

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA GERAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE

**PADRÕES DE PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA NA LAGOA
CARIOCA – PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD) – MG**

ATENÁGORAS CAFÉ CARVALHAIS JR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

BELO HORIZONTE – MG

2010

ATENÁGORAS CAFÉ CARVALHAIS JR

**PADRÕES DE PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA NA LAGOA
CARIOCA – PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD) – MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

BELO HORIZONTE – MG

2010

Orientador

Prof. Dr. Francisco Antônio Rodrigues Barbosa

“À minha mãe, aos avós Terezinha e Fernando, e irmã Fernanda, que sempre me ajudaram, apoiaram e incentivaram independente da situação ou momento da vida.”

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Francisco Antônio Rodrigues Barbosa, pela orientação neste trabalho, disponibilização de laboratório, campos experimentais e dados brutos de sua dissertação. Pela compreensão, avaliações, críticas, sugestões e ensinamentos que tornaram esse momento possível;

Ao colega Filipe Martins, pela execução da grande maioria das medições e experimentos e pelo conhecimento prático repassado em campo;

À colega Luciana Barbosa, pela ajuda e disponibilização de dados brutos de sua tese;

Aos amigos de curso e laboratório, Akemi, Cristiane e Diego pelo trabalho muitas vezes dividido em equipe e momentos de distração e leveza do dia a dia;

A Profa. Dra. Paulina Maria Rodrigues Maia Barbosa, por sua atenção e carinho;

Aos demais colegas e amigos de curso e laboratório pela contribuição discreta, mas constante e indispensável para alcance dos objetivos propostos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, professores, coordenadores e demais funcionários, pelo bom trabalho desempenhado do qual este estudo é apenas mais um fruto;

Aos amigos da faculdade, sempre tão presentes na rotina acadêmica;

Aos amigos além da faculdade, pelos prazeres da vida e manutenção de uma referência sólida sobre valores e princípios;

À minha família, companheiros no meu lar, que me proporcionam amor, carinho, segurança e abrigo desde muito antes deste momento e com certeza por muito além;

À CAPES pela bolsa proporcionada como estímulo a pesquisa e pós-graduação;

À USFish, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro e consequente incentivo ao curso de pós-graduação e pesquisas nesta instituição;

Ao PELD, pelo apoio, incentivo e confiança neste e dentre diversos outros projetos executados no Parque Estadual do Rio Doce, sem o qual este trabalho não poderia ser realizado na dimensão em que foi.

Abstract

The study of aquatic ecosystems metabolism is one of the main objectives of the world limnological research. In this case, primary productivity (PPR) is the basis for a detailed study of the mechanisms controlling the energy transfer during the cycle of organic matter. To understand the contribution of phytoplankton in the flow of energy is essential for a sustainable use and management of water systems, reducing the deposition of nutrients and improving water quality. Lake Carioca, chosen as experimental lake for the present work is an environment with relatively small proportions, located in a protected area and, because of that, allows the development of studies capable to identify patterns such as productivity primary rates. The proposed study is based on the analysis of monthly measurements of PPR, performed between August 2004 and September 2007. During this period, the estimate of the PPR was based on the C-14 technique described by Steemann-Nielsen (1952), at a sampling station in the central of the lake. The project aims to: i) identify annual, seasonal and daily patterns of primary production, ii) to correlate the results observed for PPR with other biotic and abiotic variables monitored during in this period, iii) obtain the rate of assimilation for the whole sampling period and compare them with values recorded in the past in order to demonstrate the ecological consequence of a possible change in the structure of the phytoplankton community. The major findings are: i) seasonal variation in several physical and chemical parameters allowing for the characterization of the lake as an oligotrophic one as judged by dissolved nutrients, besides an indication of nitrogen and phosphorus limitation; ii) significant changes in the phytoplankton community in the last decades, probably related to the introduction of exotic fish species; iii) increase in PPR with rates ranging from 0.14 to 1019.5 mgC/m³/h suggesting a clear indication of seasonal and depths variation while there was neither significant variation between periods of the day nor between years; iv) correlation of PPR with pH, temperature, chlorophyll-a, phytoplankton, concentrations of ammonium-nitrogen and soluble reactive phosphorus v) extreme changes in assimilation number, probably due to changes in trophic state of the environment and not the replacement of the phytoplankton community.

Resumo

O estudo do metabolismo dos ecossistemas aquáticos constitui-se num dos principais objetivos da pesquisa limnológica. Nessa vertente, a produtividade primária (PPR) é a base para um estudo detalhado dos mecanismos que controlam a energia transferida durante o ciclo da matéria orgânica. A compreensão da contribuição da comunidade fitoplanctônica para o fluxo de energia é essencial para o manejo dos ecossistemas aquáticos, principalmente através da redução da crescente deposição de nutrientes com conseqüente melhora da qualidade da água. A Lagoa Carioca, escolhida como lago experimental para o presente trabalho, é um ambiente de proporções relativamente pequenas, localizada em área protegida da ação do homem (Parque Estadual do Rio Doce – PERD) e que permite o desenvolvimento de estudos visando a identificação de padrões limnológicos básicos tais como de produtividade primária. O estudo proposto tem como base a análise de medidas mensais da PPR realizadas de outubro/2004 a setembro/2007. Nesse período, a estimativa da PPR foi feita com base na técnica do carbono 14 descrita por Steemann-Nielsen (1952), em uma estação central de amostragem. O estudo teve como objetivos: i) identificar padrões de produção primária anuais, sazonais e diários; ii) correlacionar os resultados de PPR com as demais variáveis bióticas e abióticas monitoradas neste período; iii) obter as taxas de assimilação para o período amostrado e compará-las com valores obtidos em períodos anteriores, evidenciando possíveis mudanças na estrutura da comunidade fitoplanctônica. Os principais resultados foram: i) variação sazonal em diversos parâmetros físico-químicos; caracterização do lago como oligotrófico segundo índice trófico; indicação de limitação por nitrogênio e fósforo. ii) mudanças expressivas na comunidade fitoplanctônica nas últimas décadas, provavelmente relacionadas à introdução de espécies exóticas de peixes. iii) aumento na PPR com taxas que variaram de 0,14 a 1019,5 mgC/m³/h; indicação clara de variação sazonal e entre profundidades; não foi verificada variação entre turnos do dia ou entre anos; iv) correlação da PPR com pH, temperatura, clorofila-a, densidade fitoplanctônica, concentrações de amônio e ortofosfato. v) mudanças extremas nas taxas de assimilação provavelmente decorrentes de mudanças no estado trófico do ambiente e não da substituição da comunidade fitoplanctônica.

Sumário

Lista de Figuras	1
Lista de Tabelas	3
Introdução	4
Objetivos	8
Material e Métodos	9
• Área de Estudo	9
• Amostragens	11
• Variáveis ambientais	11
• Nutrientes	11
• Planctonologia	12
• Carbono inorgânico dissolvido	13
• Produtividade Primária	13
• Tratamento de dados	14
Resultados e Discussão	15
• Caracterização do Ambiente	15
○ Penetração de Luz	15
○ Estrutura térmica da coluna d'água	17
○ Oxigênio Dissolvido	19
○ pH, Alcalinidade e Carbono Inorgânico Dissolvido	20
○ Sólidos totais dissolvidos	24
○ Condutividade	25
○ Redox	26
○ Nutrientes Inorgânicos	30
▪ Fósforo total e fósforo solúvel reativo	31
▪ Nitrogênio total, amônio, nitrato e nitrito	34
▪ Sílica solúvel reativa	38

○ Planctonologia	38
▪ A comunidade fitoplanctônica	39
▪ Densidade fitoplanctônica	42
▪ Clorofila-a	43
● Produtividade Primária	45
○ A busca por padrões de produtividade primária	50
▪ Avaliação entre profundidades	50
▪ Avaliação entre períodos do dia	52
▪ Diferenças entre épocas do ano	55
▪ Diferenças inter anuais	57
○ A busca por correlações	60
○ Variações nas taxas de assimilação	64
Conclusões	67
Referências Bibliográficas	70

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Rio Doce (à esquerda) e da Lagoa Carioca (à direita) nos interior dos limites do primeiro.	10
Figura 2 – Profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi (equivalente a cerca de 10% de luz) em todos os meses amostrados.	15
Figura 3 – Média das profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz na superfície e Zona Afótica nos períodos de seca e de chuva.	16
Figura 4 – Médias das temperaturas nas profundidades médias referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	18
Figura 5 - Médias das concentrações de oxigênio dissolvido (O.D.) nas profundidades médias referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva	18
Figura 6 - Medianas dos valores de pH nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	21
Figura 7 - Medianas dos valores de alcalinidade total nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	22
Figura 8 - Medianas dos valores de Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	23
Figura 9 - Medianas dos valores de sólidos totais dissolvidos (TDS) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	25
Figura 10 - Medianas dos valores de condutividade elétrica nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	26
Figura 11 - Medianas dos valores de potencial de oxidação/redução nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	27
Figura 12 - Medianas das concentrações de Fósforo Total (P-tot) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva	32
Figura 13 - Medianas das concentrações de ortofosfato (PO_4^-) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	33
Figura 14 - Medianas das concentrações de Nitrogênio Total (N-tot) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	34
Figura 15 - Medianas das concentrações de Amônio (NH_4^+) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	36
Figura 16 - Medianas das concentrações de Nitrato (NO_3^{-2}) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.	36
Figura 17 - Medianas das concentrações de Nitrito (NO_2^-) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e	37

chuva.

Figura 18 - Medianas das concentrações de sílica solúvel reativa nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva. 38

Figura 19 – Comparação da estrutura da comunidade fitoplanctônica dos anos de 77/78 (A e B) com a estrutura observada mais recentemente (C e D – médias dos meses de julho e dezembro, respectivamente, dos anos de 2004, 2005 e 2006). 41

Figura 20 - Medianas das densidades fitoplanctônicas nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva. 43

Figura 21 - Medianas das densidades fitoplanctônicas nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva. 45

Figura 22 – Taxas de produtividade primária, expressas em $\text{mgC}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, encontradas no período da manhã nos 36 meses de experimentação em cada uma das profundidades amostradas. 46

Figura 23 – Taxas de produtividade primária por unidade de área do lago, calculadas com base nos valores obtidos em período matutino na lagoa Carioca. 47

Figura 24 – Distribuição vertical das taxas de produtividade primária no lago nos períodos de seca e chuva. 50

Figura 25 – Teste de Kruskal-Wallis que apontou diferenças entre todas as profundidades, umas em relação às outras, com exceção da subsuperfície x 10% de luz. 52

Figura 26 – Medianas das taxas de produtividade nas profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva. 53

Figura 27 – Box Plot do tipo medianas e quartis para os valores de produtividade primária separados entre manhã e tarde não evidenciando diferenças estatísticas entre os dois grupos. 55

Figura 28 – Box Plot do tipo medianas e quartis para os valores de produtividade primária separados entre seca e chuva evidenciando diferenças estatísticas entre os dois grupos. 57

Figura 29 – Medianas para as taxas de PPR integradas para cada ano de experimentos (out04/set05, out05/set06 e out06/set07, respectivamente). 58

Figura 30 – Teste de Kruskal-Wallis que apontou diferenças somente entre as secas do primeiro e segundo ano de experimentação. 60

Figura 31 – Medianas das taxas de assimilação obtidas para os períodos de seca e chuva atuais e taxas medidas por Barbosa (1979). 66

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Medianas das concentrações de nutrientes inorgânicos nas profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva de todos os anos.	29
Tabela 2 - Relações entre nitrogênio total (N), fósforo total (P) e carbono inorgânico dissolvido (C).	30
Tabela 3 – Lista das espécies registradas na Lagoa Carioca por Barbosa, L. (2009) nos anos de 2004, 2005 e 2006 e seus respectivos tamanhos celulares médios.	42
Tabela 4 – Taxas de produção primária fitoplanctônica na lagoa Carioca para períodos de seca e chuva segundo diferentes pesquisadores. (Modificado de Petrucio, 2003).	48
Tabela 5 – Valores obtidos para análise de correlação linear das medidas de produtividade primária (PPR) com as demais variáveis físicas, químicas e biológicas controladas. Em destaque as correlação de interesse para o presente estudo; em amarelo aquelas com valor entre 0,30 e 0,39; em verde entre 0,40 e 0,49; e em azul acima de 0,50.	63

Introdução

A água é um recurso fundamental para a existência da vida, nas formas que a conhecemos. Foi na água que a vida se desenvolveu, e é difícil imaginar a existência de qualquer forma de vida na ausência deste recurso vital. Nosso planeta está inundado d'água; num volume de aproximadamente 1,4 bilhão de Km³ cobrindo c. 71% da superfície da Terra (Barros & Amin, 2008).

A água tem sido um bem de extrema importância para o homem desde a descoberta de que a produção de alimentos dependia da oferta de água usada no cultivo. Posteriormente, a água corrente também passou a ser utilizada na movimentação de máquinas que cortavam madeira, em moinhos de grãos e finalmente em processos industriais. A grande oferta fez da água a substância ideal para ser empregada como solvente universal na limpeza e transporte de praticamente todos os resíduos gerados pelo homem. Dessa forma, em função destas utilidades dentre diversas outras, as cidades foram se estabelecendo e crescendo próximas a cursos d'água (Tundisi, 2003).

No entanto, devido ao consumo excessivo e precariedade no tratamento dos efluentes, especialistas acreditam que dentro de c. 50 anos, no máximo, teremos no mundo uma crise semelhante à do petróleo em 1973, com a disponibilidade de água de boa qualidade (Camargo, 2003). Para tanto, basta mencionar que nos últimos 15 anos a oferta de água limpa disponível para cada habitante do planeta diminuiu quase 40%. Mesmo o Brasil, que conta com c. 12% da água doce disponível no mundo, não deverá escapar desta prevista crise hídrica. No nosso caso, vale ressaltar que mais de 80% de todo o volume de águas superficiais disponíveis no país se encontra na região amazônica. Os 20% restantes estão

distribuídos por todo o país, de maneira pouco uniforme, e destinam a abastecer aproximadamente 95% da população brasileira (Tundisi, 2003).

Do ponto de vista ecológico, a crise prevista é apenas um dos vários desdobramentos negativos decorrentes do mau uso e conservação dos ambientes aquáticos. A introdução de espécies exóticas também traz perda de qualidade de água sob a perspectiva biológica, pois, junto à destruição de habitats e superexploração dos recursos naturais, é uma das maiores causas de perda de biodiversidade (Di Castri, 1996, Sala et al., 2000). Cerca de 40% das extinções documentadas de organismos aquáticos foram causadas por impactos de espécies introduzidas. Isso porque os organismos num dado ambiente estão ligados através de diversas relações ecológicas fortes, e a introdução de uma única espécie repercute em diversos níveis organizacionais, se não em toda a comunidade (Delariva & Agostinho, 1999).

Ainda, considerando a importância da água e problemas relacionados à mesma, outro ponto que merece destaque em função da relevância que o tema tem adquirido nos últimos tempos é o aquecimento global e seus desdobramentos nos ecossistemas aquáticos. O aquecimento global é um fenômeno climático de larga extensão - um aumento da temperatura média global que vem acontecendo nos últimos 150 anos. Tal fenômeno é encarado por grande parte da comunidade científica como uma resposta ao acentuado efeito estufa, que tem se intensificado em função da maior liberação de gases retentores de calor, sendo o de maior expressão o dióxido de carbono (CO₂) (Dias-Filho, 2006). Dentro dos ecossistemas aquáticos, o aquecimento global adquire mais expressividade, pois

tais ambientes têm grande potencial para modificar as concentrações de CO₂ atmosférico através de processos fotossintéticos.

Dessa forma, a compreensão do papel dos organismos autotróficos no ciclo global do carbono tem se tornando indiscutivelmente mais importante do que nunca, e a questão de medir a produtividade primária desses organismos é crítica na determinação da relevância dos mesmos e de tais ambientes no ciclo do carbono (Beardall et al., 2009). Segundo Crowder et al. (1988), o entendimento das interações que ocorrem nos ecossistemas de água doce e seus efeitos no fluxo de energia e estrutura das comunidades também é essencial para o manejo desses sistemas, seja para reduzir a crescente deposição de nutrientes ou melhorar a qualidade da água. Nesse contexto, este trabalho procura acrescentar, focando os estudos e discussão no processo de produção primária e nas demais variáveis relacionadas a este.

A produção primária de um ecossistema aquático pode ser definida como o processo realizado por todos os organismos capazes de sintetizar matéria orgânica, a partir de gás carbônico, sais minerais, e energia solar (Esteves, 1998). Associada a fatores ambientais, a produtividade primária se torna a base de um estudo detalhado sobre os mecanismos que controlam a energia transferida durante o ciclo do carbono (Barbosa. & Tundisi, 1980).

As oscilações nos diversos parâmetros limnológicos definem as características de um corpo d'água, e interferem por sua vez na capacidade de produção do plâncton. Assim, a identificação e acompanhamento dos padrões limnológicos e suas variações nas diferentes escalas de tempo (diurnas, sazonais, anuais, inter anuais) são premissas essenciais na caracterização dos corpos

d'água, pois são determinantes nos processos biológicos e bioquímicos que ali se desenvolvem (Barbosa, 1981). Ainda, as ações realizadas pelo próprio homem, decorrentes do crescente aumento da população, da industrialização e do uso desordenado de fertilizantes químicos na agricultura contribuem como um dos grandes elementos desencadeadores do processo de eutrofização. Como resultado direto deste processo, a produtividade primária do sistema em questão é frequentemente alterada, resultando em alteração do fluxo de energia, da circulação de materiais e principalmente da estrutura de suas redes tróficas (Wetzel, 1975).

Objetivos:

O estudo objetivou identificar e descrever padrões de produtividade primária em diferentes escalas temporais (diurnas, sazonais e anuais), além de comparar suas variações com dados da literatura. Além disso, a partir dos valores de produtividade e concentrações de clorofila-a, estimativas das taxas de assimilação foram calculadas, as quais podem refletir mudanças na comunidade fitoplanctônica quando comparadas com valores do passado.

Especificamente, o trabalho pretendeu:

- 1- Mensurar mensalmente a produtividade primária fitoplanctônica no período de outubro de 2004 a setembro de 2007;
- 2- Descrever padrões de produtividade primária em escalas diárias, sazonais e anuais;
- 3- Correlacionar os resultados observados para PPR com as demais variáveis bióticas e abióticas monitoradas neste período;
- 4- Analisar a estrutura da comunidade fitoplanctônica, em grandes grupos, e comparar os resultados atuais com registros anteriores;
- 5- Estimar as taxas de assimilação da comunidade fitoplanctônica para todo o período amostrado e compará-las com valores registrados anteriormente.

Material e métodos:

Área de estudo

Segundo Petrucio e Barbosa (2004), o trecho médio da bacia do médio Rio Doce, no estado de Minas Gerais, compreende a maior porção de Mata Atlântica contínua do estado, a qual é protegida como reserva estadual, constituindo o Parque Estadual do Rio Doce – PERD (19°29'24" - 19°48'18"S; 42°28'18" - 42°38'30"O). A reserva tem c. 36.000 ha, sendo que aproximadamente 9,8% dessa área é ocupada por c. de 50 lagos pertencentes ao sistema de lagos do médio Rio Doce. A região, com altitude variando de 340 a 680 metros, é ocupada por áreas de pastagem, indústria metalúrgica além de vastas áreas com cultivo de *Eucalyptus* spp, promovendo impactos significativos no sistema lacustre (Brito *et al.* 1997).

A Lagoa Carioca, dentre outros lagos estudados no âmbito do projeto PELD/UFMG (Pesquisas Ecológicas de Longa Duração), foi escolhida como lago experimental para o desenvolvimento do presente trabalho por ser um ambiente familiar à nossa equipe de pesquisa com amplos registros acerca da mesma. Em linhas gerais, este ecossistema pode ser brevemente descrito como uma lagoa pequena (13,2ha), rasa (11,8m de profundidade máxima), com volume de 365.352,6m³ e classificada como oligo-mesotrófica (Barbosa & Tundisi, 1980). É uma lagoa fechada à visitação e seu entorno é todo coberto por Mata Atlântica. Neste ambiente, os estudos foram conduzidos em um único ponto, sendo este uma estação central que marca a porção mais profunda do lago (Figura 1).



Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Rio Doce (à esquerda) e da Lagoa Carioca (à direita) nos interiores dos limites do primeiro.

Amostragens

A presente dissertação foi desenvolvida utilizando dados coletados mensalmente no período de outubro de 2004 a setembro de 2007 numa estação central da lagoa Carioca – PERD. Até dezembro de 2005 foram realizadas incubações em dois períodos do dia, manhã e tarde. A partir de janeiro de 2006 foi realizada apenas uma incubação por mês, sendo esta no período matutino. As amostragens foram feitas em quatro profundidades correspondentes a 100%, 10%, 1% da luz incidente na superfície do lago e na zona afótica, profundidades estas determinadas a partir da profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi, assumida como 10% daquela incidente na superfície.

Variáveis ambientais

Com auxílio de uma multi-sonda Horiba U-22, foram medidas *in situ* as seguintes variáveis: temperatura da água (°C), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido (mgO_2/L), potencial de oxi-redução (mV) e sólidos totais dissolvidos (TDS – mg/L).

Nutrientes

Amostras de água para análise de nutrientes foram coletadas com galões de polietileno com capacidade de 5 litros. No laboratório de campo do PERD a água foi filtrada (em duplicata) em filtros de fibra de vidro (Schleicher & Schuell GF-C 52) para posterior determinação das concentrações de clorofila-a e nutrientes dissolvidos (amônia, nitrito, nitrato, fósforo solúvel reativo e sílica solúvel reativa). O filtrado foi armazenado em frascos de polietileno (500 mL) etiquetados. As

amostras para análises de nutrientes totais foram armazenadas em frascos de polietileno (1000 mL) etiquetados. Todas as amostras, incluindo os filtros, foram congeladas para o transporte e posterior análise.

Os valores de alcalinidade total foram obtidos, ainda no laboratório de campo, a partir da titulação potenciométrica até pH final 4,35, de acordo com Mackereth et al. (1978). A clorofila-a foi obtida após filtração em filtros GF-C e extração com acetona 90%, conforme Lorenzen (1967). As concentrações de nitrogênio total, nitrato, nitrito e sílica solúvel reativa foram obtidas segundo os métodos descritos em Mackereth et al. (1978); aquelas de amônia segundo o método proposto por Koroleff (1976) e as de fósforo total e fósforo solúvel reativo, conforme descrito em Golterman et al. (1978).

Planctonologia

Os dados recentes (anos de 2004, 2005 e 2006) referentes à estrutura da comunidade fitoplanctônica bem como informações sobre as dimensões médias de cada espécie foram obtidos a partir da tese de doutorado de Barbosa, L.G. (2009). Já os registros anteriores foram obtidos na dissertação de mestrado de Barbosa, F.A.R. (1979).

Carbono inorgânico dissolvido (CID)

O cálculo do total de carbono inorgânico é essencial neste trabalho, pois a partir desse valor é que estabelecemos as taxas de produtividade primária. Sabendo-se a taxa de assimilação do isótopo radioativo (carbono 14), é possível estimar a taxa de assimilação do carbono “natural” (carbono 12) numa regra de três simples, acrescida de fatores de correção. Daí a importância da estimativa do carbono inorgânico total presente no meio.

As concentrações do CID foram determinadas conforme estabelecido por Mackereth *et al.* (1978). Segundo esse autor, através de uma série de cálculos envolvendo pH, temperatura, alcalinidade e condutividade da água *in situ*, podemos obter os valores de CID indiretamente.

Produtividade Primária

A estimativa da produtividade primária fitoplanctônica foi feita segundo a metodologia descrita por Vollenweider (1969), com modificações introduzidas por Teixeira (1973). Para tanto, amostras de uma mesma profundidade foram colocadas em três frascos de vidro de 70ml (inicial-T0, claro e escuro). Foi então inoculado 1 ml de solução de $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ com atividade específica de $1\mu\text{Ci/ml}$ em cada frasco. A princípio, o frasco inicial (T0) foi fixado com 1ml de formol P.A. Os demais frascos (claro e escuro) foram incubados na profundidade de origem das amostras por um período de 3 a 4 horas. Terminada a incubação, tais frascos foram fixados com a mesma dosagem de formol. Ainda no laboratório de campo, subamostras de 25 ml foram filtradas a vácuo em filtros Milipore de $0,45\mu\text{m}$ e 25mm de diâmetro.

Já em laboratório, os filtros foram transferidos para vials de 20 ml contendo 10 ml de coquetel cintilador Bray (Bray, 1960) e tiveram sua atividade medida em cintilador líquido (Packard, Tri-carb 2100TR) expressa em desintegrações por minuto (dpm) a partir das quais os resultados foram expressos em mgC/m³.hora ou em mgC/m².hora, dependendo da análise desejada, conforme os cálculos descritos por Steemann-Nielsen (1952).

Tratamento dos Dados

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos Softwares BioEstat. 5.0 e PAST. Como os dados não apresentaram distribuição normal, foram utilizados testes não paramétricos (Mann-Whitney U Test e Kruskal-Wallis). Foram realizadas correlações lineares simples. Os gráficos foram desenvolvidos com auxílio dos Softwares BioEstat. 5.0, PAST e Microsoft Excel 2007.

Resultados e Discussão:

1. Caracterização do Ambiente

1.1. Penetração de luz

A figura 2 mostra a profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi nos meses amostrados. Em tal profundidade, segundo Esteves (1998), estima-se que a intensidade luminosa é de c. 10% daquela incidente na superfície. Multiplicando-se esse valor por 2,7, obtém-se a profundidade que corresponde à intensidade luminosa de c. 1% da incidente na superfície e que representa o “ponto de compensação”, ou seja, a profundidade que delimita a extensão da zona fótica e na qual o processo fotossintético se equivale ao processo respiratório. No presente trabalho, por motivos de praticidade em campo, o cálculo foi feito multiplicando-se a profundidade determinada através do disco de Secchi por 3. Toda a região abaixo do ponto de compensação é dita a Zona Afótica.

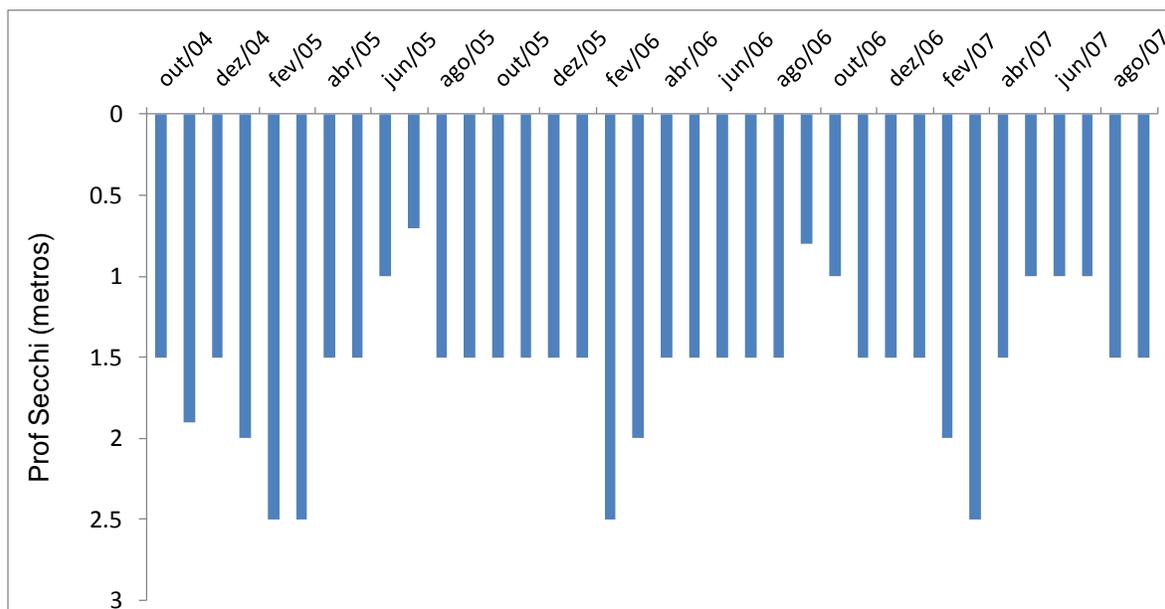


Figura 2 – Profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi (equivalente a cerca de 10% de luz) em todos os meses amostrados.

Na lagoa Carioca, os períodos de seca apresentaram menor transparência da água e por consequência menor profundidade determinada pelo disco de Secchi (Figura 3). A média obtida para esta estação foi de 1,3 metros, enquanto a média obtida em períodos chuvosos foi de 1,8 metros. Durante os três anos de experimento, as maiores profundidades correspondentes a 10% de intensidade luminosa foram obtidas nos meses de fevereiro e março, com valores em torno de 2,5 metros. Já os menores valores foram obtidos nos meses de junho e julho de 2005 e 2007, e agosto e setembro de 2006, com valores abaixo ou próximos a 1 metro.

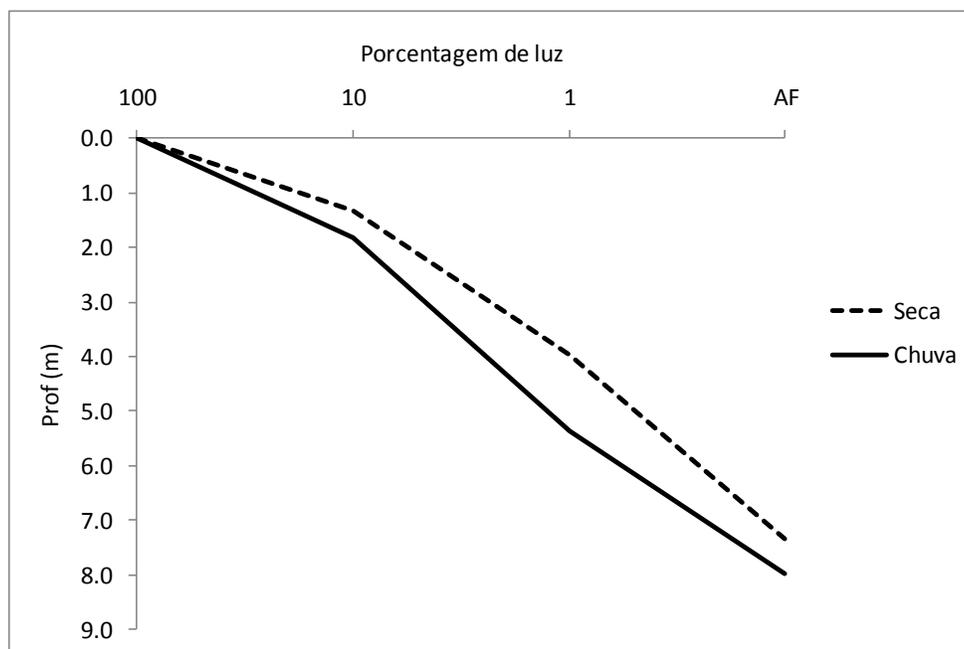


Figura 3 – Média das profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz na superfície e Zona Afótica nos períodos de seca e de chuva.

A maior transparência da água no período chuvoso provavelmente está relacionada ao estado estratificado do sistema nessa estação. Inversamente, durante a estação seca, ocorre a circulação do lago com conseqüente desestratificação do mesmo. Neste momento, com movimentação das águas mais profundas, há levantamento de partículas em toda a coluna d'água, e tais partículas atuam atenuando a penetração de luz uma vez que promovem sua dissipação.

1.2. Estrutura térmica da coluna d'água

A figura 4 mostra os perfis de temperatura, feitos com as médias de todos os meses amostrados, nos períodos de seca e chuva. A estrutura térmica da coluna d'água no período chuvoso caracteriza uma estratificação física do lago, já no período de seca, embora exista uma diferença de temperatura entre subsuperfície e zona afótica, o lago não apresenta estratificação.

No período chuvoso, a temperatura da subsuperfície foi em média 29,9 °C, enquanto no período de seca, a temperatura na mesma camada, foi em média 24,7° C. Considerando estes períodos, observa-se uma discrepância de todos os valores encontrados na zona fótica (subsuperfície, profundidade do Secchi e ponto de compensação), no entanto, já na zona afótica os valores se aproximam.

Comparando com os resultados obtidos por Barbosa (1979), podemos evidenciar um possível efeito do aquecimento global. A temperatura média obtida na seca de 1977 foi de 23,6 °C, cerca de 1,1 °C a menos que o resultado atual; no período chuvoso de 1978 a média foi de 29,7 °C, cerca de 0,2 °C menor.

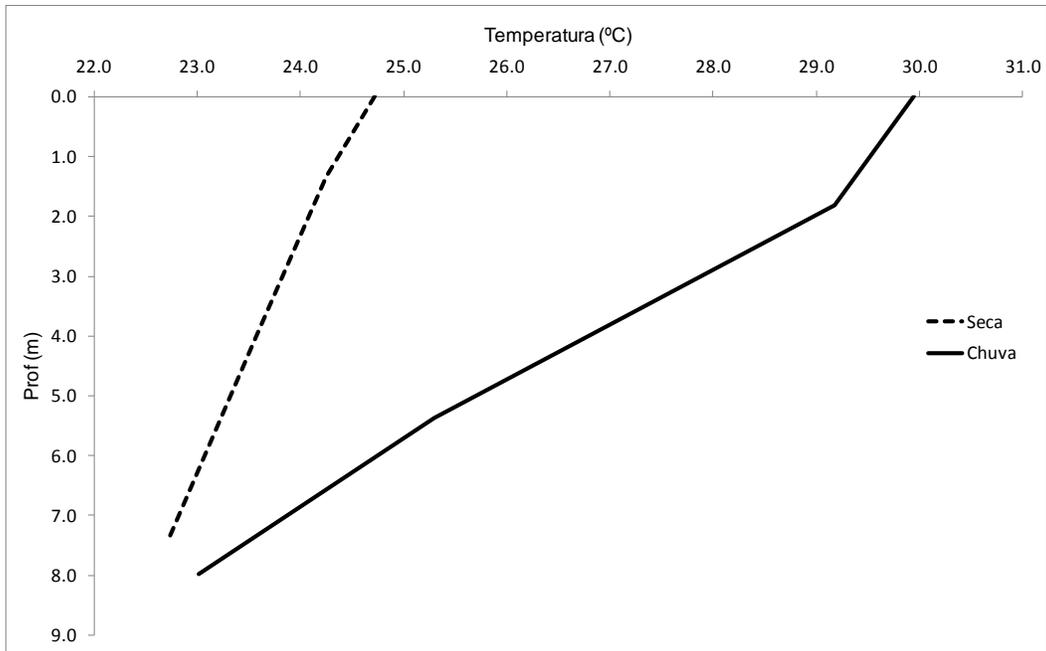


Figura 4 – Médias das temperaturas nas profundidades médias referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

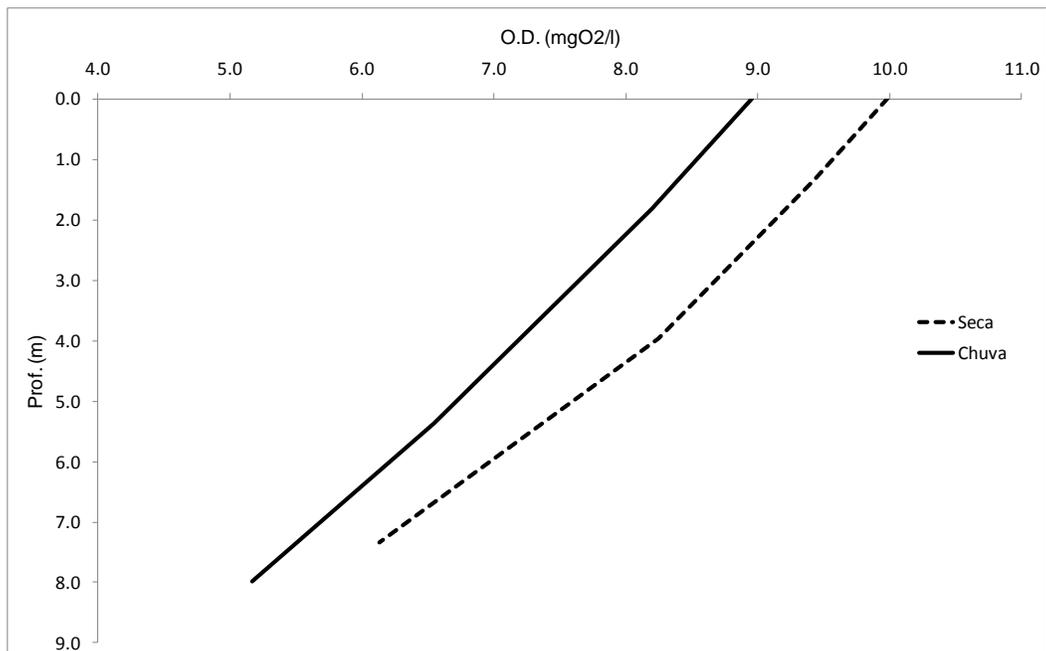


Figura 5 - Médias das concentrações de oxigênio dissolvido (O.D.) nas profundidades médias referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

1.3. Oxigênio Dissolvido

Na figura 5, encontramos os perfis de oxigênio dissolvido para os períodos de seca e chuva na lagoa Carioca. Observa-se que o sistema em geral se mostrou relativamente bem oxigenado, em especial no período de seca. O oxigênio dissolvido é um parâmetro físico-químico diretamente relacionado à temperatura, isto porque esta última influencia na dinâmica dos gases e, portanto, na dissolução do oxigênio na água. Assim, nos períodos de seca, que na nossa região de estudo coincidem com o inverno, temos maiores concentrações de oxigênio dissolvido que nos períodos chuvosos, que coincidem com o verão.

Durante a seca, os valores médios foram 10 mgO₂/L para a subsuperfície, 9,4 mgO₂/L na profundidade do Secchi, 8,2 mgO₂/L no ponto de compensação e 6,1 mgO₂/L na zona afótica. Já na época de chuva os valores para as mesmas profundidades foram, respectivamente, 9,0 mgO₂/L, 8,2 mgO₂/L, 6,5 mgO₂/L e 5,2 mgO₂/L.

Barbosa (1979) obteve para as profundidades equivalentes às supracitadas, em termos de penetração de luz, respectivamente, os seguintes valores no período de seca: 6,59 mgO₂/L, 6,6 mgO₂/L, 6,79 mgO₂/L e 6,63 mgO₂/L; na chuva obteve, na mesma sequência: 5,6 mgO₂/L, 8,2 mgO₂/L, 3,7 mgO₂/L e 0 mgO₂/L. Dessa forma, aparentemente, o sistema parece estar mais oxigenado atualmente que há 30 anos atrás. Segundo Thomaz et al. (1992), existe uma relação entre o aumento na produção primária de um sistema e as maiores taxas de oxigênio dissolvido. Dessa forma, o aumento observado na lagoa

Carioca pode ser encarado como uma consequência do aumento da produtividade primária descrito adiante.

1.4. pH, Alcalinidade e Carbono Inorgânico Dissolvido

A descrição em conjunto dos resultados de pH, alcalinidade e carbono inorgânico dissolvido (CID) é conveniente, uma vez que todos estes parâmetros estão intimamente relacionados.

A figura 6 mostra as variações do pH ao longo da coluna d'água nos períodos de seca e chuva. A lagoa Carioca se mostrou, numa análise global, levemente ácida, com valores medianos de pH variando de 5,3 a 6,4 dependendo da profundidade e período do ano. Durante todo o ano, a variação vertical do pH foi suave, no entanto, sempre tendendo a maiores valores no fundo da lagoa. Nos períodos de seca, os valores de pH foram, em geral, menores e de menor variação, as medianas obtidas para cada profundidade ficaram em torno de 5,3 e 5,8; nos períodos de chuva, os valores foram de 5,5 até 6,4.

