2005. Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales. Pp. 1-759. In: Bridel, B.; Krienitz, L.; Gartner, G.; Schargerl, M. (Eds.), Oscillatoriales. Subwasserflora von Mitteleuropa. München, Elsevier GmbH.

- KRUK, C.; HUSZAR, V. L. M.; PEETERS, E. T. H. M.; BONILLA, S.; COSTA, L.; LURLING, M.; REYNOLDS, C. S.; SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biol.*, v. 55, n. 3, p. 614-627, 2010.
- KRUK, C.; PEETERS, E.; VAN NES, E. H.; HUSZAR, V. L. M.; COSTA, L. S.; SCHEFFER, M. Phytoplankton community composition can be predicted best in terms of morphological groups. *Limnol. Oceanogr.*, v. 56, n. 1, p. 110-118, 2011.
- KUDELA, R.M. & PETERSON, T. Influence of a buoyant river plume on phytoplankton nutrient dynamics: with controls standing stocks river and productivity? *J. Geophys. v* 114, C00B11, 2008. Doi: 10.1029/2008/C004913.
- LAVRINHAS ENERGIA, 2018. Disponível em: < <http://lavrinhasenergia.com.br/usina/> > Acesso em: 13 de abril de 2018.
- LELLES, L. C..Perfil Ambiental Qualitativo da Extração de Areia em Cursos D'Água. *Árvore*, Viçosa-MG, v. 29, n.3, p. 439-444, 2005.
- LEWIS, W.M. Surface/volume ratio: implications for phytoplankton morphology. *Science*, v.192, p.885–887, 1976.
- LITCHMAN, E. & KLAUSMEIER, C.A. Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v.39, p.615-639, 2008.
- LUND, J.W.G.; KIPLING, C. & LE CREN, E.D. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia*, v.11, p.143– 70, 1958.
- MELO, S. de & HUSZAR, V.L.M. Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brasil): diel variation and species strategies. *Journal of Plankton Research* v.22 n.1, p.63–76, 2000.
- MELO-MAGALHÃES, E. M.1*; MOURA, A. N.2; MEDEIROS, P. R. P.1, LIMA, E. L. R.4, KOENING, M. L.. Phytoplankton of the São Francisco river estuarine region (Northeastern Brasil): A study of its. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, v.15, n.1, p. 95-105, 2011.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 1983. Resolução CONAMA Nº 001/86, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 01 de outubro de 2018.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005. Resolução CONAMA Nº 357/2005. Disponível em < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 27 de outubro de 2018.
- MOBIUS, M. Über einige brasilianische algen. Bericht der deutschen botanischen gesellschaft, V. 10, P.17-26, 1892.
- MONTGOMERY, D. R. (1999). Process domains and the river continuum. *Journal of the American Water Resources Association*, v.35, n.2, p.397-410, .1999.
- MUSSARA M.L.; MONTEIRO A. J. Jr; BEYRUTH, Z.; SENDACZ, S.; NOVELLI, J.L.; VIANNA, N.C. Limnological characterization of lentic and lotic habitats of the Upper Parana' River system prior to the inundation of Porto Primavera Reservoir. *Verhandlungen des Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, v.26, p.1072–1079, 1998.
- NASELLI-FLORES, L.; BARONE, R.. Importance of water level fluctuation on population dynamics of cladocera in a hypertrophic reservoir (Lake Arancio, south-west Sicily, Italy). *Hydrobiologia*, v.360, p.223–232, 1997.
- NASELLI-FLORES, L. & BARONE, R. Pluriannual morphological variability of phytoplankton in a highly productive Mediterranean reservoir (Lake Arancio, Southwestern Sicily). *Hydrobiologia*, v.578, p.87-95, 2007.