Comparando com os valores encontrados por Barbosa (1979), constata-se queda das medidas de pH, em especial no período chuvoso onde o pH variou de 6,50 a 7,22; no mês de seca Barbosa registrou números que foram de 5,5 a 5,9. Conforme apresentado por Cole *et al.* (1994), diferentes pressões de CO₂ acarretam em mudanças nos valores de pH, sendo possível fazer o caminho inverso e obter a pCO₂ a partir de cálculos envolvendo pH dentre outras variáveis. Assim, uma possibilidade para explicar as mudanças observadas no pH seria o aumento da pCO₂ acarretando em menores valores em função da maior dissolução de gás carbônico no sistema. Tal explicação é ainda mais razoável

levando em consideração que, como será apresentado a seguir, houve um aumento nas concentrações de carbono inorgânico dissolvido, sem que tenha havido mudanças expressivas nas taxas de alcalinidade. Dessa forma, o aumento na $p\text{CO}_2$, embora não tenha sido testado, explicaria as mudanças discutidas.

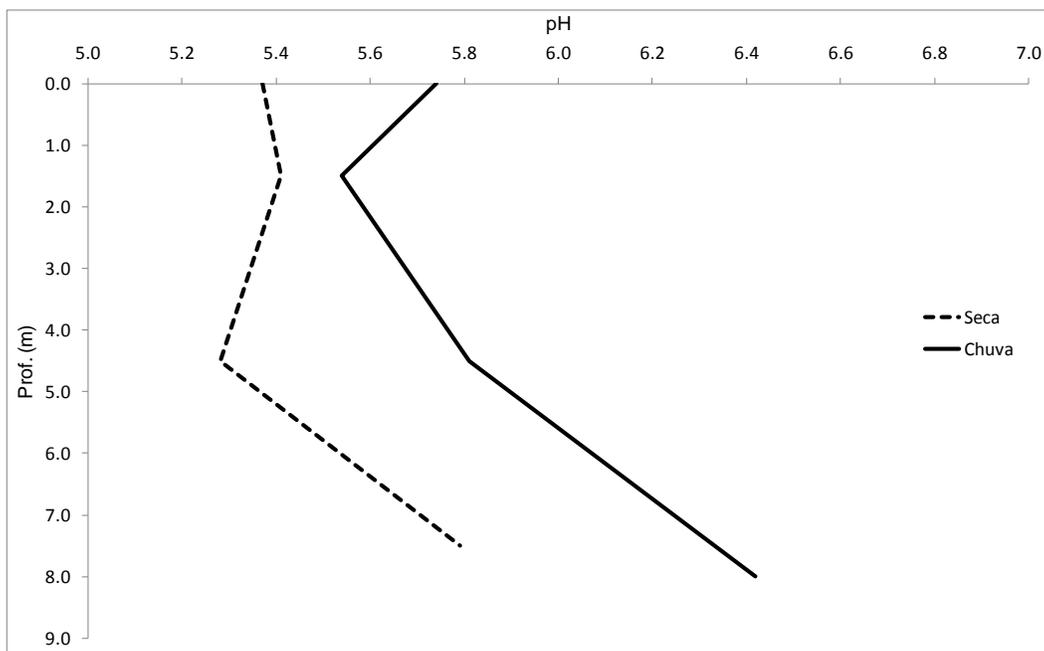


Figura 6 - Medianas dos valores de pH nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

As medidas de alcalinidade são resumidas na figura 7. Semelhantemente aos resultados de Barbosa (1979), os valores variaram pouco, girando todos, independente da estação ou profundidade, em torno de $0,2 \text{ meqCO}_2/\text{L}$, salvo os valores referentes a zona afótica dos períodos chuvosos, em que a mediana foi de $0,55 \text{ meqCO}_2/\text{L}$. A diferença desse grupo de dados pode estar relacionada a intensa atividade bacteriana no hipólímnio, devido à entrada e sedimentação de

material alóctone nesta zona do lago, que poderiam levar a alterações no sistema CO_2 .

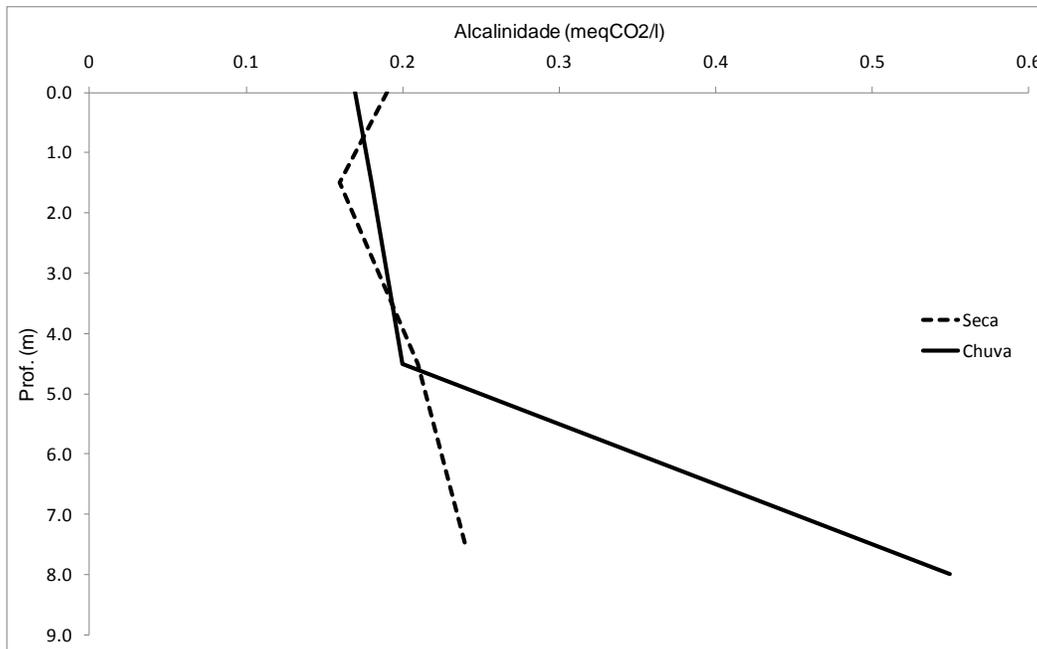


Figura 7 - Medianas dos valores de alcalinidade total nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

Os valores de CID estão representados na figura 8. Nesta, evidencia-se que na seca as taxas de CID são maiores que aquelas observadas durante as chuvas, com exceção da zona afótica. O incremento de CID no período de seca provavelmente se deve à disponibilização (metabolização) do material alóctone carregado para dentro do sistema durante o período chuvoso, bem como à circulação do lago que distribui o CID estocado no hipolímnio para as camadas superiores da coluna d'água. (Dillon & Molot, 1997) Os maiores valores encontrados na zona afótica em períodos chuvosos podem ser vistos como

reflexos dos maiores valores de alcalinidade observados nesse mesmo conjunto de dados (ver figura 7); por sua vez, tais valores de alcalinidade provavelmente estão relacionados aos maiores valores de pH comuns a zona afótica neste período (ver figura 6).

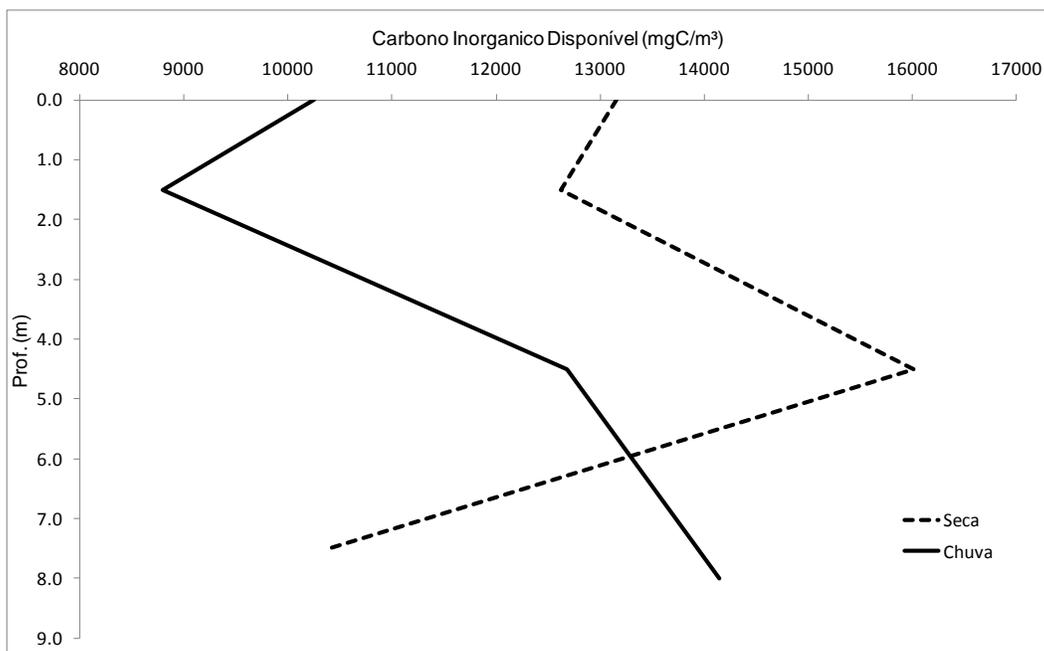


Figura 8 - Medianas dos valores de Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

Em termos de medianas, os valores de CID variaram de 10388,7 mgC/m³ (zona afótica) a 16015,6 (ponto de compensação) durante o período de seca, e de 8795,3 mgC/m³ (profundidade do disco de Secchi) a 14150,5 mgC/m³ (zona afótica) durante o período de chuvas. Em relação aos dados de Barbosa (1979), houve um grande incremento nas taxas de CID, onde na seca, estas variaram de 7090,91 mgC/m³ a 14901,82 mgC/m³, e de 2784,55 mgC/m³ a 11580 mgC/m³, na

chuva. Tal aumento nas taxas de CID observado nos últimos 30 anos pode estar relacionado a diversos fatores, dentre eles um reflexo do aumento observado para os valores de pH, uma mudança na contribuição alóctone recebida pelo sistema e/ou uma consequência das maiores taxas de CO₂ na atmosfera (conforme explicado nos parágrafos anteriores).

1.5. Sólidos totais dissolvidos

A figura 9 ilustra a distribuição dos sólidos totais dissolvidos (TDS) na coluna d'água nas estações de seca e chuva. Observa-se que, em ambas as estações, as taxas obtidas para as camadas superiores do lago são semelhantes (mediana de 20mg/L) e inferiores àquelas observadas nas zonas mais profundas. Nestas últimas, sempre foram observados os maiores valores, sendo a mediana de 60mg/L no período chuvoso e de 25mg/L no período de seca.

Os maiores valores observados no fundo do lago provavelmente se devem à proximidade dos sedimentos ricos em nutrientes, que podem ser facilmente disponibilizados graças às condições redutoras características dessa região. No período chuvoso, os valores da zona afótica foram ainda maiores quando comparados aos valores obtidos na seca. Tal ocorrência pode ser justificada pela menor disponibilidade de oxigênio durante a estação das chuvas e pela entrada de material no sistema.

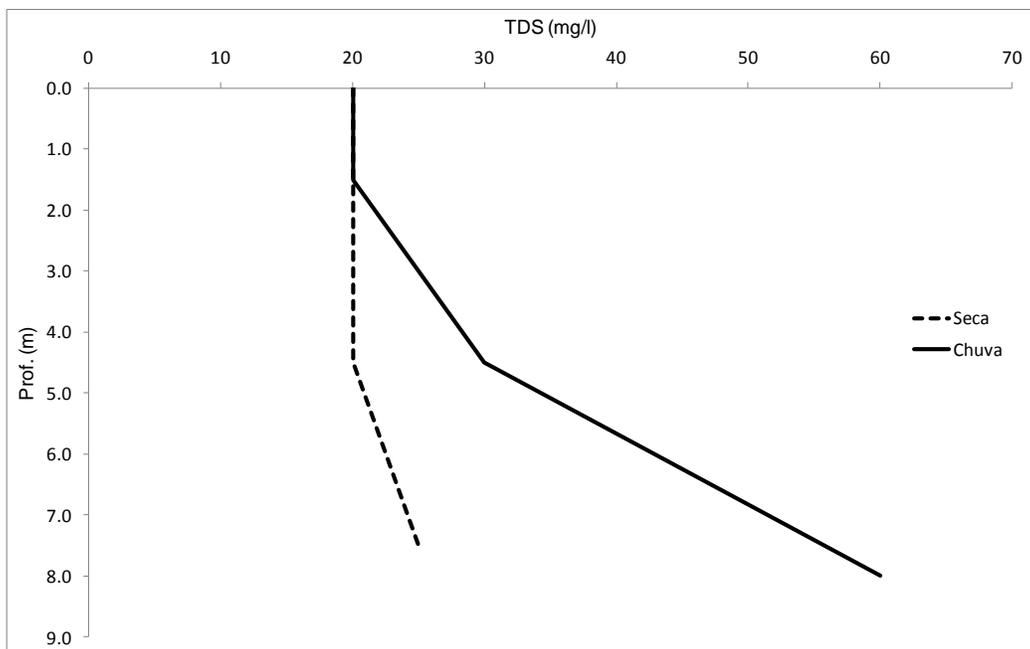


Figura 9 - Medianas dos valores de sólidos totais dissolvidos (TDS) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

1.6. Condutividade

Os valores para condutividade, assim como os de TDS, foram mais discretos nas camadas superiores em relação às camadas mais profundas do lago (figura 10). No período chuvoso, a diferença entre os valores de superfície e fundo lago ($31\mu\text{S}/\text{cm}$ a $49,5\mu\text{S}/\text{cm}$) foi maior que aquela observada na seca ($28\mu\text{S}/\text{cm}$ a $95\mu\text{S}/\text{cm}$). Os fatores que determinam o comportamento deste parâmetro são os mesmo levantados durante a descrição do TDS, uma vez que ambos os parâmetros remetem a substâncias dissolvidas na água.

Barbosa (1979) encontrou, durante seus experimentos, valores que variaram de $21,6\mu\text{S}/\text{cm}$ a $64,4\mu\text{S}/\text{cm}$ na chuva e $26\mu\text{S}/\text{cm}$ a $26,5\mu\text{S}/\text{cm}$ na seca. O aumento

observado para os valores de condutividade através dos anos indica incremento de substâncias dissolvidas na forma de íons. No entanto, observa-se que os principais componentes inorgânicos ionizados (nitrato, nitrito, amônio e ortofosfato) não sofreram grandes alterações, ficando a alteração da condutividade a cargo de outros íons, provavelmente moléculas maiores e mais complexas.

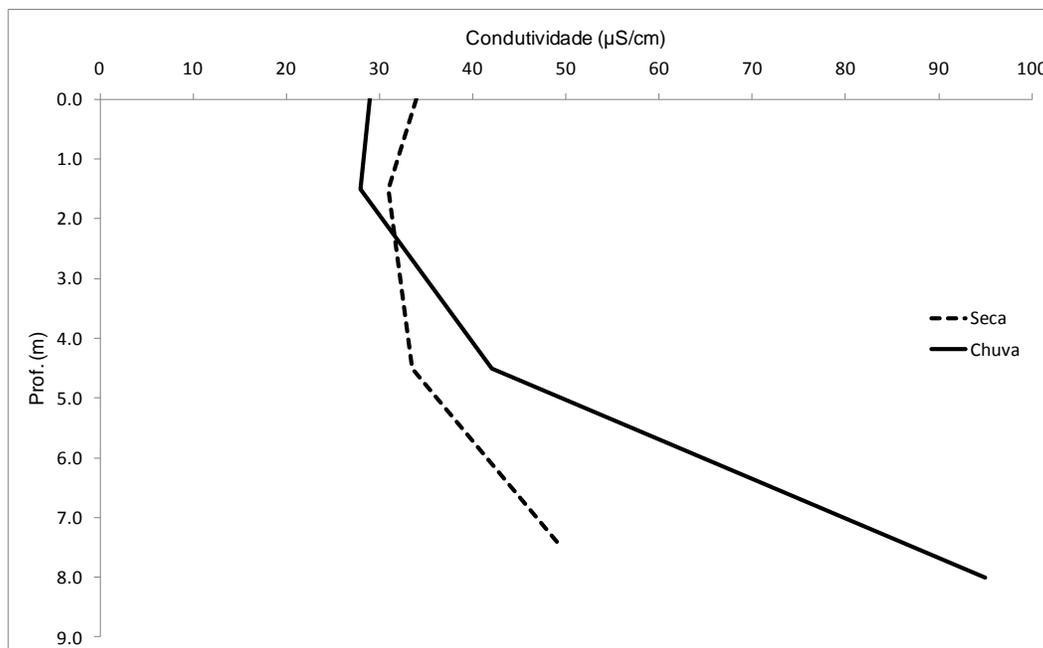


Figura 10 - Medianas dos valores de condutividade elétrica nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

1.7. Redox

Uma descrição resumida dos valores do potencial Redox ao longo da coluna d'água nas estações de seca e chuva é exibida na figura 11. Observa-se que o potencial Redox decai conforme aumenta a profundidade em ambas as estações, sendo esta queda mais expressiva no período chuvoso. Durante a estação seca a

mediana do potencial redox variou de 178mV (subsuperfície) a 13,8mV (zona afótica); na estação chuvosa a mediana foi de 180mV (superfície) até -118mV (zona afótica), sendo que os resultados se tornam negativos a partir de 4,5 metros de profundidade.

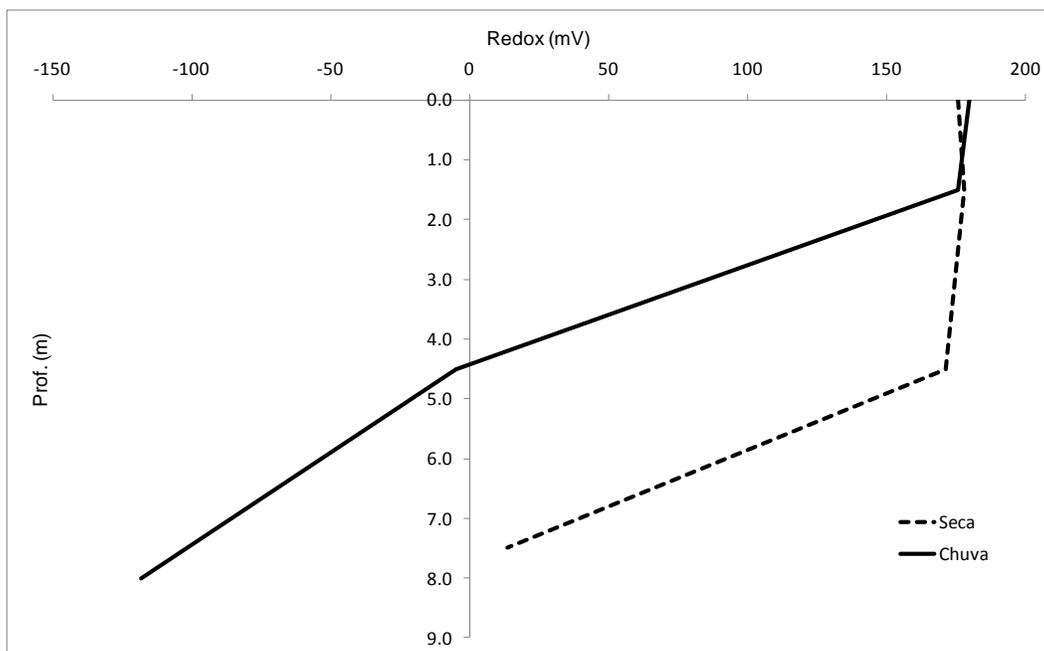


Figura 11 - Medianas dos valores de potencial de oxidação/redução nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

O potencial Redox representa a espontaneidade, ou a tendência, de uma espécie química adquirir elétrons e, desse modo, ser reduzido. Dessa forma, em termos ecológicos o potencial redox remete diretamente à fotossíntese que é o principal processo bioquímico envolvido neste trabalho. Assim, tem-se que quanto maior o potencial Redox, maior o potencial fotossintético, e que em casos de valores negativos não há realização de fotossíntese. No caso da lagoa Carioca,

pode-se observar então que o potencial fotossintético no período de seca foi maior, pois mostrou-se positivo em quase toda a coluna d'água; já em período chuvoso, o potencial fotossintético se resume aos primeiros metros da coluna d'água e se extingue por volta dos 4 metros de profundidade. Esta ocorrência é relevante, pois dá suporte às observações feitas adiante acerca das taxas de produção primária.