- NABOUT, J.C.; NOGUEIRA, I.S. & OLIVEIRA, L.G. Phytoplankton community of floodplain lakes of the Araguaia River, Brazil, in the rainy and dry seasons. *Journal of Plankton Research*, v.28, p.181–193, 2006.
- PACHECO, F. S.; MIRANDA, M.; PEZZI, L.P.; ASSIREU, A.; MARINHO, M. M.; MALAFAIA, M.; REIS, A.; SALES, M.; CORRÊA, G.; DOMINGOS, P.; IWMA, A.; RUDORFF, C.; OLIVA, P.; OMETTO, J. Water quality longitudinal profile of the Paraíba do Sul River, Brazil during an extreme drought event *Limnology e Oceanografic*, 2017. Doi: 10.1002/lno.10586
- NOGUEIRA, I.S.; NABOUT, J.C.; IBÁÑEZ, M.S.R. & BOURGOIN, L.M. Determinants of beta diversity: the relative importance of environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities in an Amazonian floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v.22 n.3, p.247-256, 2010.
- PACHECO, J.; IGLESIAS, C.; MEERHOFF, M.; FOSALBA, C.; GOYENOLA, G.; TEIXEIRA DE MELLO, F.; GARCIA, S.; GELOS, M.; GARCIA-RODRIGUEZ, F. Phytoplankton community structure in five subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): a morphology-based approach. *Hydrobiologia*, v. 646, n.1, p.187-197, 2010.
- PADISÁK, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Hydrobiologie*, v.107, p.563–593, 1997.
- PADISÁK, J. Use of algae for water quality monitoring. In SALÁNKI, J. & ISTVÁNOVICS, V. (Eds.). *Limnological bases of Lake Management*. Shiga: Committee Foundation. p. 73-82, 1993
- PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, v. 621, p. 1-19, 2009
- PAYNE, A.I. *The Ecology of tropical and rives*. Great Britain: Jhon Wiley & Sons, p.295, 1986.
- .POOLE, G.C. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology*, v.47, p. 641-660, 2002.
- .QUIPEL, A. LOURENS G. M. Baas Becking (1895-1963), inspirator for many (micro)biologists. *Internat. Microbiol.*, v. 1, p. 69-72, 1998.
- RANGEL, L. M.; SOARES, M. C. S.; PAIVAB, R.; SILVA, L. H. S. Morphology-based functional groups as effective indicators of phytoplankton dynamics in a tropical cyanobacteria-dominated transitional river–reservoir system. *Ecological Indicators*, v.64, p. 217–227, 2016.
- REYNOLDS, C. S. Phytoplankton peridiocity: interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater Biol.*, v. 14, p. 111-142, 1984.
- REYNOLDS, C.S. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press. 384p, 1984. E-book.
- REYNOLDS, C.S.; DESCY, J.P. e PADISAK, J. Are phytoplankton dynamics in rives so different from those in shallow lakes? *Hydrobiologia*, v.28, p.1-7,1994.
- REYNOLDS, C.S. 1997. *Vegetation Processes in the pelagic: A model for ecosystem theory*. Germany, Ecology Institute.
- REYNOLDS, C.S.. Hydroecology of river plankton: the role of variability in channel flow. *Hydrological Processes*, 14: 3119-3132. 2000.
- REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.*, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.

- REYNOLDS, C.S.; MABERLY C., A simple method for approximating the supportive capacities and metabolic constraints in lakes and reservoirs. *Freshwater Biology*, v.47, p.1183–1188, 2002.
- REYNOLDS, C.S. *The Ecology of Phytoplankton*, Cambridge University Press, 2006. E-book.
- RODGHER, S., ESPÍNDOLA, ELG., ROCHA, O., FRACÁCIO, R., PEREIRA, RHG. and RODRIGUES, MHS. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê River (São Paulo, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, v.65, n. 4, p. 697-710, 2005.
- RODRIGUES, E.H.C.; BARRETO, L.N.; FERREIRA-CORREIA, M.M.; SILVA, M.R.C. Variação temporal do fitoplâncton em um rio tropical pré-amazônico (Rio Pindaré, Maranhão, Brasil). *Ciência e Natura*, Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, v.37, n.2, p.241–251, 2015.
- RODRIGUES, L.C.; SIMÕES, N.R.; BOVO-SCAOMPARI, V.M.; JATI, S.; SANYANA, N.F.; ROBERTO, M.C. & TRAIN, S. Phytoplankton alpha diversity as an indicator of environmental changes in a neotropical floodplain. *Ecological Indicators*, v.48, p.334–34, 2015.
- ROZA, C. G. R. L. Diversidade Fitoplanctônica do Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Piabanha (RJ). 2016. 55 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2016.
- SEVERIANO, J. S., MOURA, A. N. M., OLIVEIRA, H. S. B. O., CORDEIRO-ARAÚJO, M. K. , DANTAS, E. W. Micro-phytoplankton richness in Contas River, State of Bahia, Northeastern Brazil. *Check List*, v.8, n.2, p.218-223, 2012.
- SHAPIRO, J. Blue-green algae: why they become dominant. *Science*. v.26, n.179 (4071), p.382-4, 1973.
- SILVA, D. Dinâmica de populações de *Microcystis* (Cyanobacteria) em pesqueiros da Região Metropolitana de São Paulo. 2005. 156 f. Dissertação (Mestrado em Botânica), Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2005.
- SILVA, P.E. A influência da mata ciliar na qualidade da água em dois rios na área rural de Foz do Iguaçu – PR. *ISSN 1980-0827*, v.9, n.2, p.1-16, 2009
- SMITH, V. H. & SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*. v.24, p.201-207, 2009.
- SMITH, V. H. Low nitrogen to phosphorous ratios favor dominance by blue-green algae in Lake Phytoplankton. *Science*, v.221, p.669-771, 1983.
- SOARES, M.C.S. Phytoplankton flora of two rivers in Southeast Brazil – Paraibuna and Pomba Rivers, Minas Gerais. *Revista Brasil. Bot.*, v.30, n.3, p.433-450, 2007.
- SOARES, R.M., MAGALHÃES, V.F. and AZEVEDO, S.M.F.O. Accumulation and depuration of microcystins (cyanobacteria hepatotoxins) in *Tilapia rendalli* (Cichlidae) under laboratory conditions. *Aquatic Toxicology*, v. 70, p.1-10, . 2004.
- SOMMER, U. The paradox of the plankton: fluctuations of phosphorus availability maintain diversity of phytoplankton in flow-through cultures. *Limnology and Oceanography*, v.29, p.633-636, 1984.
- SOUZA, W. F. L. MEDEIROS, P. R. P.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. Impactos de Barragens sobre os Fluxos de Materiais na Interface Continente-Oceano. *Rev. Virtual Quim.*, v.3, n.2, p.116-128, 2011.
- SOUZA, D.G.; BUENO, N.C.; BORTOLINI, J.C.; RODRIGUES, L. C.; BOVO-SOMPARI, V.M. & FRANCO, G.M.S. Phytoplankton functional groups in a subtropical Brazilian reservoir: responses to impoundment. *Hydrobiologia*, v.779, n.47–57, 2016.