Tabela 1 – Medianas das concentrações de nutrientes inorgânicos nas profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva de todos os anos.

	Prof.(m)	P-tot µg/L	PO₄⁻³ µg/L	N-tot µg/L	NH₄⁺ µg/L	NO₃⁻² µg/L	NO₂⁻ µg/L	Silicato mg/L
Medianas Secas	0,0	17,4	3,0	475,9	67,0	10,6	1,7	1,1
	1,5	19,1	3,2	468,3	70,1	12,2	1,6	1,3
	4,5	23,4	2,5	393,5	109,1	11,1	1,6	1,2
	7,5	26,3	2,1	652,9	160,8	10,0	1,7	1,0
Medianas Chuvas	0,0	14,5	2,1	280,4	11,2	4,1	1,3	1,4
	1,5	17,2	3,4	355,4	13,9	3,8	1,3	1,3
	4,5	29,8	3,7	890,4	26,4	4,6	1,6	1,2
	8,0	28,7	6,2	1281,0	630,0	6,6	5,2	1,1

1.8. Nutrientes inorgânicos

A tabela 1 resume, através da apresentação das medianas, todos os resultados obtidos para os nutrientes inorgânicos mensurados durante todo o período da amostragem.

As relações entre os principais nutrientes (carbono, nitrogênio e fósforo) são exibidas na tabela 2. De acordo com Vollenweider (1983), em Salas & Martino (1991), a relação nitrogênio total/fósforo total (N/P) pode indicar o nutriente limitante de um sistema aquático, sendo as relações menores que 9, características de ambientes limitados por nitrogênio, e as maiores, típicas de ambientes limitados por fósforo. Assim, segundo essa relação, a Lagoa Carioca é considerada como limitada por fósforo em todas as profundidades e em ambas as estações.

Tabela 2 - Relações entre nitrogênio total (N), fósforo total (P) e carbono inorgânico dissolvido (C).

	Relações entre Nutrientes			
	Prof	N/P	C/N	C/P
Seca	100%	29.1	34.2	1368.9
	10%	30.4	30.1	921.8
	1%	23.0	41.6	830.8
	AF	30.8	24.3	411.5
Chuva	100%	22.2	27.3	756.4
	10%	23.2	44.0	483.9
	1%	27.4	12.0	360.6
	AF	45.1	11.1	493.0

No entanto, de acordo com Healey & Hendzel (1979) e Guildford & Hecky (2000), em Stenuite et al, (2007), a limitação por fósforo é encontrada em situações onde a relação carbono/fósforo (C/P) é maior que 130 ou quando a relação N/P excede a 22; já a limitação por nitrogênio tem lugar quando a relação carbono/nitrogênio (C/N) é maior que 8,3 ou quando a relação N/P é inferior a 22. Dessa forma, conforme tais autores e as relações C/P e C/N, na Lagoa Carioca ocorre limitação por ambos os nutrientes (fósforo e nitrogênio). A relação N/P também não excede muito a 22, em especial nas zonas superiores do lago no período chuvoso e no ponto de compensação durante o período de seca, mostrando a equivalência relativa entre tais nutrientes. A limitação por ambos os nutrientes parece mais sensata, pois, como será trabalhado adiante, observa-se uma forte relação de dependência da PPR com ambos os nutrientes.

1.8.1. Fósforo total e fósforo solúvel reativo

Os valores medianos referente às concentrações de fósforo total para os períodos de seca e chuva são mostrados na figura 12. Em ambas as estações, as concentrações de fósforo total aumentaram em direção ao hipolímnio, provavelmente em função da decantação e estoque de matéria orgânica em região próxima aos sedimentos. No período de seca as concentrações variaram entre 17,4 µg/L a 26,3 µg/L; no período chuvoso entre 14,5 µg/L a 29,8 µg/L. Os resultados obtidos por Barbosa (1979) variaram de 0,0 µg/L a 38,6 µg/L na seca e de 0,0 µg/L a 4,6 µg/L na chuva. O aumento observado em períodos chuvosos pode ser avaliado como um indício do processo de eutrofização natural que acomete os sistemas lênticos (Esteves 1998).

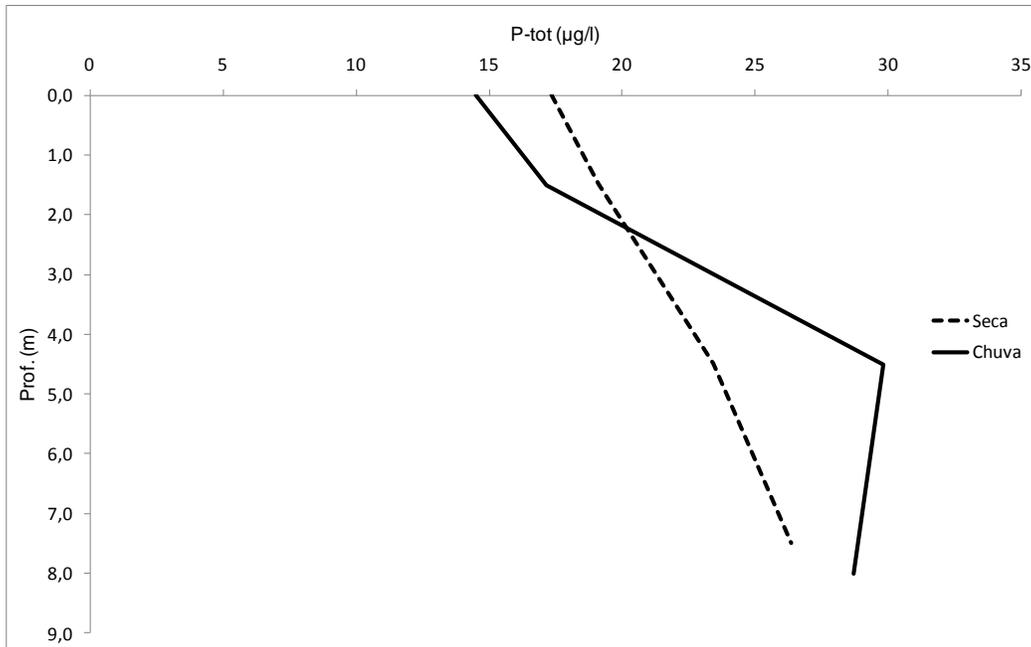


Figura 12 - Medianas das concentrações de Fósforo Total (P-tot) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

De acordo com Salas e Martino (1991), através da média geométrica das concentrações de fósforo total, é possível determinar o estado trófico de um sistema conforme os seguintes limites: 21,3 a 39,6 µg/L = oligotrófico; 39,6 a 118,7 µg/L = mesotrófico e acima de 118,7 = eutrófico. Dessa forma, classifica-se a Lagoa Carioca como um sistema oligotrófico em ambas as estações, uma vez que a média geométrica foi igual a 22,37 µg/L durante a seca e 22,96 µg/L durante a chuva.

As concentrações de ortofosfato apresentaram comportamento contrário quando comparados os perfis estabelecidos nos períodos de seca e chuva (figura 13). Durante a seca as concentrações de ortofosfato decaíram com a

profundidade, estando as medianas entre 2,1 $\mu\text{g/L}$ e 3,2 $\mu\text{g/L}$; já na estação chuvosa as concentrações aumentaram com a profundidade, com medianas variando de 2,1 $\mu\text{g/L}$ a 6,2 $\mu\text{g/L}$. O aumento observado ao longo da coluna d'água durante o período de chuvas se explica pela queda das concentrações de oxigênio dissolvido no mesmo sentido. A diminuição do oxigênio dissolvido na água favorece condições redutoras que culminam por disponibilizar o ortofosfato estocado no sedimento para a coluna d'água; assim, em condições de baixa oxigenação, quanto mais próximo dos sedimentos, maiores as concentrações de ortofosfato (Esteves, 1998).

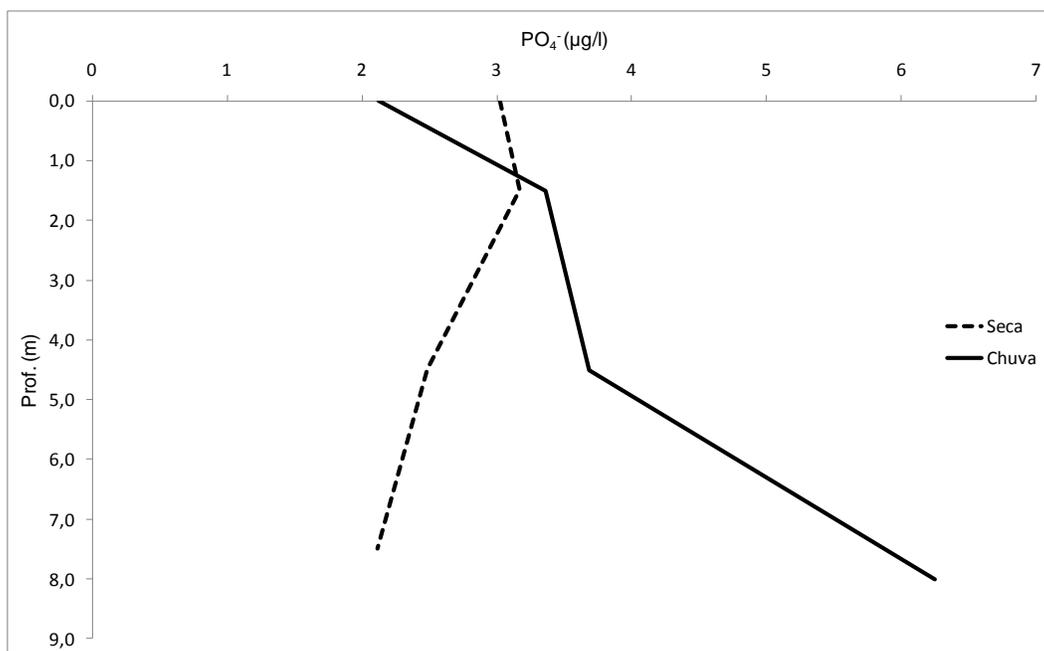


Figura 13 - Medianas das concentrações de ortofosfato (PO_4^-) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

1.8.2. Nitrogênio total, amônio, nitrato e nitrito

A figura 14 mostra os perfis de nitrogênio total nos períodos de seca e chuva. Observa-se que as concentrações no período de seca foram mais homogêneas em toda a coluna d'água, quando comparadas ao perfil obtido no período chuvoso, onde os valores aumentaram progressivamente em direção ao fundo do lago. Na seca, os valores medianos estiveram entre 393,5 µg/L e 652,9 µg/L; na chuva, as medianas foram desde 280,4 µg/L até 1281,0 µg/L. A grande variação observada no período chuvoso está relacionada, bem como diversos outros registros, à entrada de material no sistema junto com as chuvas e à estratificação térmica do ambiente, que impede o processo de homogeneização da coluna d'água.

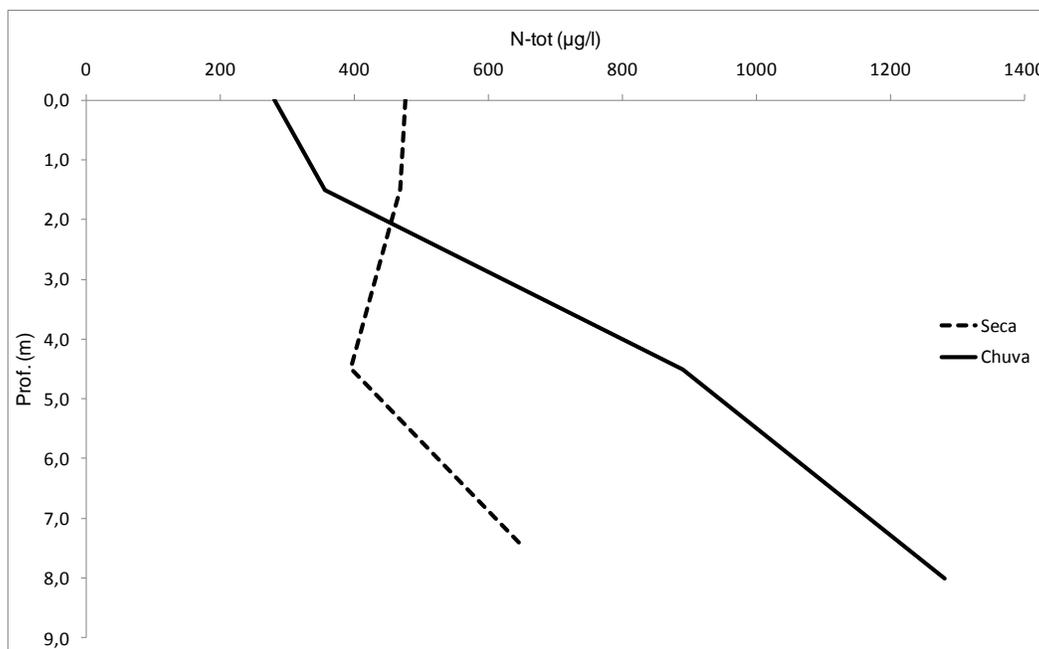


Figura 14 - Medianas das concentrações de Nitrogênio Total (N-tot) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

Os valores de amônio, assim como os de nitrogênio total, foram mais homogêneos durante a seca em relação ao período chuvoso (figura 15). Durante a estação de seca, estes valores foram superiores àqueles encontrados no período chuvoso com exceção da zona afótica. Variaram de 67,0 µg/L a 160,8 µg/L, enquanto nas chuvas, as concentrações partiram de 11,2 µg/L chegando até 630,0 µg/L na zona afótica. As maiores concentrações obtidas durante a seca estão relacionadas à circulação do lago, que disponibiliza os nutrientes retidos no hipolímnio para as águas superiores. Já a grande concentração registrada na zona afótica em períodos chuvosos se deve às condições redutoras do meio paralelamente a entrada de material no sistema. O íon amônio é a forma mais reduzida do nitrogênio inorgânico, dessa forma, todo nitrogênio inorgânico que entrar no sistema e chegar até ao hipolímnio se manifestará, predominantemente, na forma de íon amônio, devido à ausência de condições oxidantes.

Os perfis de nitrato são apresentados na figura 16. Pode-se verificar que as concentrações são maiores nos períodos de seca em relação aos períodos de chuvas. Nos meses de seca, as medianas foram de 10,0 µg/L a 12,2 µg/L; nos meses de chuva, estas flutuaram entre 3,8 µg/L e 6,6 µg/L. O nitrato é a forma mais oxidada do nitrogênio inorgânico, o que explica os maiores valores obtidos durante os meses de seca, onde há maior oxigenação da coluna d'água.

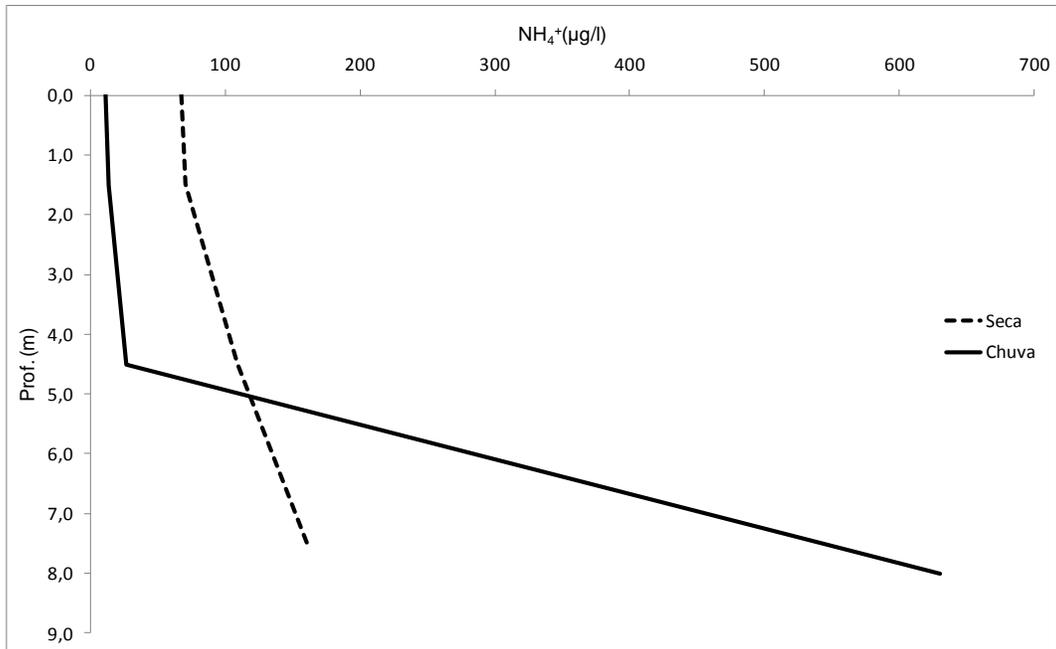


Figura 15 - Medianas das concentrações de Amônio (NH_4^+) nas profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

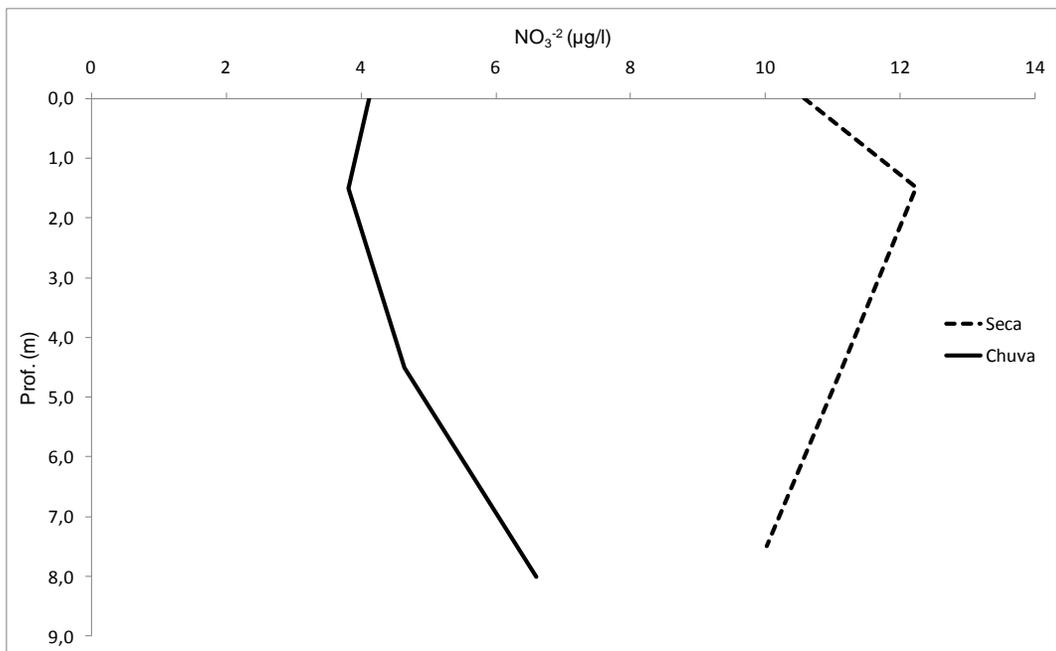


Figura 16 - Medianas das concentrações de Nitrato (NO_3^{-2}) nas profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

Finalmente, as concentrações referentes ao nitrogênio inorgânico na forma de nitrito são exibidas na figura 17. As medianas obtidas para todas as profundidades em ambas as estações foram homogêneas, exceto aquela referente à zona afótica em período chuvoso. Durante a estação seca os valores estiveram entre 1,6 $\mu\text{g/L}$ e 1,7 $\mu\text{g/L}$, já no período chuvoso estes variaram de 1,3 $\mu\text{g/L}$ a 5,2 $\mu\text{g/L}$. O valor destoante observado na zona afótica no período de chuvas pode ser devido aos altos valores obtidos para o íon amônio nesta região. O nitrito é a forma intermediária entre os estados reduzidos e oxidados do nitrogênio inorgânico, dessa forma, por ser um estado instável, as altas concentrações de amônio nesta região acabam contribuindo, mesmo que de maneira transitória, para o aumento nas concentrações de nitrito.

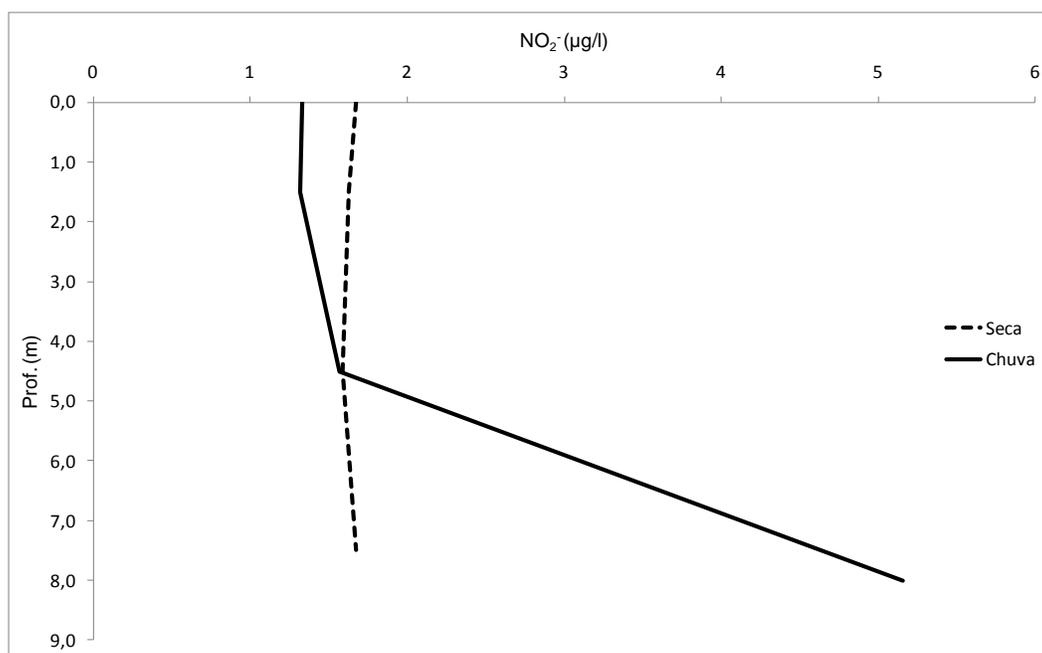


Figura 17 - Medianas das concentrações de Nitrito (NO_2^-) nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

1.8.3. Sílica solúvel reativa

Os dados referentes às concentrações de silicatos estão ilustrados na figura 18. Observa-se grande homogeneidade em ambos os períodos amostrados, embora haja uma sutil tendência para queda dos valores em direção ao fundo do lago. No período de seca, as medianas foram de 1,0 mg/L a 1,3mg/L; no período de chuvas, estas foram de 1,1 mg/L a 1,4 mg/L.

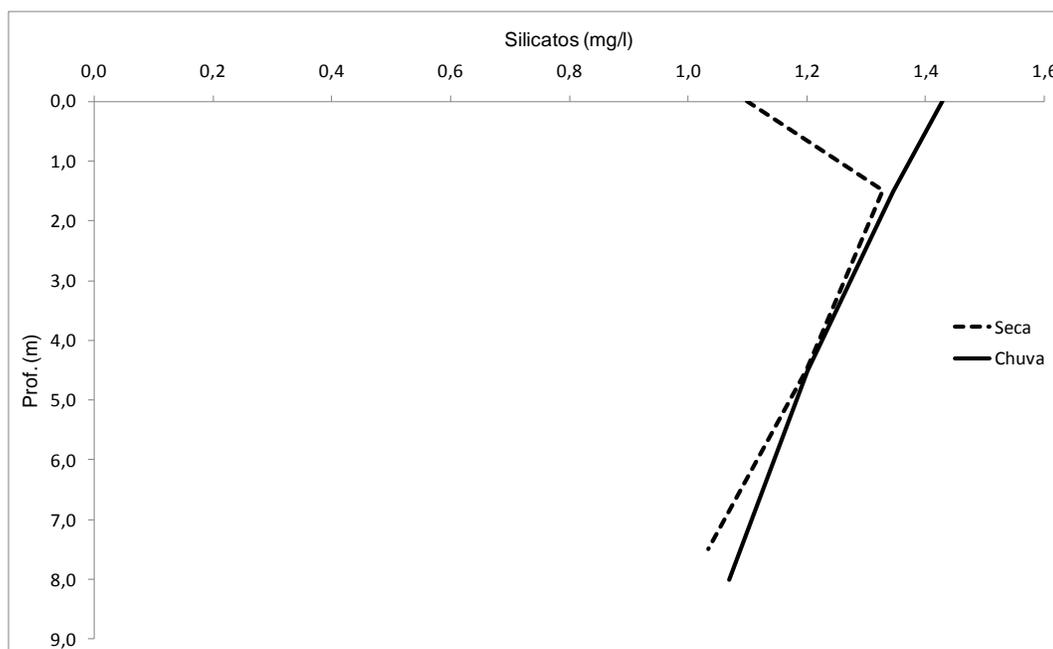


Figura 18 - Medianas das concentrações de sílica solúvel reativa nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

1.9. Planctonologia

Para a análise quali-quantitativas da comunidade fitoplanctônica foram usados dados secundários obtidos da dissertação de Barbosa (1979) e os mais recentes, relativos aos anos de 2004, 2005 e 2006, da tese de Barbosa, L. (2009).

A comunidade fitoplanctônica foi analisada visando a avaliar as mudanças ocorridas ao longo do período, que auxiliaram na compreensão sobre o comportamento das taxas de PPR.

1.9.1. A comunidade fitoplanctônica

Este tópico objetiva explicitar as mudanças na comunidade fitoplanctônica para posteriormente embasar a discussão referente às mudanças observadas nas taxas de produção primária. Desta forma, não será feita análise do comportamento dos grupos fitoplanctônicos em relação às dinâmicas sazonais ou distribuição espacial em determinado momento.

A figura 19 apresenta 4 gráficos que representam a estrutura da comunidade fitoplanctônica, em períodos de seca e chuva, em séries passadas (ano de 77/8 – conforme Barbosa , 1979) e séries mais recentes (médias dos anos 2004, 2005 e 2006, conforme Barbosa, L. 2009). Embora os dados mais recentes tenham informações em níveis específicos, a apresentação da comunidade foi feita, neste estudo, em grandes grupos (classes ou divisões) com fins comparativos, uma vez que este foi o agrupamento apresentando nos estudos de Barbosa (1979).

Observa-se que, em ambas as estações, houve uma mudança dramática na composição da comunidade fitoplanctônica. Avaliando os dados mais recentes, registra-se, durante o período de seca, um expressivo aumento na contribuição relativa do grupo Clorófitas, surgimento de alguns exemplares de Crisofíceos e Criptofíceos, e diminuição da contribuição relativa dos representantes dos grupos Pirrófitas, Cianofíceas e Euglenofíceas, sendo esta última muito expressiva (comparar figura 19 A e C). No período de chuvas, também é verificado aumento

acentuado na contribuição das Clorófitas (em especial nos primeiros metros da coluna d'água) e das Cianofíceas a partir do ponto de compensação até a zona afótica. Em contra partida, as Euglenofíceas e Pirrófitas mostraram expressiva diminuição, assim como as Cianofíceas encontradas nos primeiros metros da coluna d'água.

É razoável especular que tais mudanças na estrutura da comunidade fitoplanctônica sejam consequências da introdução de espécies exóticas de peixes observada por diversos pesquisadores, tais como Sunaga & Varani (1991), Godinho et al. (1994), Latini et al. (2004) e Vasconcellos et al. (2005). Neste caso, segundo Woodward & Hildrew (2001), os peixes por ocuparem um nível trófico superior, teriam uma forte influência sobre as demais comunidades presentes na lagoa, e dentre elas, a fitoplanctônica.

Na tabela 3 são listadas as espécies que foram encontradas na lagoa Carioca e medidas por Barbosa, L. (2009). Observa-se que a espécie de menor tamanho médio, *Cosmarium asphaerosporum* (com $6,57\mu\text{m}$), é c. de 14 vezes maior que os poros do filtro utilizado na metodologia de mensuração da produtividade primária. Assim, pode-se considerar que os resultados referentes à taxa de produtividade primária fitoplanctônica, apresentados nos próximos tópicos, abrangem toda a comunidade.

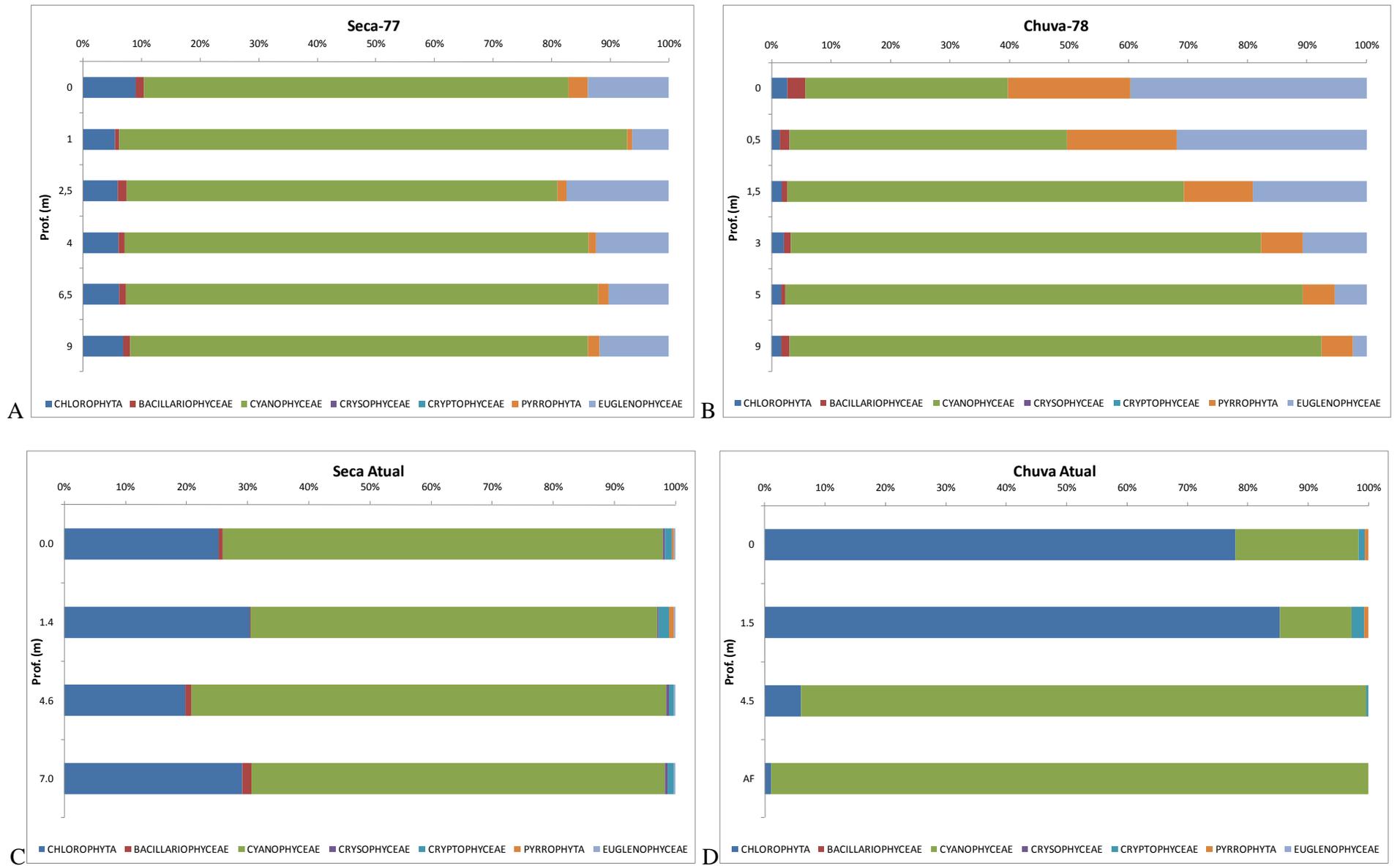


Figura 19 – Comparação da estrutura da comunidade fitoplactônica dos anos de 77/78 (A e B) com a estrutura observada mais recentemente (C e D – médias dos meses de julho e dezembro, respectivamente, dos anos de 2004, 2005 e 2006).

Tabela 3 – Lista das espécies registradas na Lagoa Carioca por Barbosa, L. (2009) nos anos de 2004, 2005 e 2006 e seus respectivos tamanhos celulares médios.

Espécie	Tamanho celular (μm)
<i>Botriococcus braunii</i>	19.53
<i>Chlorella vulgaris</i>	10.8
<i>Coelastrum sphaericum</i>	7.79
<i>Cosmarium asphaerosporum</i>	6.57
<i>Teilingia granulata</i>	11
<i>Spondilosium panduriforme</i>	13.8
<i>Gymnodinium sp. 1</i>	35.25
<i>Monoraphidium cf griffithii</i>	57
<i>Peridinium volzii</i>	28.12
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	79
<i>Pseudoanabaena galeata</i>	18.4
<i>Rodomonas sp.</i>	9
<i>Staurodesmus crassus</i>	10.5
<i>Urosolenia sp</i>	58

1.9.2. Densidade fitoplanctônica

A densidade total, referente à comunidade fitoplanctônica recente, para os períodos de seca e chuva, é mostrada na figura 20. Observa-se que no período de seca as medianas referentes à densidade total do fitoplâncton foram maiores que aquelas observadas durante o período chuvoso, com valores aumentando em direção ao fundo do lago, embora próximos

entre si, indo de 9220,9 cels/ml na superfície até 12642,9 cels/ml nas camadas mais profundas. No período de chuvas, as medianas não foram homogêneas, apresentando um máximo de densidade na profundidade referente ao ponto de compensação fótica com 11049,9 cels/ml. A menor mediana foi obtida na superfície, com valor igual a 2968,2 cels/ml. O pico observado no período de chuvas provavelmente está relacionado à estratificação térmica do lago que limita a maior parte dos nutrientes na região hipolimnética. Dessa forma, há melhor desenvolvimento do fitoplâncton próximo ao ponto de compensação, pois nessa zona ainda há disponibilidade de luz e de nutrientes ao mesmo tempo, para garantir o processo.

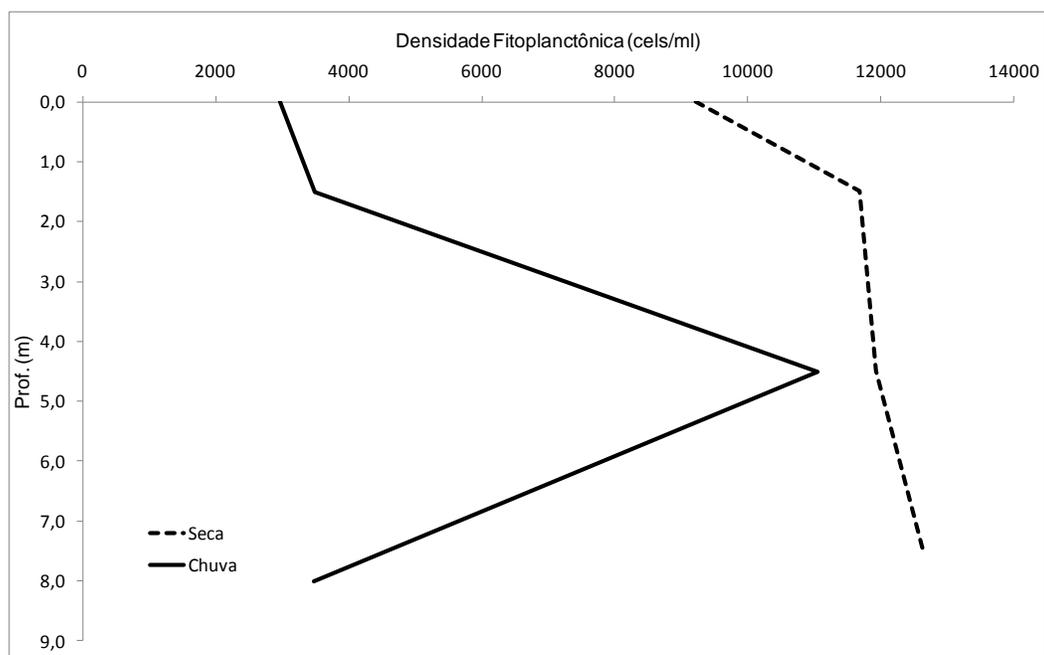


Figura 20 - Medianas das densidades fitoplanctônicas nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

1.9.3. Clorofila-a

A figura 21 resume os perfis obtidos para os valores medianos de clorofila-a nos períodos de seca e chuva. Semelhantemente ao gráfico de densidade total, os valores medianos no

período de seca foram em geral maiores que aqueles observados no período de chuvas, a exceção das medianas referentes ao ponto de compensação. Durante a seca, os valores obtidos também apresentaram menor amplitude de variação de 42,5 µg/L a 63,1 µg/L, enquanto os valores obtidos durante as chuvas apresentaram uma variação de 19 µg/L a 66,3 µg/L. Os maiores valores obtidos na seca estão relacionados à maior disponibilidade de nutriente nesse período em razão da circulação do lago. Já em relação ao período de chuvas, o máximo observado próximo ao ponto de compensação luminoso pode ser explicado pelo processo de estratificação, conforme mesmo mecanismo discutido durante a caracterização da densidade total (ver tópico anterior).

Os valores de clorofila-a apresentados por Barbosa (1979) para o período de seca variaram entre 7,87 µg/L e 9,55 µg/L; e para o período de chuvas entre 7,97 µg/L e 11,24 µg/L em toda a coluna d'água, exceto a 9 metros de profundidade onde foi registrado um valor incomum de 72,36 µg/L. O aumento registrado em relação aos resultados de Barbosa (1979), também pode ser entendido como um indício do processo de eutrofização natural, decorrente do aumento das concentrações de nutrientes no meio, a exemplo do fósforo total.