- STOERMER, E.F. & JULIUS, M.L. Centric Diatom. In: WEHR, J.D. & SHEATH, R.G. (Eds.). *Freshwater algae of North America. Ecology and Classification*. San Diego, California, USA. Academic Press, p. 559–594, 2003.
- STRASKRABA, M. Residence time as a key variable of reservoir limnology. *International Institute of Ecology*, p. 385-410, 1999.
- TER BRAAK, C.J.F. Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology*, v.67, p.71–76, 1986.
- TER BRAAK, C.J.F.; ŠIMILAUER, P. 1998. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows. Centre of Biometry, Wageningen.
- THOMASSON, K. Amazonian algae. Mémoires de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, v.86, p.1-57, 1971.
- TANCRED, M. & ABBUD, O. A.. Por Que o Brasil Está Trocando as Hidrelétricas e Seus Reservatórios por Energia Mais Cara e Poluente? Consultoria Legislativa, Senado Federal. Textos para discussão. V.128, 2013.
- TRIPATHI, K.; SHARMA, N. K.; RAI, V.; RAI, A. K., 2012. Low cellular P-quota and poor metabolic adaptations of the freshwater cyanobacterium *Anabaena fertilissima* Rao during Pi-limitation. *Hydrobiologia*, v.103, n.2, p.277-91, 2013.
- TUNDISI, J. G. *Reservatórios como sistemas complexos: Teoria, Aplicações e perspectivas para usos múltiplos*. In: Henry, R. Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu, SP, FUNDBIO; FAPESP, 800 p. 1999b. Cap. 1, p. 21-38.
- TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. Eds. *Theoretical reservoir ecology and its applications*. Rio de Janeiro, Brazilian Academy Sciences and Bachuys Publishers. p.53-65, 1999
- TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia. Oficina dos Textos*. São Paulo. 632 p. 2008.
- UHELINGER,, V. Étude statistique des methods de dénombrement planctonique. *Arch.Sci.*v.17, p.121-223, 1964.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Verein. *Limnol.*, v.9, p.1-38, 1958.
- VAN DEN HOEK, C.; MANN, D.G. & JAHNS, H.M. *Algae: An introduction to phycology*. Cambridge, Cambridge University. 623 p. 1995.
- VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMIN, K.W.; SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E.. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of fisheries and Aquatic Sciences*, v.37, n.1, p.130-137, 1980.
- WARD, J.V & STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. In: FONTAINE, T.D. & BARTHELL, S. M., eds. Dynamics of Lotic Ecosystems. Ann Arbor Scien. Publ., Ann Arbor. Michigan, p.347-356, 1983.
- WARD, J. V. The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* Vol. 8, n. 1, p. 2-8, 1989,
- WARD, J.V. & STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept extending the model to floodplain rivers. *Regul. Riv.* V.11, p. 10, 1995.
- WEHR, J.D. & DESCY, J.-P. Use of phytoplankton in large river management. *Journal of Phycology*, 34: 741–749, 1998.
- WETZEL, C. E., BICUDO, D. C., ECTOR, L., LOBO, E. A., SOININEN, J., LANDEIRO, V. L. & BINI, L. M. Distance decay of similarity in neotropical diatom communities. *PLoS ONE*, 7 ed. 2012.
- ZACHARIAS, O. "Das potamoplankton." *Zoologisch Anzeiger* v. 21, p. 41-48, (1898).
- ZALOCAR De DOMITROVIC, Y. Biodiversidad Del fitoplancton en el eje fluvial Paraguay, Paraná. *INSUGEO, Miscelánea, Tucumán*, v.14, p. 229–242, 2005.
- ZENG, H., SONG, L. *et al.*. Post-Impoundment Biomass and Composition of Phytoplankton in the Yangtze River. *Hydrobiologia*, v.92, n.3, p. 267-280, 2007.

ANEXO A - Chave de identificação dos grupos funcionais baseados na morfologia (GFBM)

Kruk et al. (2010).