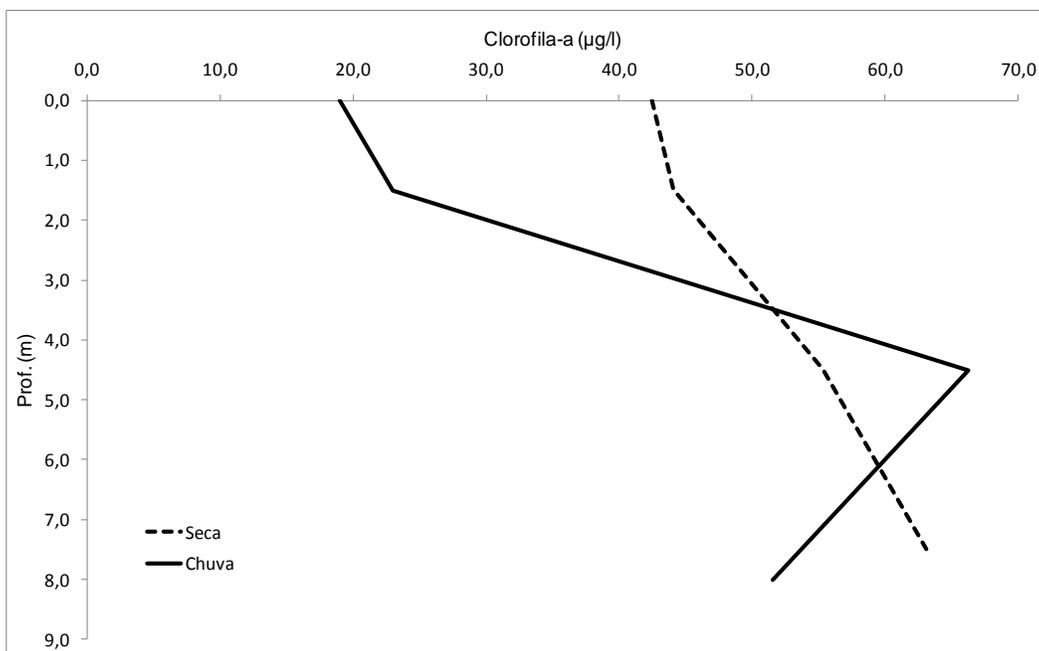


Figura 21 - Medianas das densidades fitoplanctônicas nas profundidades medianas referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

2. Produtividade Primária (PPR)

As taxas de produtividade primária foram obtidas ao longo de 36 meses contínuos, conforme descrito na metodologia. Neste período, foram realizados 18 experimentos em meses de seca, 18 experimentos em meses de chuva, 34 no período matutino e 15 no período vespertino. O menor número de experimentos na parte da tarde deve-se ao fato destes terem sido realizados apenas no fim do ano de 2004 e durante o ano de 2005.

O conjunto de dados referentes às medidas de PPR se mostrou muito heterogêneo, independente do agrupamento realizado, em função dos diversos fatores determinantes do processo, tais como, condições meteorológicas. Dessa forma, as análises a seguir foram realizadas com testes do tipo não paramétricos. Assim, num resumo não muito expressivo, tem-se que as taxas variam de 1019,51 mgC/m³.h (seca, subsuperfície, manhã) a 0,08

mgC/m³.h (chuva, subsuperfície, manhã), ou, expressando valores por unidade de área, de 17416,54 mgC/m².dia (seca, manhã) a 20,01 mgC/m².dia (chuva, manhã).

A figura 22 resume os valores encontrados durante os 36 meses de experimentação. Nesta, todos os valores são referentes às medidas realizadas na parte da manhã, isto porque somente no período matutino foram registradas medidas durante todo o período experimental e também, como será apresentado a diante, não foi evidenciado diferença entre as medidas em questão e as vespertinas. A figura 23 resume as taxas de produtividade calculadas por unidade de área e desta forma, mostra o potencial produtivo da coluna d'água como um todo.

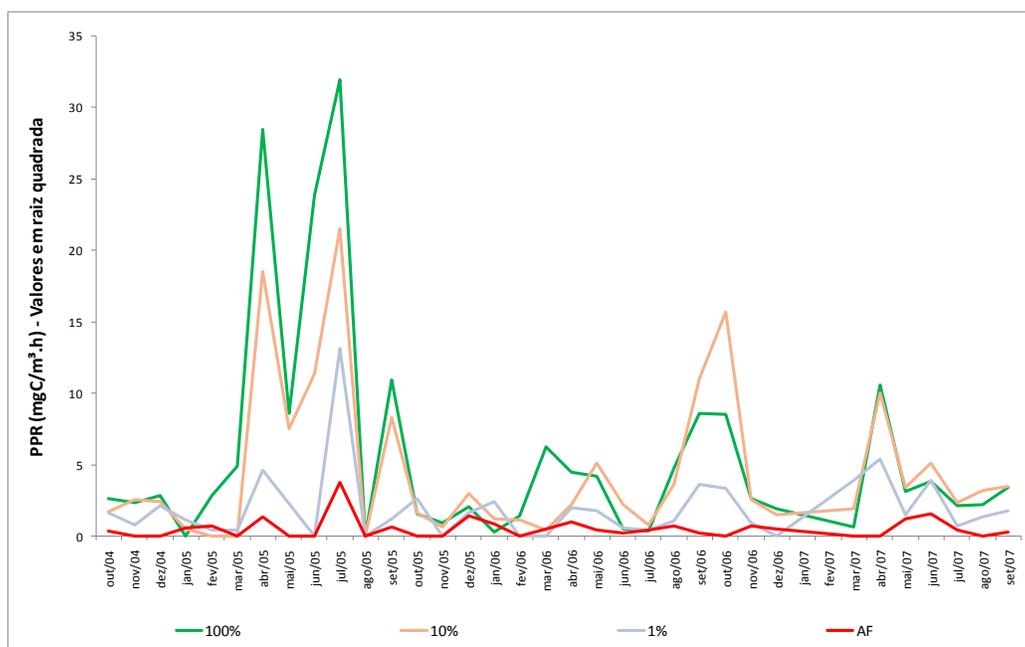


Figura 22 – Taxas de produtividade primária, expressas em mgC/m³.h, encontradas no período da manhã nos 36 meses de experimentação em cada uma das profundidades amostradas.

A tabela 4 mostra os resultados obtidos por outros pesquisadores nos períodos de seca e chuva na lagoa Carioca. Verifica-se que as taxas de produção primária obtidas primeiramente por Barbosa & Tundisi (1980) e Barbosa et al. (1989), entre os anos de 1977 e 1980,

apresentaram valores muito baixos, variando de $0,1 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a $10,9 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ no período de seca e de $0,03$ a $2,7$ no período de chuva. Em 1983, Tundisi et al. (1997) encontraram valores que variaram de $0,4 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a $14,6 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ no período de seca e para o período de chuva, em 1985, Henry et al. (1997) obtiveram valores que variaram de $16,2 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a $17,5 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Ambos os estudos mostraram acréscimo nas taxas de produção quando comparados àqueles observados num primeiro momento por Barbosa & Tundisi (1980) e Barbosa et al. (1989). Cerca de 15 anos mais tarde, Petrucio (2003) registrou durante seus experimentos, realizados entre 1999 e 2001, taxas de maior amplitude e mais elevadas de $15,6 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a $747,4 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ durante o inverno e de $2,1 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a $218,5 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ durante o verão. Finalmente, o presente estudo apresenta taxas que foram de $0,14 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a $1019,51 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, durante os meses de seca, e de $0,29 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a $247,11 \text{ mgC/m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, durante os meses de chuva.

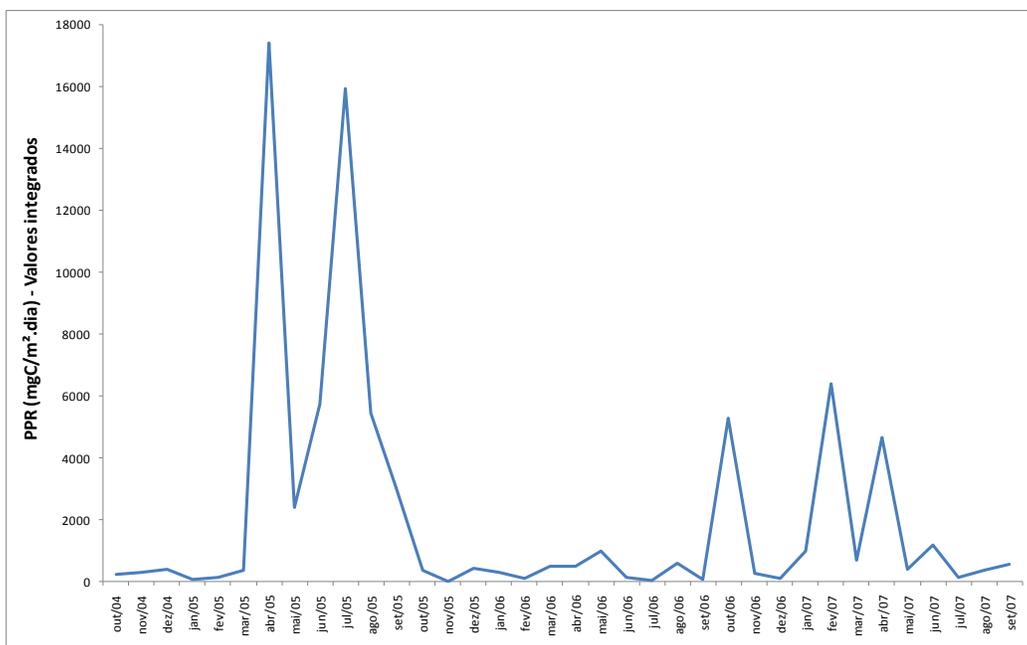


Figura 23 – Taxas de produtividade primária por unidade de área do lago, calculadas com base nos valores obtidos em período matutino na lagoa Carioca.

Tabela 4 – Taxas de produção primária fitoplanctônica na lagoa Carioca para períodos se seca e chuva segundo diferentes pesquisadores. (Modificado de Petrucio, 2003).

PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA						
Ano de amostragem	1977/78 (Barbosa & Tundisi, 1980)	1979/80 (Barbosa et al., 1989)	1983 (Tundisi et al., 1997)	1985 (Henry et al., 1997)	1999/2001 (Petrucio, 2003)	out/04 a set/07 (Atual)
Seca (mgC/m³.h⁻¹)	0,1 - 10,9	8.4	0,4 - 14,6	-	15,6 - 747,4	0,1 - 1019,5*
Chuva (mgC/m³.h⁻¹)	0,03 - 1,3	2.7	-	16,2 - 17,5	2,1 - 218,5	0,3 - 247,1*

* valores relativos a 100% e 10% de penetração de luz, mínimos e máximos

De acordo com Petrucio (2006), o aumento observado na produtividade primária da lagoa Carioca ao longo das últimas décadas indica uma clara influência antropogênica, o que levaria o sistema à eutrofização. No entanto, no presente estudo, considerando o grande esforço amostral, foi possível observar que, embora tenham sido obtidas as maiores taxas para produção primária, estas foram ocasionais, não representando bem a real situação da Lagoa. Dessa forma, avaliando as medianas (consideradas mais representativas em grupos de dados com distribuição não normal) obtidas para todo o período analisado, foi observado um aumento menos expressivo que aquele sugerido pelos valores máximos. Considerando apenas as 2 primeiras profundidades de incubação (100% e 10% de penetração de luz, onde foram registrados os valores mais expressivos para PPR), os valores de medianas nos períodos de seca variaram de, respectivamente, 22,89 mgC/m³.h⁻¹ e 26,59 mgC/m³.h⁻¹, e de 4,96 mgC/m³.h⁻¹ e 2,54 mgC/m³.h⁻¹ no período de chuva (ver figura 24).

Assim o processo de eutrofização natural de sistemas lênticos (Esteves, 1998) pode ser proposto como explicação razoável para o aumento observado. Por sua vez, o processo de eutrofização em termos de nutrientes dissolvidos só foi sugerido através de um discreto incremento nos valores de fósforo total no período chuvoso e aumento considerável nas concentrações de CID em ambas as estações.

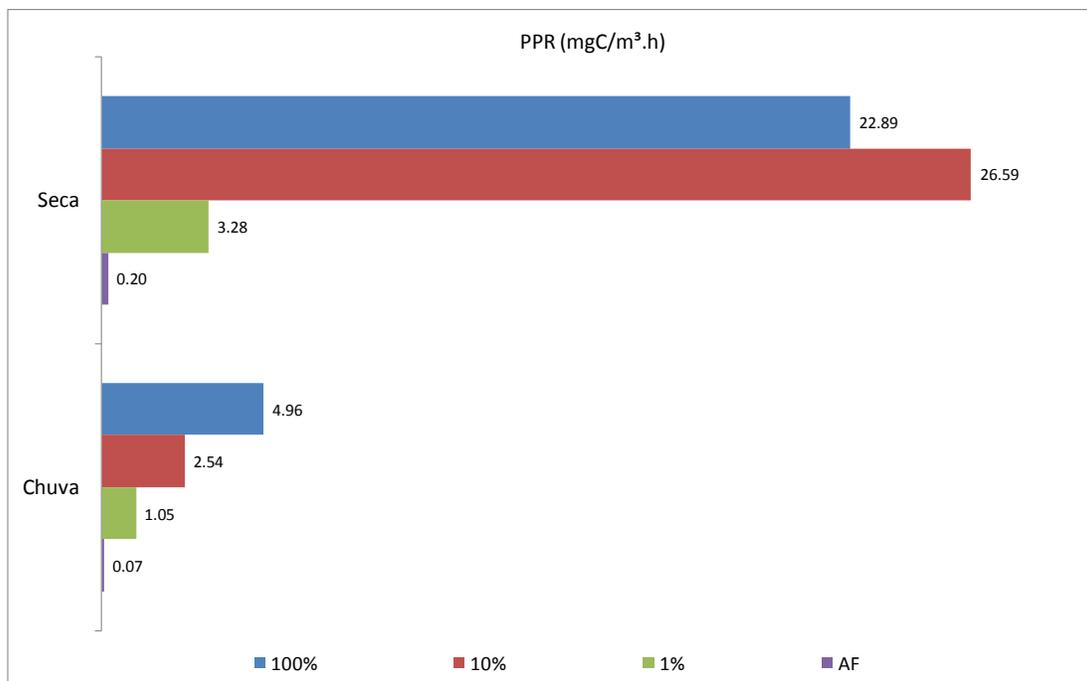


Figura 24 – Distribuição vertical das taxas de produtividade primária no lago nos períodos de Seca e Chuva.

2.1. A busca por padrões de produtividade primária

Como dito anteriormente, os dados foram agrupados de diferentes maneiras a fim de testar a existência de padrões temporais e espaciais (verticalmente) de produtividade primária. Seguem nos próximos tópicos os agrupamentos feitos para testes comparativos.

2.1.1. Avaliação entre profundidades

A figura 24 mostra as taxas de PPR no lago nas estações de seca e chuva. Na seca, a produtividade foi maior nas profundidades correspondentes a 10% de penetração de luz, com mediana de 26,59 mgC/m³.h, sendo que a subsuperfície também apresentou elevada taxa de produção com mediana de 22,89 mgC/m³.h.

Nas profundidades referentes a 1% de penetração de luz e zona afótica os valores medianos foram mais baixos, de 3,28 mgC/m³.h e de 0,20 mgC/m³.h, respectivamente. No período de chuvas, embora menores, as taxas de PPR também variaram bastante entre as profundidades, com mediana de 4,96 mgC/m³.h na subsuperfície, e valores diminuindo em direção ao fundo do Lago, no qual a mediana foi de 0,07 mgC/m³.h.

Apesar da nítida diferença entre as profundidades, foi realizada uma série de testes estatísticos, agrupando os dados de diversas maneiras, a fim de eliminar outras variáveis que sabidamente influenciam o processo. Tais agrupamentos foram:

- Todos os valores sem qualquer filtragem;
- Apenas dados referentes à seca;
- Apenas dados referentes à chuva;
- Apenas dados referentes às manhãs;
- Apenas dados referentes às tardes;
- Apenas dados referentes às manhãs de seca;
- Apenas dados referentes às manhãs de chuva.

Todos os testes indicaram diferenças entre as profundidades, no entanto, conforme aumentava a especificidade dos dados (agrupamentos mais específicos), diminuía o grau de disparidade entre as profundidades imediatamente vizinhas. Nenhum dos testes acusou diferença estatística significativa entre subsuperfície e profundidade do Secchi (10% de penetração de luz) – ver figura 25.

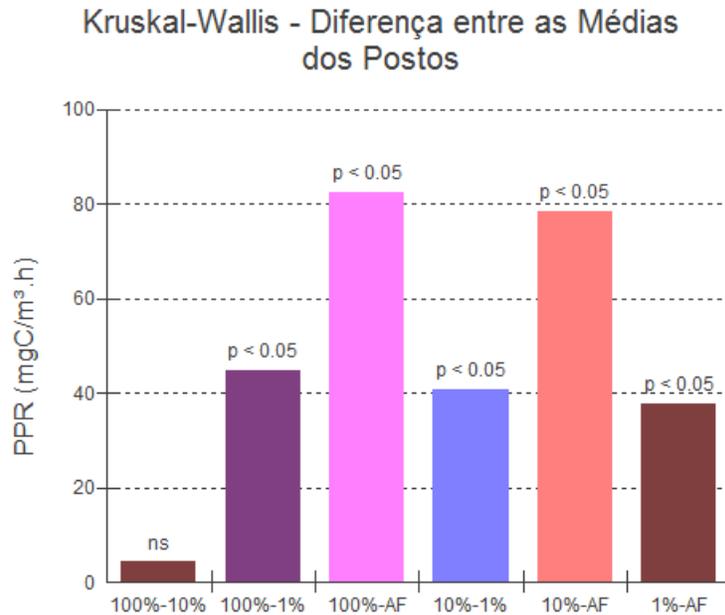


Figura 25 – Teste de Kruskal-Wallis que apontou diferenças entre todas as profundidades, umas em relação às outras, com exceção da subfuperfície x 10% de luz.

2.1.2. Avaliação entre períodos do dia

A figura 26 resume os valores encontrados para manhã e tarde nos diferentes períodos do ano. Durante o período de seca, ao longo da coluna d'água, as taxas medianas de PPR foram de 0,20 a 26,59 mgC/m³.h na parte da manhã e de 0,00 a 32,36 mgC/m³.h no período da tarde; já durante os meses de chuva as medianas variaram de 0,07 a 4,96 mgC/m³.h no período matutino e de 0,00 a 5,40 mgC/m³.h no período vespertino. Como se pode observar, os valores foram muito próximos entre si em ambas as estações, não indicando diferenças entre a produção primária realizada pelo sistema nos diferentes momentos do dia. Avaliando-se os dados integrados (eliminando os efeitos de profundidade), a semelhança entre os turnos do dia torna-se ainda mais evidente; a mediana destes durante o período

de seca foi de 998,90 mgC/m².dia na parte da manhã e 919,45 mgC/m².dia na parte da tarde; já durante as chuvas, as medianas foram de 295,50 mgC/m².dia no período da manhã e de 266,88 mgC/m².dia no período da tarde.

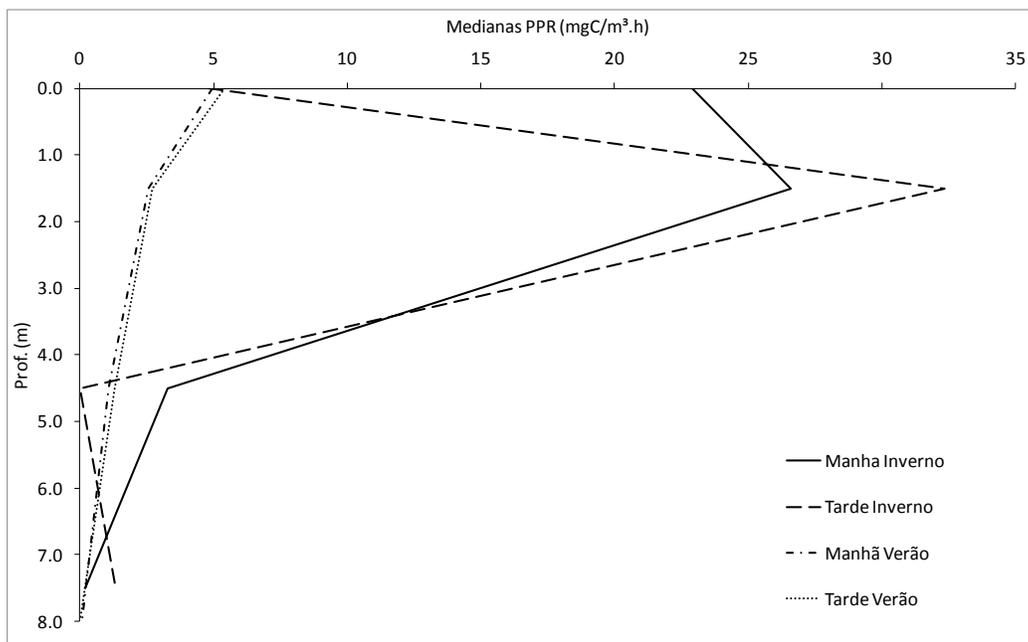


Figura 26 – Medianas das taxas de produtividade nas profundidades referentes a 100%, 10% e 1% de penetração de luz e Zona Afótica nos períodos de seca e chuva.