MBFG _R	Compare to MBFG	K _a (m ⁻¹)	WT (°C)	SSC (g L ⁻¹)	v (m s ⁻¹)	RSI (mg L ⁻¹)	Main predators	Suitable river types for dominance
RIa	MBFG I without flagella	2.9-4.5	>25		>1		Small and medium zooplankton	
RIb	MBFG I with flagella	2.9-4.5	20-25		>1		Medium and large zooplankton	Upperstream of higher rivers in mountains
RIIa	MBFG II	≥4.5	<22	<0.06			All zooplankton	
RIIb	MBFG V with exoskeleton	<4.5	<20	>0.1				
RIII	MBFG III but ignoring aerotopes	>4.5	>22				Copepods	Downstream of lower rivers
RIV	MBFG IV	<2.9	>20		>1		Medium and large zooplankton	
RV	MBFG V without exoskeleton	<4.5	<20	<0.1				Downstream of lower rivers in plains
RVIa	MBFG VI of small size	≥4.5	<22	>0.06		<1.5	Small and medium rotifers	Downstream of plain rivers
RVIb	MBFG VI of large size	≥4.5	<22	>0.06	>2	>1.5		
RVIc	MBFG VI of colony	≥4.5	<22	>0.06	<2	>1.5	Copepods	Downstream of plain rivers
RVII	MBFG VII	<4.5	>20					Downstream of lower rivers in plains

ANEXO B – Chave de identificação dos grupos funcionais baseados na morfologia para rios (GFBM_R) Chen (2015).

1 Presence of flagella	2 Presence of siliceous structures	Group II			
	2' Absence of siliceous structures	3 MLD < 2 μm	Group I		
		3' MLD > 2 μm	Group V		
1' Absence of flagella	2 Presence of siliceous structures	Group VI			
	2' Absence of siliceous structures	3 Presence of mucilage	4 Presence of aerotopes	5 S/V > 0.6 μm ⁻¹	Group III
				5' S/V < 0.6 μm ⁻¹	Group VII
			4' Absence of aerotopes	5 V < 10 μm ³	Group I
				5' V > 10 μm ³	Group VII
		3' Absence of mucilage	4 V < 30 μm ³	5 MLD < 20 μm ³	Group I
				5' MLD > 20 μm ³	Group IV
			4' V > 30 μm ³	5 Presence of aerotopes	Group III
				5' Absence of aerotopes	Group IV

APÊNDICE A – Relação dos pontos amostrais no período de seca em 2015.

SISTEMAS LÓTICOS				
Estação	Localização	LAT	LONG	Dist. da Nascente (km)
P1	SP	-22,758	-44,762	0,0
P2	SP	-22,736	-44,730	6,1
P3	SP	-22,742	-44,702	10,6
P4	SP	-22,775	-44,702	15,6
P5	SP	-22,796	-44,709	19,1
P6	SP	-22,834	-44,727	25,6
P7	SP	-22,840	-44,744	28,4
P8	SP	-22,864	-44,788	36,2
P9	SP	-22,871	-44,849	45,9
P11	SP	-22,905	-44,945	61,7
P12	SP	-22,908	-44,965	65,0
P13	SP	-22,945	-44,993	72,1
P14	SP	-22,970	-45,014	77,2
P15	SP	-22,981	-45,027	79,7
P16	SP	-22,995	-45,044	83,2
P17	SP	-23,003	-45,065	86,7
P18	SP	-23,046	-45,095	94,9
P19	SP	-23,057	-45,124	99,7
P20	SP	-23,088	-45,134	104,7
P21	SP	-23,131	-45,156	112,3
P22	SP	-23,142	-45,178	116,2
P24	SP	-23,138	-45,205	120,5
P25	SP	-23,180	-45,282	134,0
P28	SP	-23,238	-45,319	144,8
P29	SP	-23,223	-45,347	149,8
P30	SP	-23,250	-45,351	154,1
P31	SP	-23,268	-45,376	159,0
P32	SP	-23,279	-45,395	162,4

P33	SP	-23,293	-45,426	167,6
P34	SP	-23,296	-45,454	172,1
P35	SP	-23,320	-45,467	176,2
P36	SP	-23,322	-45,475	177,5
P37	SP	-23,318	-45,477	178,2
P38	SP	-23,315	-45,480	178,9
P39	SP	-23,316	-45,486	179,7
P40	SP	-23,317	-45,492	180,8
P42	SP	-23,318	-45,496	181,6
P48	SP	-23,416	-45,615	210,8
P49	SP	-23,383	-45,665	220,2
P50	SP	-23,355	-45,670	224,6
P51	SP	-23,358	-45,721	232,5
P52	SP	-23,345	-45,757	238,5
P56	SP	-23,370	-45,881	258,9
P57	SP	-23,392	-45,894	263,0
P58	SP	-23,366	-45,930	269,9
P59	SP	-23,383	-45,932	272,5
P60	SP	-23,399	-45,959	277,5
P61	SP	-23,423	-45,991	283,7
P62	SP	-23,416	-46,024	288,9
P63	SP	-23,377	-46,059	297,1
P64	SP	-23,377	-46,056	297,6
P65	SP	-23,368	-46,022	303,2
P66	SP	-23,363	-45,990	308,2
P67	SP	-23,338	-45,983	312,3
P68	SP	-23,306	-45,977	317,2
P69	SP	-23,273	-45,979	322,5
P70	SP	-23,249	-45,976	326,2
P71	SP	-23,225	-45,961	330,7
P72	SP	-23,197	-45,932	336,8
P73	SP	-23,172	-45,911	341,9
P74	SP	-23,155	-45,891	346,1

P75	SP	-23,158	-45,886	347,0
P76	SP	-23,143	-45,858	351,9
P77	SP	-23,128	-45,841	355,5
P78	SP	-23,114	-45,822	359,2
P79	SP	-23,109	-45,790	364,2
P82	SP	-23,105	-45,731	373,5
P83	SP	-23,084	-45,703	378,8
P84	SP	-23,061	-45,689	383,1
P85	SP	-23,041	-45,689	386,1
P86	SP	-23,022	-45,662	391,1
P87	SP	-23,007	-45,647	394,5
P88	SP	-22,996	-45,623	398,6
P89	SP	-22,973	-45,595	404,2
P90	SP	-22,965	-45,564	409,2
P91	SP	-22,926	-45,543	416,1
P92	SP	-22,915	-45,521	420,0
P93	SP	-22,909	-45,477	426,9
P94	SP	-22,895	-45,458	430,6
P95	SP	-22,868	-45,422	437,6
P96	SP	-22,871	-45,373	445,2
P97	SP	-22,861	-45,335	451,4
P98	SP	-22,838	-45,303	457,4
P99	SP	-22,854	-45,263	464,2
P100	SP	-22,841	-45,233	469,2
P101	SP	-22,809	-45,213	475,0
P102	SP	-22,799	-45,179	480,6
P103	SP	-22,761	-45,173	486,6
P104	SP	-22,738	-45,139	493,0
P105	SP	-22,701	-45,123	499,3
P106	SP	-22,683	-45,092	504,9
P107	SP	-22,678	-45,050	511,4
P108	SP	-22,657	-45,038	515,2
P109	SP	-22,660	-45,009	519,7

P110	SP	-22,627	-44,994	525,4
P111	SP	-22,600	-44,977	530,4
P112	SP	-22,573	-44,951	536,1
P113	SP	-22,566	-44,914	542,1
P115	SP	-22,566	-44,864	550,5
P117	SP	-22,544	-44,794	562,1
P118	SP	-22,528	-44,737	571,2
P119	RJ	-22,518	-44,698	577,6
P120	RJ	-22,542	-44,661	584,3
P125	RJ	-22,529	-44,570	609,7
P126	RJ	-22,504	-44,558	613,6
P127	RJ	-22,489	-44,533	618,0
P128	RJ	-22,470	-44,500	623,5
P129	RJ	-22,463	-44,453	630,3
P130	RJ	-22,469	-44,415	635,8
P131	RJ	-22,465	-44,376	641,4
P132	RJ	-22,433	-44,351	647,4
P133	RJ	-22,420	-44,369	650,6
P134	RJ	-22,412	-44,322	657,5
P135	RJ	-22,402	-44,290	662,4
P136	RJ	-22,430	-44,290	666,3
P137	RJ	-22,463	-44,282	671,3
P138	RJ	-22,486	-44,248	677,2
P139	RJ	-22,512	-44,212	683,6
P140	RJ	-22,536	-44,177	689,9
P141	RJ	-22,531	-44,140	695,2
P142	RJ	-22,503	-44,104	701,8
P143	RJ	-22,486	-44,089	705,2
P144	RJ	-22,495	-44,037	712,5
P145	RJ	-22,495	-44,009	716,3
P146	RJ	-22,517	-43,975	722,0
P147	RJ	-22,505	-43,940	727,1
P148	RJ	-22,491	-43,898	733,3

P150	RJ	-22,482	-43,843	741,1
P151	RJ	-22,454	-43,803	747,8
P152	RJ	-22,429	-43,767	753,9
P153	RJ	-22,396	-43,738	759,9
P154	RJ	-22,387	-43,708	764,3
P155	RJ	-22,359	-43,689	769,1
P156	RJ	-22,342	-43,663	773,4
P157	RJ	-22,316	-43,651	777,4
P158	RJ	-22,308	-43,614	782,7
P159	RJ	-22,286	-43,579	788,4
P160	RJ	-22,269	-43,544	793,7
P161	RJ	-22,255	-43,517	798,1
P162	RJ	-22,244	-43,493	801,7
P163	RJ	-22,225	-43,471	805,8
P164	RJ	-22,227	-43,439	809,7
P165	RJ	-22,215	-43,403	814,3
P166	RJ	-22,204	-43,363	819,4
P167	RJ	-22,178	-43,317	825,8
P168	RJ	-22,163	-43,286	830,1
P169	RJ	-22,134	-43,243	836,4
P170	RJ	-22,118	-43,202	841,8
P171	RJ	-22,109	-43,176	845,2
P172	MG	-22,109	-43,135	850,2
P173	MG	-22,086	-43,098	855,6
P177	MG	-22,036	-42,997	871,0
P178	MG	-21,999	-42,928	880,6
P179	MG	-21,966	-42,879	887,8
P180	MG	-21,942	-42,830	894,5
P181	MG	-21,923	-42,774	901,7
P182	MG	-21,901	-42,726	908,2
P183	MG	-21,874	-42,670	915,7
P185	MG	-21,841	-42,581	928,0
P186	MG	-21,818	-42,538	933,9