Para consolidar tais indícios, foram realizados diversos testes estatísticos que agruparam os dados de diferentes maneiras, citadas abaixo, para evitar que outras variáveis mascarassem o resultado. Os agrupamentos foram organizados, sempre Manhã x Tarde, como demonstrado a seguir:

- Todos os valores, integrados para suprimir efeitos de profundidade;
- Dados da estação seca, integrados;
- Dados da estação chuvosa, integrados;
- Seca, dados correspondentes a 100% de luz, não integrados;

- Seca, dados correspondentes a 10% de luz, não integrados;
- Seca, dados correspondentes a 1% de luz, não integrados;
- Seca, dados correspondentes à zona afótica, não integrados;
- Chuva, dados correspondentes a 100% de luz, não integrados;
- Chuva, dados correspondentes a 10% de luz, não integrados;
- Chuva, dados correspondentes a 1% de luz, não integrados;
- Chuva, dados correspondentes à zona afótica, não integrados.

Em nenhuma das análises foi obtido valor $p < 0,05$ (ver figura 27) indicando que os grupos de dados não diferem entre si estatisticamente. Tal constatação é contrária aos indícios obtidos por alguns autores, tais como Barbosa & Tundisi (1980), Barbosa et al. (1989), Tundisi et al. (1997) e Petrucio & Barbosa (2004). Uma explicação para esta divergência é o modo de trabalho dos dados. Geralmente, estudos envolvendo produtividade primária não possuem um acervo de dados tão extenso quanto o presente, assim a maior parte das análises é feita com poucos dados e com base em médias; no entanto, observou-se que os valores obtidos ao longo dos 36 meses de experimento não possuem distribuição normal e assim são mais devidamente trabalhados com medianas e testes não paramétricos. Ocorre que em poucos meses são obtidos resultados discrepantes, tidos como outliers pelas análises estatísticas, e tais dados quando submetidos a análises baseadas em médias podem gerar conclusões diferentes.

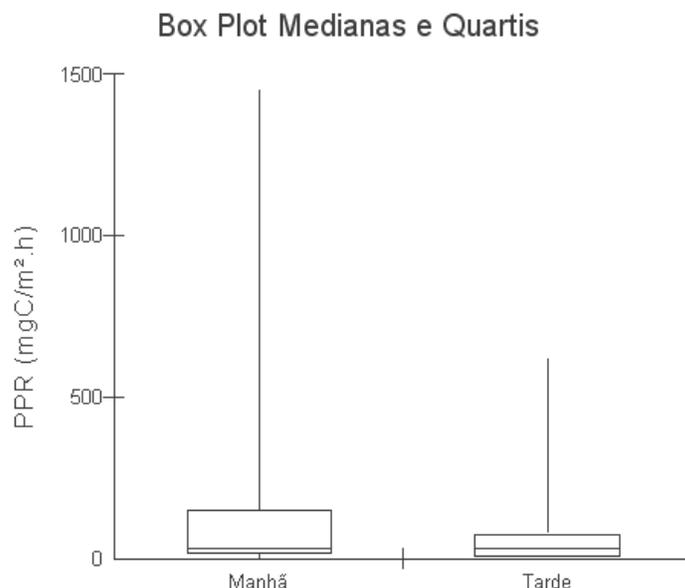


Figura 27 – Box Plot do tipo medianas e quartis para os valores de produtividade primária separados entre manhã e tarde não evidenciando diferenças estatísticas entre os dois grupos.

2.1.3. Diferenças entre épocas do ano

As figuras 22, 24 e 26 podem todas ser utilizadas para analisar o comportamento da produtividade primária entre as diferentes estações (seca e chuva) da região em estudo. É possível observar em todas elas que, durante o período de seca, a produtividade primária foi maior. Tal constatação é explicada pela circulação da coluna d'água que traz das zonas mais profundas nutrientes que foram armazenados e estocados durante os últimos meses para as camadas de água superiores, reduzindo a limitação de nutrientes diversos e permitindo, com isso, maior produção por parte da comunidade fitoplanctônica. As medianas dos valores integrados para os meses de seca (já citados anteriormente no texto e explicitados nas figuras indicadas no início deste parágrafo) são cerca de 3,4

vezes maiores que aquelas observadas para os meses de chuva. As medianas das taxas por unidade de volume (dados não integrados) apresentam diferentes proporções em relação às medianas obtidas no período de chuva conforme a profundidade em questão. Assim, tem-se que na subsuperfície observa-se um produção de cerca de 4,6 vezes aquela observada em períodos chuvosos; na profundidade do Secchi, taxas que são c. 10 a 12 vezes superiores; e no ponto de compensação e zona afótica, taxas c. 3 vezes maiores.

Foram realizados testes estatísticos agrupando os dados de diferentes maneiras, mais e menos específicas, a fim de investigar até que ponto a sazonalidade tem influencia na produção do lago em estudo. Assim, foram feitos os seguintes agrupamentos:

- Todos os valores, integrados para suprimir efeitos de profundidade;
- Dados integrados referentes à manhã, para diminuir a disparidade do n amostral de cada período;
- Manhã, dados correspondentes a 100% de luz, não integrados;
- Manhã, dados correspondentes a 10% de luz, não integrados;
- Manhã, dados correspondentes a 1% de luz, não integrados;
- Manhã, dados correspondentes à zona afótica, não integrados.

Na maioria dos testes foi observada diferença estatística significativa entre os grupos Seca e Chuva (ver figura 28), no entanto, nos 2 últimos testes (dados referentes a apenas 1% de profundidade e dados referentes apenas à zona afótica) não foi evidenciado um efeito significativo da sazonalidade. Isto muito possivelmente porque, a partir de tais profundidades, mesmo que a circulação

promova maior disponibilidade de nutrientes, o processo passa a ser limitado pela disponibilidade luminosa. Desta forma, nestas zonas do lago a sazonalidade tem menor expressão.

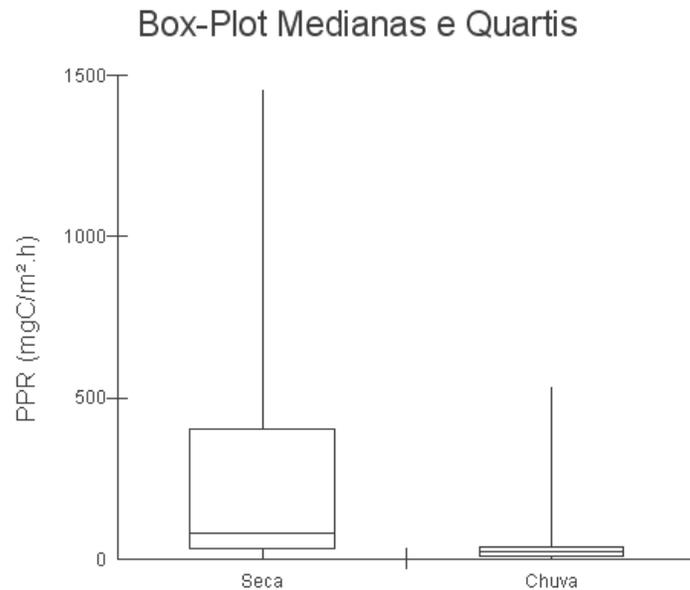


Figura 28 – Box Plot do tipo medianas e quartis para os valores de produtividade primária separados entre seca e chuva evidenciando diferenças estatísticas entre os dois grupos.

2.1.4. Diferenças inter anuais

Considerando todas as medidas (expressas em unidades de área – ditas integradas) obtidas ao longo dos 3 anos de experimento, observa-se uma relativa homogeneidade dos grupos de dados (Figura 29). As medianas gerais dos 3 anos foram de, respectivamente em ordem de coleta, 400 mgC/m².dia, 327 mgC/m².dia e 467 mgC/m².dia. No entanto, comparando as estações de um ano com as dos demais, as medianas são pouco coerentes. Para os períodos de seca, as medianas obtidas foram, em ordem, 5737,50 mgC/m².dia, 321,89 mgC/m².dia e

467,06 mgC/m².dia; já para os períodos de chuva, as mesmas foram, também na mesma ordem, 269,50 mgC/m².dia, 327,15 mgC/m².dia e 480,61 mgC/m².dia. Assim, a seca do primeiro ano de experimento foi muito mais produtiva que as demais; já nos períodos de chuva as medianas não foram muito discrepantes, sendo a maior obtida no último ano de experimentos.

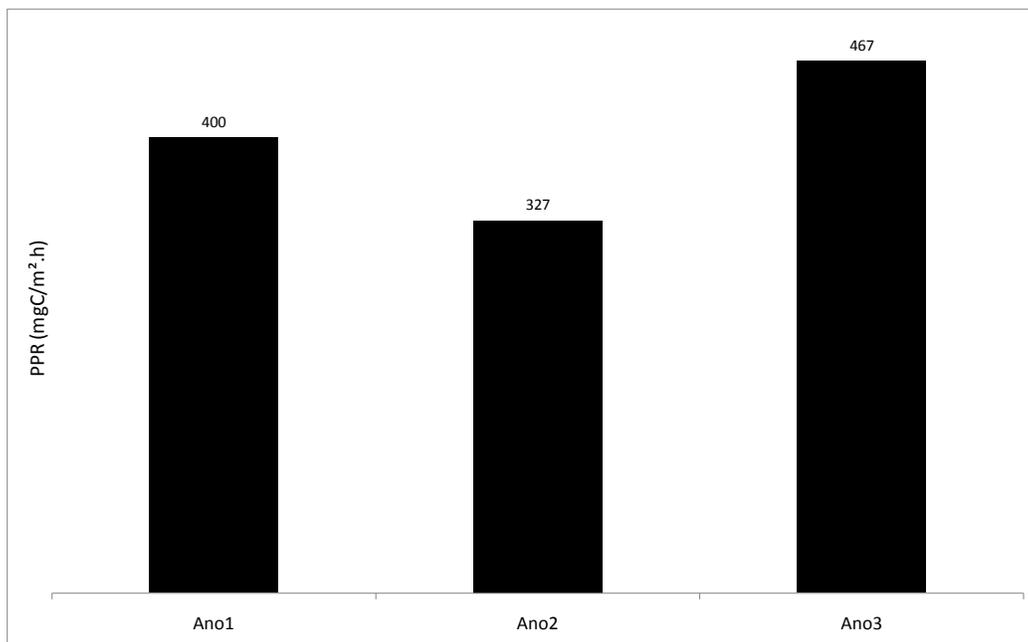


Figura 29 – Medianas para as taxas de PPR integradas para cada ano de experimentos (out04/set05, out05/set06 e out06/set07, respectivamente).

A fim de avaliar se os padrões observados em escala sazonal e diária podem ser considerados relativamente estáveis, foi feita uma análise com objetivo de comparação dos anos experimentais (cada ciclo de outubro a setembro). Para tanto, diversos agrupamento dos dados foram feitos a fim de verificar a constância do processo de produção em diferentes escalas temporais e espaciais. Assim,

foram comparados os 3 anos de experimento segundo os seguinte arranjos de dados:

Todos os dados integrados, eliminando efeitos de profundidade;

Dados referentes ao período matutino, integrados;

Dados referentes aos meses de seca, integrados;

Dados referentes aos meses de chuva, integrados;

Dados referentes às incubações na subsuperfície, manhã;

Dados referentes às incubações a 10% de luz, manhã;

Dados referentes às incubações a 1% de luz, manhã;

Dados referentes às incubações na zona afótica, manhã.

Em todos os casos, exceto nas comparações dos dados exclusivos de meses de seca e integrados (ver figura 30), não foi observada nenhuma variação estatisticamente significativa. Nas comparações com meses de seca foi apontada uma diferença significativa entre as secas do primeiro e segundo ano; embora a seca do primeiro ano tenha tido valores bem superiores a do terceiro, estatisticamente não foi determinada uma diferença significativa.

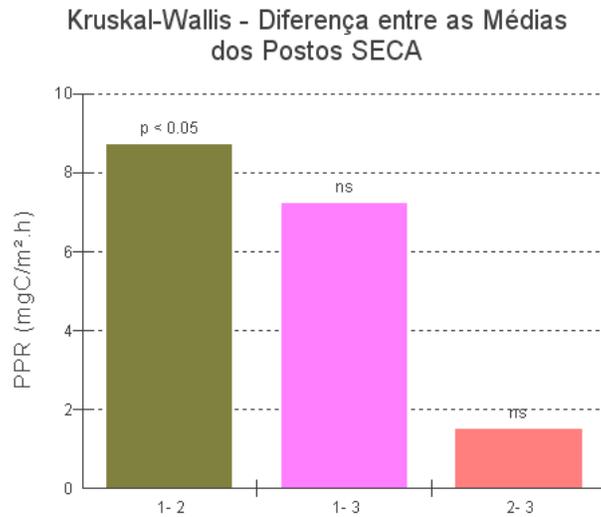


Figura 30 – Teste de Kruskal-Wallis que apontou diferenças somente entre as secas do primeiro e segundo ano de experimentação.

2.2. A busca por correlações

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos para análise de correlação linear entre produtividade primária e os diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos monitorados durante os experimentos. Para o cálculo de tais correlações foram utilizados somente os valores referentes às incubações realizadas na subsuperfície e na profundidade do disco de Secchi (100% e 10% de penetração de luz) na parte da manhã. O uso das duas primeiras profundidades se deve à limitação do processo de produção por ausência de luz nas profundidades inferiores e consequente comprometimento das relações com os demais parâmetros. Foram usados apenas os dados referentes às incubações matutinas para evitar que meses em que houve mais de uma incubação por dia

tivessem peso maior que aqueles onde houve apenas uma incubação (na parte da manhã).

Observa-se que as taxas de PPR correlacionaram-se mais fortemente com as concentrações de amônio e de clorofila-a, além de apresentarem boas correlações com pH, temperatura, concentração de ortofosfato e densidade fitoplanctônica.

As correlações relativamente elevadas com clorofila-a (0,41) e densidade fitoplanctônica (0,31) são esperadas, pois o processo de produção é realizado pela comunidade fitoplanctônica e, dentro desse grupo de organismos, é a clorofila-a a molécula responsável pela conversão de energia luminosa em energia química.

A correlação observada com íon amônio (0,43) e ortofosfato (0,37) indica certa limitação do processo por ambos os minerais, em especial o nitrogênio inorgânico, devido tanto ao maior valor da correlação, como a outras correlações indiretas que embasam este raciocínio. Indiretamente, avaliando as correlações entre clorofila-a e os demais nutrientes, constata-se elevados valores para a relação com toda a série nitrogenada (nitrato, nitrito, amônio e nitrogênio total – respectivamente 0,50, 0,44, 0,50 e 0,53) e baixos valores para ortofosfato (-0,05) e fósforo total (0,08). Outra análise indireta que indica maior participação do nitrogênio como limitante é a correlação dos valores de densidade fitoplanctônica com os nutrientes. Nesta observa-se maiores valores para nitrogênio total (0,45) e nitrato (0,35) e valores menores para ortofosfato (-0,07) e fósforo total (-0,06).

A correlação observada entre PPR e pH (-0,34) indica que, conforme aumenta o pH do meio, menor é a PPR. Tal correlação é explicada pelo funcionamento do sistema CO₂ (Esteves, 1998), pois com maiores valores de pH há menor

disponibilidade de carbono inorgânico dissolvido, já que este tende a forma de CO_3^{-2} (indisponível para o fitoplâncton) em águas alcalinas.

Por fim, a correlação observada entre PPR e temperatura (-0,36) indica que o processo de produção primária foi menos eficiente em temperaturas mais elevadas. Tal observação pode indicar, indiretamente, a ocorrência do processo de fotoinibição. A fotoinibição ocorre nos primeiros centímetros da coluna d'água em função do excesso de luz que acaba por inativar o fotossistema 2 e diminuir a eficiência do processo fotossintético (Long et al. 1994). Nesses primeiros centímetros da coluna d'água a temperatura é maior devido à maior incidência de energia nessa camada; assim, nessa zona de maior temperatura ocorre em determinados momentos (conforme a intensidade luminosa de cada dia) a fotoinibição e, portanto uma menor produtividade primária.

Tabela 5 – Valores obtidos para análise de correlação linear das medidas de produtividade primária (PPR) com as demais variáveis físicas, químicas e biológicas controladas. Em destaque as correlação de interesse para o presente estudo; em amarelo as com valor entre 0,30 e 0,39; em verde as de valor entre 0,40 e 0,49; e em azul as com valor acima de 0,50.

	<i>PPR</i>	<i>C12</i>	<i>pH</i>	<i>Temp</i>	<i>Cond</i>	<i>OD</i>	<i>TDS</i>	<i>Redox</i>	<i>P-tot</i>	<i>PO4</i>	<i>N-tot</i>	<i>NH4</i>	<i>NO3</i>	<i>NO2</i>	<i>Silicato</i>	<i>Cl-a</i>	<i>Tx. Assim</i>	<i>Dens.</i>	<i>Alcal.</i>
<i>PPR</i>	1.00																		
<i>C12</i>	0.21	1.00																	
<i>pH</i>	-0.34	-0.53	1.00																
<i>Temp</i>	-0.36	0.11	-0.13	1.00															
<i>Cond</i>	0.19	0.05	0.11	-0.28	1.00														
<i>OD</i>	-0.08	0.03	-0.18	-0.06	0.22	1.00													
<i>TDS</i>	-0.07	-0.11	0.07	0.21	0.60	0.16	1.00												
<i>Redox</i>	0.07	-0.12	0.05	0.16	-0.37	-0.20	-0.01	1.00											
<i>P-tot</i>	0.19	-0.05	-0.05	-0.28	-0.04	-0.20	-0.07	0.11	1.00										
<i>PO4</i>	0.37	0.28	-0.28	-0.06	0.02	-0.26	-0.08	-0.04	-0.07	1.00									
<i>N-tot</i>	0.03	0.18	0.09	-0.30	0.43	0.41	-0.01	-0.48	-0.15	0.02	1.00								
<i>NH4</i>	0.43	-0.01	0.21	-0.66	0.33	-0.08	-0.09	-0.08	0.18	0.22	0.45	1.00							
<i>NO3</i>	-0.07	-0.11	-0.07	-0.46	0.17	0.60	-0.11	-0.43	-0.01	-0.14	0.32	0.12	1.00						
<i>NO2</i>	0.00	-0.04	-0.17	-0.26	0.23	0.28	-0.14	-0.29	-0.10	0.08	0.27	0.05	0.45	1.00					
<i>Silicato</i>	0.05	-0.08	0.23	-0.09	-0.15	0.08	-0.19	-0.14	-0.11	-0.04	-0.01	0.11	0.02	-0.16	1.00				
<i>Cl-a</i>	0.41	0.00	0.02	-0.69	0.48	0.31	-0.02	-0.32	0.08	-0.05	0.53	0.50	0.50	0.44	-0.06	1.00			
<i>Tx. Assim</i>	0.96	0.19	-0.34	-0.38	0.17	-0.14	-0.06	0.13	0.26	0.38	-0.08	0.37	-0.11	-0.06	0.01	0.30	1.00		
<i>Dens.</i>	0.31	0.23	-0.23	-0.16	0.35	0.41	0.09	-0.42	-0.06	-0.07	0.45	0.12	0.35	0.06	-0.01	0.56	0.25	1.00	
<i>Alcal.</i>	-0.25	-0.11	0.29	0.12	0.07	0.29	-0.03	-0.15	-0.16	-0.18	0.32	-0.07	0.04	0.13	0.11	0.03	-0.29	-0.07	1.00

2.3. Variações nas taxas de assimilação

A figura 31 mostra as medianas referentes às taxas de assimilação obtidas nos 36 meses de experimentação para os períodos de seca e chuva, além dos valores obtidos por Barbosa (1979) em 1977 e 1978.