P187	MG	-21,795	-42,482	941,4
P188	MG	-21,772	-42,422	949,3
P189	MG	-21,743	-42,362	957,4
P190	MG	-21,736	-42,313	963,4
P191	MG	-21,713	-42,260	970,5
P192	RJ	-21,685	-42,198	978,8
P193	RJ	-21,699	-42,121	988,4
P194	RJ	-21,666	-42,082	994,7
P195	RJ	-21,633	-42,039	1001,2
P196	RJ	-21,636	-41,999	1006,1
P197	RJ	-21,608	-41,955	1012,6
P198	RJ	-21,580	-41,911	1018,9
P199	RJ	-21,582	-41,860	1025,1
P200	RJ	-21,605	-41,822	1030,6
P201	RJ	-21,600	-41,762	1037,9
P202	RJ	-21,635	-41,760	1042,3
P203	RJ	-21,651	-41,717	1047,9
P204	RJ	-21,639	-41,668	1054,1
P205	RJ	-21,625	-41,624	1059,7
P206	RJ	-21,613	-41,579	1065,4
P207	RJ	-21,625	-41,533	1071,2
P208	RJ	-21,668	-41,493	1078,3
P209	RJ	-21,692	-41,451	1084,3
P210	RJ	-21,713	-41,402	1090,9
P211	RJ	-21,739	-41,341	1098,9
P212	RJ	-21,754	-41,297	1104,6
P213	RJ	-21,758	-41,254	1109,9
P214	RJ	-21,739	-41,208	1116,0
P215	RJ	-21,708	-41,164	1122,5
P216	RJ	-21,673	-41,120	1129,5
P217	RJ	-21,640	-41,076	1136,2

SISTEMAS LÊNTICOS

Estação	Localização	LAT	LONG	Dist. da Nascente (km)
		-	-	
PB44	SP	23,325565	45,4966	182,8
		-	-	
PB45	SP	23,335577	45,5432	190,2
		-	-	
PB46	SP	-23,35694	45,6013	199,8
		-	-	
PB47	SP	23,389122	45,6268	206,2
		-	-	
SB53	SP	-23,34927	45,7913	243,9
		-	-	
SB54	SP	-23,34423	45,8224	248,8
		-	-	
SB55	SP	23,367958	45,8583	255,5
		-	-	
QL114	SP	22,569855	44,8636	549,9
		-	-	
LV116	SP	22,544193	44,7993	561,2
		-	-	
FN121	RJ	-22,51023	44,6255	591,7
		-	-	
FN122	RJ	-22,54054	44,6237	596,5
		-	-	
FN123	RJ	22,564418	44,5927	602,6
		-	-	
FN124	RJ	22,528795	44,5657	609,0
		-	-	
AT174	RJ	22,082978	43,0539	860,9
		-	-	
AT175	RJ	22,049844	43,0393	865,4
		-	-	
AT176	RJ	-	-	870,4

		22,033662	43,0014	
		-	-	
IHP184	RJ,MG	21,845408	42,5792	927,4

APÊNDICE B - Lista dos táxons observados ao longo da calha do rio Paraíba do sul entre os meses de junho à setembro de 2015.

CYANOBACTERIA	
	<i>Penada sp.</i> 53
<i>Anabaenopsis cf. circularis</i>	<i>Penada sp.</i> 54
<i>cf. Cuspidothrix sp.1</i>	<i>Penada sp.</i> 55
<i>Aphanizomenon cf. gracile</i>	<i>Penada sp.</i> 56
<i>Cf. Aphanocapsa 1</i>	<i>Penada sp.</i> 57
<i>Aphanocapsa cf. elachista</i>	<i>Penada sp.</i> 58
<i>Aphanocapsa 4 - (120 e 57)</i>	<i>Penada sp.</i> 59
<i>Aphanothece sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 60
<i>cf. Croococcus limneticus</i>	<i>Penada sp.</i> 61
<i>Chroococales colonial sp.3</i>	<i>Penada sp.</i> 62
<i>Chroococales colonial sp.4</i>	<i>Penada sp.</i> 63
<i>Chroococcus minor</i>	<i>Penada sp.</i> 64
<i>Cianobacteria filamentosa 23</i>	<i>Penada sp.</i> 65
<i>Cianobacteria Filmanetosa 46</i>	<i>Penada sp.</i> 66
<i>Dolichospermum sp.1</i>	<i>Penada sp.</i> 67
<i>Cf. Synechococcus nidulans</i>	<i>Penada sp.</i> 68
<i>Lyngbya sp.1</i>	<i>Penada sp.</i> 69
<i>Merismopedia cf glauca</i>	<i>Penada sp.</i> 70
<i>Microcystis sp.1</i>	<i>Penada sp.</i> 71
<i>cf. Microcrocis pulchella</i>	<i>Penada sp.</i> 72
<i>Microcystis cf. aeruginosa</i>	<i>Penada sp.</i> 73
<i>Ocillatoria sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 74
<i>Oscillatoria sp. 3</i>	<i>Penada sp.</i> 75
<i>Oscillatoria cf. princes</i>	<i>Penada sp.</i> 76
<i>Oscillatoria sp. 5</i>	<i>Penada sp.</i> 77
<i>Ocillatoriales sp. 7</i>	<i>Penada sp.</i> 78
<i>Oscillatoriales sp. 45</i>	<i>Penada sp.</i> 79
<i>Phormidium sp. 48</i>	<i>Penada sp.</i> 80
<i>Phormidium sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 81
<i>Phormidium sp. 2</i>	<i>Penada sp.</i> 82

<i>Phormidium sp.</i> 3	<i>Penada sp.</i> 83
<i>cf. Komvophoron cf. crassum</i>	<i>Penada sp.</i> 84
<i>Planktotrix sp.1</i>	<i>Penada sp.</i> 85
<i>Planktotrix sp.2</i>	<i>Penada sp.</i> 86
<i>Planktotrix sp.3</i>	<i>Penada sp.</i> 87
<i>Pseudanabaenaceae cf. galeata</i>	<i>Penada sp.</i> 88
<i>Pseudoanabaenaceae cf. mucicola</i>	<i>Penada sp.</i> 89
<i>Pseudoanabaenaceae cf. catenata</i>	<i>Penada sp.</i> 90
<i>Pseudoanabaena sp. 13</i>	<i>Penada sp.</i> 91
<i>Pseudanabaenaceae sp. 14</i>	<i>Penada sp.</i> 92
<i>Pseudanabaenaceae sp. 30</i>	<i>Penada sp.</i> 93
<i>cf. Raphidiopsis sp.1</i>	<i>Penada sp.</i> 94
<i>Synechocystis cf. aquatilis</i>	<i>Penada sp.</i> 95
<i>Synechococcus sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 96
<i>Synechococcus sp. 2</i>	<i>Penada sp.</i> 97
<i>Snowella sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 98
CHLOROPHYCEAE	
<i>Cf. Dictyosphaerium cf. pulchellum</i>	<i>Penada sp.</i> 99
<i>cf. Eutetramorus sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 100
<i>Chlamidomonas sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 101
<i>Chlorella sp 1</i>	<i>Penada sp.</i> 102
<i>Chlorella sp. 3</i>	<i>Penada sp.</i> 103
<i>Chlorococcallessp. 5</i>	<i>Penada sp.</i> 104
<i>Chlorococcalles colonial 8</i>	<i>Penada sp.</i> 105
<i>Chlorococcalles colonial 16</i>	<i>Penada sp.</i> 106
<i>Chlorococcalles colonia 17</i>	<i>Penada sp.</i> 107
<i>Chlorococcales colonial 18</i>	<i>Penada sp.</i> 108
<i>Chlorococcalles colonia 28</i>	<i>Penada sp.</i> 109
<i>Chlorococcalles colonia 43</i>	<i>Penada sp.</i> 110
<i>Chlorococcalles colonia 50</i>	<i>Penada sp.</i> 111
<i>Chlorococcalles colonia 55</i>	<i>Penada sp.</i> 112
<i>Chlorococcalles colonia 57</i>	<i>Penada sp.</i> 113
<i>Chlorococcalles colonia 60</i>	<i>Penada sp.</i> 114
	<i>Penada sp.</i> 115

<i>Chlorococcalles colonia</i> 63	<i>Penada sp.</i> 116
<i>cf. Coelastrum microporum</i>	<i>Penada sp.</i> 117
<i>cf. Coelastrum reticulatum</i>	<i>Penada sp.</i> 118
<i>Crucigenia cf. crucifera</i>	<i>Penada sp.</i> 119
<i>Crucigenia cf. tetrapedia/fenestrata</i>	<i>Penada sp.</i> 120
<i>Desmodesmus cf. armatus</i>	<i>Penada sp.</i> 121
<i>var. bicaudatus</i>	
<i>Desmodesmus/Scenedesmus sp.2</i>	<i>Penada sp.</i> 122
<i>Desmodesmus cf armatus</i>	<i>Penada sp.</i> 123
<i>Desmodesmus cf acuminatus</i>	<i>Penada sp.</i> 124
<i>Geminella cf. sp 1</i>	<i>Penada sp.</i> 125
<i>Geminella sp. 2</i>	<i>Penada sp.</i> 126
<i>Geminella sp. 4</i>	<i>Penada sp.</i> 127
<i>Monoraphidium sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 128
<i>Monoraphidium sp. 4</i>	<i>Penada sp.</i> 129
<i>Monoraphidium cf. kormakovae</i>	<i>Penada sp.</i> 130
<i>Monoraphidium cf. arcuatum</i>	<i>Penada sp.</i> 131
<i>Oedogonium cf. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 132
<i>Oocystis sp.2</i>	<i>Penada sp.</i> 133
<i>Scenedesmus sp.1</i>	<i>Penada sp.</i> 134
<i>Scenedesmus sp.4</i>	<i>Penada sp.</i> 135
<i>Scenedesmus sp. 2</i>	<i>Penada sp.</i> 136
<i>Scenedesmus cf. apiculatus</i>	<i>Penada sp.</i> 137
<i>Secenedesmus sp. 11</i>	<i>Penada sp.</i> 138
<i>Scenedesmus sp. 12</i>	<i>Penada sp.</i> 139
<i>Schroederia cf. setigera</i>	<i>Penada sp.</i> 140
<i>Schroederia/Closterium sp. 1</i>	<i>Penada sp.</i> 141
<i>Schroederia/Closterium sp. 2</i>	<i>Penada sp.</i> 142
DIATOMACEAE	
<i>Achnantes cf. taeniata</i>	<i>Penada sp.</i> 144
<i>Achnantes sp. 2</i>	<i>Pinullaria sp.</i> 1
<i>Aulacoseira cf. granulata</i>	<i>Pinullaria sp.</i> 2
<i>Aulacoseira granulata</i> vr.	<i>Pinullaria sp.</i> 3