Comparando-se os dois estudos, constata-se um grande aumento na taxa de assimilação. Durante o período de seca, foi calculada para a profundidade de 10% de luz (profundidade com maior taxa) a mediana de $0,57581 \text{ mgC.h}^{-1}/\text{mgCl-a}$, c. 65 vezes maior que o valor obtido por Barbosa, $0,00885 \text{ mgC.h}^{-1}/\text{mgCl-}$. No período de chuva, a maior mediana obtida foi na subsuperfície, sendo igual a $0,25244 \text{ mgC.h}^{-1}/\text{mgCl-}$, c. 38 vezes o valor descrito por Barbosa, $0,00668 \text{ mgC.h}^{-1}/\text{mgCl-}$.

Inicialmente, a expectativa era que se observasse uma mudança menor em tais taxas, de modo que estas pudessem reforçar a ideia de uma consequência ecológico-energética da mudança da comunidade fitoplanctônica em função da introdução de espécies exóticas de peixes. No entanto, sabe-se que comunidades diferentes não apresentam variações em suas taxas de assimilação tão elevadas assim, tendo um grupo taxonômico no máximo uma taxa de assimilação duas vezes maior que outro, como demonstrado recentemente por Yacobi & Zohary (2010). Inclusive, podem ser utilizadas médias das taxas de assimilação para cálculo da produtividade a partir das concentrações de clorofila-a [Arrigo and McClain (1994), Behrenfeld & Falkowski (1997)].

Comparando os dados obtidos neste estudo com os de Stenuite et al. (2007), que obtiveram para o Lago Tanganyika, também um sistema oligotrófico e tropical,

taxas de assimilação maiores e variando de 1.7–9.8 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$, tem-se que os valores encontrados para a Lagoa Carioca são baixos. No entanto, em relação ao estudo de Yacobi & Zohary (2010), que apresentaram dados apenas referentes à profundidade ótima, ou seja, aquela de maior taxa de assimilação para cada experimento, verifica-se menor variação. Yacobi e Zohari encontraram para o Lago Kinneret a média de 4,2 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$, 2,3 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$, 2,1 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$ e 1,6 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$ para, respectivamente, os grupos Cianófitas, Clorófitas, Diatomáceas e Dinoflagelados. O presente estudo apresentou, considerando apenas a profundidade ótima, valores medianos de 0,978 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$, com máximo de 18,9 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$ e mínimo de 0,018 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$ para o período de seca; e mediana de 0,263 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$, com máximo de 9,7 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgCha})^{-1}] \text{h}^{-1}$ e mínimo de 0,022 $[\text{mgC} \cdot (\text{mgChl-a})^{-1}] \text{h}^{-1}$ na época de chuvas.

Assim, a explicação para o aumento registrado seria a mesma apresentada no aumento verificado nas taxas de PPR e concentração de clorofila-a, no caso, eutrofização natural do sistema. Outro indício que favorece tal raciocínio é a tabela de correlações (tabela 5); nesta, constata-se que há correlações relativamente elevadas entre taxa de assimilação e amônio ou ortofosfato, indicando que há uma relação de dependência da taxa de assimilação em função destes nutrientes, que provavelmente a limitam, uma vez que seus valores, embora tenham apresentado aumento, comparados a outros estudos, são baixos. Nenhum estudo foi publicado, até o momento, mostrando correlações entre mudanças da comunidade fitoplanctônica e taxa de assimilação. Em contra partida a relação entre taxa de

assimilação e estado trófico já foi estabelecida e alguns estudos (Curl & Small, 1965) usam a primeira como indicador da segunda.

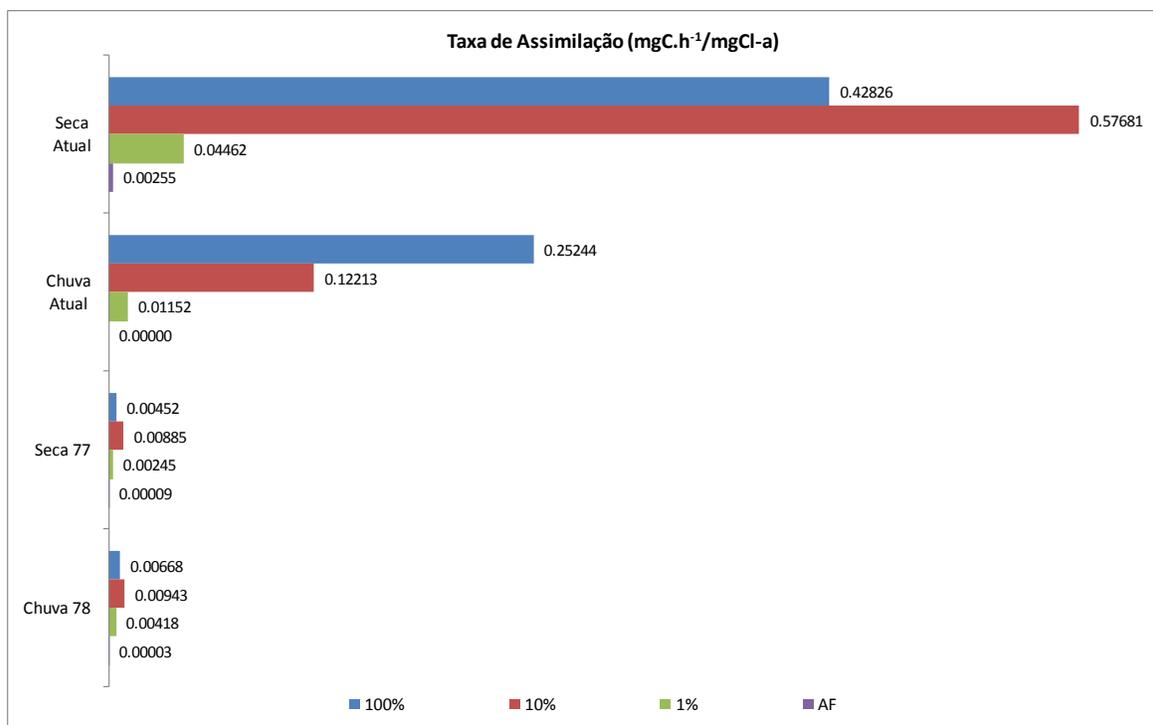


Figura 31 – Medianas das taxas de assimilação obtidas para os períodos de seca e chuva atuais e taxas medidas por Barbosa (1979).

Conclusões

- Os parâmetros físicos mensurados se encontraram na faixa de normalidade de um lago oligotrófico tropical. Todos os parâmetros apresentaram variação sazonal pronunciada, salvo TDS, redox e alcalinidade, que mantiveram a mesma faixa de valores nas camadas superiores do lago em ambas as estações, apresentando alguma variação apenas nas zonas mais profundas.
- Comparando os dados referentes ao presente estudo com aqueles obtidos por Barbosa (1979), verificou-se as seguintes alterações: i) aumento da temperatura, em especial no período de seca; ii) aumento nas taxas de oxigênio dissolvido, em ambas as estações; iii) diminuição dos valores de pH, em especial no período chuvoso; iv) aumento nas taxas de CID, em ambas as estações; v) aumento dos valores de condutividade. Os demais parâmetros não variaram ou não foram passíveis de comparação.
- Em relação aos parâmetros químicos, os valores obtidos para os nutrientes dissolvidos estiveram todos dentro da média para ambientes lênticos e oligotróficos. Variação sazonal foi identificada para nitrogênio total, amônio e nitrato, os demais nutrientes apresentaram menor variação entre as estações. Em relação aos dados de Barbosa (1979), para fósforo total foi registrado aumento das concentrações mensuradas durante o período chuvoso; não foi possível avaliar mudanças nas concentrações de nitrogênio total e amônio, pois estas não foram mensuradas no estudo de Barbosa. As demais variáveis não apresentaram variação aparente.

- Mudanças expressivas da comunidade fitoplanctônica foram observadas em ambas as estações, quando comparados os resultados recentes aos obtidos por Barbosa (1979). Especificamente, foram evidenciadas durante a estação seca as seguintes alterações: i) aumento expressivo na contribuição relativa do grupo Clorófitas; ii) surgimento, embora pouco expressivo, de representantes dos grupos Crisofíceos e Criptofíceos; iii) diminuição da contribuição relativa dos grupos Pirrófitas, Cianofíceas e Euglenofíceas. Já no período de chuvas as variações foram: i) aumento da contribuição relativa do grupo Clorófitas e Cianofíceas; ii) diminuição da contribuição relativa das Euglenofíceas e Pirrófitas.
- A densidade fitoplanctônica observada por Barbosa, L.G.(2009) apresentou variação sazonal, com maiores valores no período de seca. Semelhantemente, as concentrações de clorofila-a foram maiores também neste período. Comparados aos dados de Barbosa (1979), as taxas de clorofila aumentaram de 4 a 6 vezes, indicando uma resposta a um processo de eutrofização natural.
- Foram registradas taxas de produção superiores a todas outras já registradas até o presente momento. Os dados não apresentaram distribuição normal com ampla variação. Dessa forma, embora tenham sido registrados altos índices de produção, as medianas indicaram um aumento de cerca de 2 a 2,5 vezes em relação aos primeiros valores registrados para esse ambiente (Barbosa, 1979). Foi constatada diferença entre as taxas obtidas entre as diferentes profundidades de estudo com exceção da

relação entre as profundidades referentes a 100% e 10% de penetração de luz. Não foi diagnosticada variação significativa entre manhã e tarde para os valores referentes à produtividade primária.

- A variação sazonal para medidas de PPR foi nitidamente definida e relacionada à dinâmica dos nutrientes no lago; nas profundidades referentes ao ponto de compensação e zona afótica o efeito da sazonalidade não foi estatisticamente comprovado.
- Não há grande variação entre os anos amostrais, indicando que os padrões estabelecidos em escala menor são relativamente estáveis.
- Os valores de PPR se correlacionaram mais intensamente com os seguintes parâmetros: clorofila-a, densidade fitoplanctônica, pH, temperatura, concentrações de amônio e ortofosfato.
- A correlação observada entre a produtividade e concentrações de amônio e ortofosfato indica a limitação do processo de produção por ambos os nutrientes dissolvidos na Lagoa Carioca.
- A taxa de assimilação mostrou grandes mudanças quando comparada com os estudos de Barbosa (1979). Correlacionou-se bem com nutrientes indicando participação desses nas mudanças observadas na taxa de assimilação.
- Comparando-se apenas os valores referentes à profundidade ótima, observou-se certa similaridade com outros sistemas, embora no geral (medianas), os valores obtidos sejam inferiores.

Referências bibliográficas

ARRIGO, K.R. e MCCLAIN, C.R. (1994) Spring phytoplankton production in the Western Ross Sea. *Science*, 266, 261-263

BARBOSA, F.A.R. (1979) – Produção primária e fatores ambientais na lagoa Carioca – Parque Florestal do Rio Doce – MG. 205 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.

BARBOSA, F.A.R & TUNDISI (1980). Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow quaternary lake at eastern Brazil. *Arch. Hydrobiol.*90(2):139-161.

BARBOSA, F.A.R. (1981). Variações diurnas (24h) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na Lagoa Carioca. Parque do Rio Doce - MG. 207p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos - São Carlos - SP.

BARBOSA, F. A. R; TUNDISI, J. G; HENRY, R. (1989). Diel variations in Shallow tropical brazilian lake.2.Primary Production, photosynthetic efficiency and chlorophyll-a content. – *Archiv. FUR. Hydrobiol.*116 (4):435-448, OCT, 1989.

BARBOSA, L.G. (2009) - Estrutura, dinâmica e adaptações de comunidades de Desmidiás (Zygnemaphyceae) no período de cinco anos em dois lagos naturais (Parque Estadual do Rio Doce, MG): tendências em lago raso e profundo. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, MG

BARROS, F.G.N.; AMIN, M.M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, Taubaté, SP, Brasil, jan-abr/2008, G&DR • v. 4, n. 1, p. 75-108.

BEARDALL J, IHNKEN S, QUIGG A (2009) Gross and net primary production: closing the gap between concepts and measurements. *Aquat Microb Ecol* 56:113–122

BEHRENFELD, M.J., and FALKOWSKI, P.G., Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration, *Limnol. Oceanogr.*, 41(1), 1-20, 1997.

BRAY, G. A., 1960. A Simple efficient liquid scintillation method for counting aqueous solutions in a liquid scintillation counter. *Anal. Biochem.* 1: 279–285.

BRITO, F. R. A., A. M. H. C. OLIVEIRA & A. C. JUNQUEIRA, 1997. A ocupação do território e a devastação da Mata Atlântica. In Paula, J. A. (ed.), Biodiversidade, População e Economia: Uma Região de Mata Atlântica. Belo Horizonte, Rona Editora, PADCT-CIAMB/CEDEPLAR-ECMVS/UFMG 49–89.

CAMARGO, R. A possível futura escassez de água doce que existe na Terra. São Paulo: Revista Sinergia, vl.3, n.1, 2003.

COLE, J. J., N. F. CARACO, G. W. KLING, AND T. K. KRATZ. 1994. Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. *Science* 265:1568–1570.

CROWDER, L.B., RAPPORTEUR, DRENNER, R.W. et al., (1988). Food web interactions in lakes. In: CARPENTER (ed.) Complex interactions in lake communities. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 283p.

CURL Jr., H. & SMALL, L. F., 1965, Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 67-73.

DELARIVA, R. L.; AGOSTINHO, A. A. Introdução de espécies: uma síntese. *Acta Sci.*, v. 21, n. 2, p. 255-262, 1999.

DI CASTRI, F. History of biological invasions with special emphasis on the old world. In: Drake, J.A.; Mooney, H.A.; Di Castri, F.; Groves, R.H.; Kruger, F.J.; Rejmánek, M.; Williamson, M. Biological invasions. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 1-26.

DIAS-FILHO, M.B. A fotossíntese e o aquecimento global. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006b. 24p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 234).

DILLON AND MOLOT, 1997 P.J. Dillon and L.A. Molot, Dissolved organic and inorganic carbon mass balances in central Ontario lakes, *Biogeochemistry* 36 (1997), pp. 29–42.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: FINEP/Interciência, 1998. 575 p.

GODINHO, A.L.; FONSECA, M.T.; ARAÚJO, L.M. The Ecology of Predator Fish Introductions: The case of Rio Doce Valley Lakes. In: Ecology and Human Impact on Lakes and Reservoirs in Minas Gerais R.M.; Giani, A. & von Sperling – SEGRAC – Belo Horizonte (MG). 1994. 77-83 pp. 193p.

GOLTERMAN & CLYMO (1969). Methods for chemical analysis of freshwater. IPB – Handbook nº 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 171p.

GUILDFORD S.J., HECKY R.E., TAYLOR W.E., MUGIDDE R. & BOOTSMA H.A. (2003) Nutrient enrichment experiments in tropical Great Lakes Malawi/Nyasa and Victoria. *Journal of International Great Lakes Research*, 29, 89–106.

HEALEY F.P. & HENDZEL L.L. (1979) Indicators of phosphorus and nitrogen deficiency in five algae in culture. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36, 1364–1369.

HENRY, R., TUNDISI, J. G., & IBÁÑEZ, M. S. (1997). Enrichment experiments and their effects on phytoplankton (biomass and primary productivity). In J. G. Tundisi, & Y. Saijo (Eds.), *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil* (pp. 243–264). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos.

KOROLEFF, F. 1976. Determination of nutrients, p. 117-182. In K. Grasshoff (ed.), *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim.

LATINI, A.O.; LIMA-JUNIOR, D.P.; GIACOMINI, H.C.; LATINI, R.O.; RESENDE, D.C.; ESPÍRITO-SANTO, H.M.V.; BARROS, D.F.; PEREIRA, T.L. Alien fishes in lakes of the Doce river basin (Brazil): range, new occurrences and conservation of native communities. *Lundiana*, v. 5, n. 2 p. 135-142. 2004.

LONG SP, HUMPHRIES S, FALKOWSKI PG. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45:633–62

LORENZEN, C. J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12: 343–346.

MACKERETH, F.J.H. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologists* (F.J.H. Mackereth, J.Heron, J.F.Talling) - Ambleside: Freshwater Biological Association.

PETRUCIO, M. M. (2003) – Produtividade bacterioplanctônica e fitoplanctônica nos ecossistemas aquáticos do trecho médio da bacia do Rio Doce – MG. 111 p. Tese de Doutorado. São Carlos : UFSCar, São Paulo.

PETRUCIO, MM. and BARBOSA, FAR. Diel variations of phytoplankton and bacterioplankton production rates in four tropical lakes in the middle Rio Doce basin (southeastern: Brazil). *Hydrobiologia*, 2004, vol. 513, no. 1, p. 71-76.

PETRUCIO MM, BARBOSA FAR, FURTADO ALS (2006) Bacterioplankton and phytoplankton production in seven lakes in the Middle Rio Doce basin, south-east Brazil. *Limnologica* 36:192–203

SALA, O. E.; CHAPIN III, F. S.; ARMESTO, J. J.; BERLOW, E.; BLOOMGIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L. F.; JACKSON, R. B.; KINSIG, A.; LEEMANS, R.; LODGE, D. M.; MOONEY, H. A.; OESTERHELD, M.; POFF, N. L.; SYKES, M. T.; WALKER, B. H.; WALKER, M. & WALL, D. H. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287: 1770-1774.

SALAS, H. J., & MARTINO, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, 25, 341–350.

STEEMANN – NIELSEN (1952a). The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea. *J.Cons.Perm.INT.Explor.Mer.*18:117-140.

STENUITE S., PIRLOT S., HARDY M.-A., SARMENTO H., TARBE A.-L., LEPORCQ B. & DESCY J.-P. (2007) Phytoplankton production and growth rate in Lake Tanganyika: evidence of a decline in primary productivity in recent decades. *Freshwater Biology*, 52, 2226–2239.

SUNAGA, T. & VERANI, J.R. 1991. The fish communities of the lakes in Rio Doce Valley, Northeast Brazil. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, v.24, pp.2563-2566.

TEIXEIRA, C. (1973). Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. *Bolm. Ins. Oceanogr. USP*. 22(335)59-92.

THOMAZ, S.M.; LANSAC-TÔHA, F.A.; ROBERTO, M.C.; ESTEVES, F.A.; LIMA, A.F. Seasonal variation of some limnological factors of lagoa do Guaraná, a várzea lake of the high rio Paraná, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revue D'Hydrobiologie Tropicale*, v. 25, p. 269-276, 1992.

TUNDISI, J.G., SAIJO, Y., (1997). *Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos.

TUNDISI, J. G.. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: Rima, 2003, 248p.

VASCONCELLOS, M.G.; ASSUMPÇÃO, A.M.; SOARES, A.S.; LUCCA, J.V.; VERANI, J.R.; FENERICH-VERANI, N. & ROCHA, O. Análise da diversidade de espécies de peixes em 4 lagoas do Sistema de Lagos do Vale do Médio Rio Doce – MG, em relação à ocorrência de espécies exóticas. In: Rocha, O.; Espíndola, E.L.G.; Fenerich-Verani, N.; Verani, J.R. & Rietzler, A.C. (Orgs.). Espécies invasoras em águas doces: Estudos de caso e propostas de manejo. São Carlos EDUFSCar, 2005. p. 119-129.

VOLLENWEIDER R.A.,(1969). A manual of methods for measuring primary production in aquatic environments.IBP Handbook nº 12, Blackwell Scientific, Oxford,213 p.

VOLLENWEIDER, RA. 1983. Eutrophication. Notas del segundo encuentro regional de eutroficación en lagos cálidos, Brasil, 16p.

WETZEL, R. G (1975). Limnology. United State of America. 1ed. 743p.

WETZEL, R. G. (1993). Limnologia Ed. Fundação Calouste Gulbenkian.1026p.

WOODWARD, G. & HILDREW, A. G. 2001. Invasion of a stream food web by a new top predator. Journal of Animal Ecology, 70: 273-288.

YACOBI, Y. Z. & T. ZOHARY, 2010. Carbon:chlorophyll a ratio, assimilation numbers and turnover times in Lake Kinneret phytoplankton. Hydrobiologia. doi:10.1007/s10750-009-0023-3.