angustissima

Cyclotella sp. 1

Cyclotella sp. 3

Cyclotella sp. 7

Cyclotella sp. 8

Cyclotella sp. 14

Cyclotella cf. meneghiniana

Cymbella sp. 1

Cymbella sp. 2

Cymbella sp. 3

Cymbella sp. 4

Cymbella sp. 8

Cymbella sp. 9

Cymbella sp. 14

Diatomaceae cêntrica sp. 1

Diatomaceae cêntrica 2

Diatomaceae cêntrica sp. 6

Diatomaceae cêntrica sp. 12

Diatomaceae cêntrica sp. 24

Gomphonema sp. 1

Gomphonema sp. 4

Gomphonema sp. 9

Gomphonema sp. 10

Gomphonema cf. olivaceae

Gyrosigma/Pleurosigma sp. 1

Gyrosigma/Pleurosigma sp. 2

Melosira cf. varians

Melosira sp. 2

Navicula sp. 1

Navicula sp. 3

Navicula sp. 4

Navicula sp. 6

cf. Nitzschia closterium

Pinullaria sp. 4

Pinullaria sp. 5

Pinullaria sp. 6

Pinullaria sp. 7

Pleurosigma/Girosigma sp. 1

Surirella sp. 1

Synedra sp. 1

cf. Synedra sp. 2

CRYPTOPHYCEAE

Cf. Pedinomonas sp. 1

cf. Cryptophyceae 1

Cryptophyceae sp. 2

Cryptophyceae sp. 3

Cryptophyceae sp. 4

Cryptophyceae sp. 5

Cryptophyceae sp. 6

Cryptophyceae sp. 7

Cryptophyceae sp. 8

Cryptophyceae sp. 9

Cryptophyceae sp. 10

Cryptophyceae sp. 11

Cryptophyceae sp. 12

Cryptophyceae sp. 13

Cryptophyceae sp. 14

Cryptophyceae sp. 15

Cryptophyceae sp. 16

Cryptophyceae sp. 17

Cryptophyceae sp. 18

Cryptophyceae sp. 19

Cryptophyceae sp. 20

Cryptophyceae sp. 21

Cryptophyceae sp. 22

Penada sp. 1
Penada sp. 2
Penada sp. 3
Penada sp. 4
Penada sp. 5
Penada sp. 6
Penada sp. 7
Penada sp. 8
Penada sp. 9
Penada sp. 10
Penada sp. 11
Penada sp. 12
Penada sp. 13
Penada sp. 14
Penada sp. 15
Penada sp. 16
Penada sp. 17
Penada sp. 18
Penada sp. 19
Penada sp. 20
Penada sp. 21
Penada sp. 22
Penada sp. 23
Penada sp. 24
Penada sp. 25
Penada sp. 26
Penada sp. 27
Penada sp. 28
Penada sp. 29
Penada sp. 30
Penada sp. 31
Penada sp. 32
Penada sp. 33

Cryptophyceae sp.23
Cryptophyceae sp.24
Cryptophyceae sp.25
Cryptophyceae sp.26
Cryptophyceae sp.27
Cryptophyceae sp.28
Cryptophyceae sp.29
Cryptophyceae sp.30
Cryptophyceae sp.31
Cryptophyceae sp.32
Cryptophyceae sp.33
Cryptophyceae sp.34
Cryptophyceae sp.35
cf.Pyramimonas sp.1

DINOPHYCEAE

Ceratium furcoides
Dinoflagelado sp.1
Peridinium sp. 1
Peridinium sp. 2

ZYGNEMATOPHYCEAE

Closterium ou Schorederia sp.1
Closterium sp. 2
Closterium sp. 3
Closterium sp. 4
Closterium sp. 5
Closterium sp. 6
Closterium sp. 7
Desmídea sp.1
Desmídea sp.2
Desmídea sp.3
Micrasteria sp. 1
Micrasteria sp. 2
Mougeotia sp. 1

Penada sp. 34
Penada sp. 35
Penada sp. 36
Penada sp. 37
Penada sp. 38
Penada sp. 39
Penada sp. 40
Penada sp. 41
Penada sp. 42
Penada sp. 43
Penada sp. 44
Penada sp. 45
Penada sp. 46
Penada sp. 47
Penada sp. 48
Penada sp. 49
Penada sp. 50
Penada sp. 51
Penada sp. 52

Mougeotia sp. 2
Mougeotia sp. 3
Pediastrum simplex
Pediastrum duplex
Staurastum sp. 1
Staurodesmus sp. 1

EUGLENOPHYCEAE

Euglena sp. 1
Euglena sp. 2
Euglena sp. 3
Euglenophyceae sp. 1
Euglenophyceae sp. 2
Euglenophyceae sp. 3
Euglenophyceae sp. 4
cf. Phacus sp. 1
cf. Phacus sp. 2
cf. Phacus sp. 3
Tthrachelomonas sp. 1
Tthrachelomonas sp. 2