



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

***Efeitos do enriquecimento com nutrientes (N e P) em
diferentes condições de luz sobre o crescimento do
fitoplâncton em um reservatório eutrófico
no semi-árido brasileiro***

Fabiana Oliveira de Araújo

Natal/RN
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Fabiana Oliveira de Araújo

Efeitos do enriquecimento com nutrientes (N e P) em diferentes condições de luz sobre o crescimento do fitoplâncton em um reservatório eutrófico no semi-árido brasileiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Bioecologia Aquática.

Orientadora: Dra Renata de Fátima Panosso

Co-orientador: Dr José Luiz de Attayde

Natal/RN

2009

Fabiana Oliveira de Araújo

Efeitos do enriquecimento com nutrientes (N e P) em diferentes condições de luz sobre o crescimento do fitoplâncton em um reservatório eutrófico no semi-árido brasileiro

BANCA EXAMINADORA

Dra Vera Lúcia de M. Huszar, UFRJ

Dr André Megali Amado, UFRN

Dr José Luiz Attayde, UFRN

Dra Renata Panosso, UFRN

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar meu caminho e por ter me dado forças para alcançar meus objetivos;

Agradeço aos meus pais, Josemar e Fátima, pelo amor, carinho e compreensão; e aos meus irmãos, Janaína Araújo e Josemar Júnior, pelo carinho e por compreenderem meus momentos de estresse;

Ao meu noivo, Rodrigo Nascimento, pelo amor, carinho e pela compreensão e ajuda nos momentos difíceis;

A minha família pelo apoio e, em especial, a minha avó Ivone;

Aos meus queridos orientadores, Coca (José Luiz) e Renata, pela dedicação, compreensão, carinho, apoio, incentivo e pela confiança depositada em mim;

Ao meu querido amigo Dan (Danyhelton) pelo carinho e amizade nestes 8 anos, e pelos inúmeros momentos de ajuda nas aventuras das coletas e análises no laboratório, sempre muito atencioso e prestativo;

Agradeço também a Jamila, Antônio, Gabriela e Jurandir pela parceria nas coletas e realização dos bioensaios, muito obrigada;

Ao meu querido amigo Pan (Francisco) pela ajuda, apoio, incentivo e amizade;

A querida amiga Marcolina, companheira de análises, pelo carinho, apoio e amizade;

A todos que fazem parte do Laboratório de Ecologia Aquática (LEA/UFRN) e do Laboratório de Microbiologia Aquática (LAMAq/UFRN) que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho, em especial a Rosemberg, pela amizade, e a Kellianne e Ângela, pela ajuda;

Ao motorista Josenilton pela imensa ajuda nos momentos de coleta e realização dos bioensaios, sempre muito disposto a ajudar;

Ao Instituto de Gestão das Águas do RN (IGARN) pelo apoio técnico;

Aos departamentos do Centro de Biociências/UFRN: Botânica, Ecologia e Zoologia (DBEZ), de Microbiologia e Parasitologia (DMP), Bioquímica (DBQ) e Biologia e Genética (DBG), pelo apoio técnico;

A Ivaneide Costa pelas contribuições na qualificação e ajuda com o fitoplâncton

A André Megali pelas contribuições na qualificação e participação na banca de defesa;

A Vera Huszar pela participação na banca de defesa;

A Gorete, da SEMARH, pela ajuda e dados técnicos;

A Ueliton Pinheiro, Meteorologista da EMPARN, pelos dados técnicos;

A todos que fazem o Restaurante Panela de Peixe (Itajá/RN) pelo apoio;

A coordenação do curso de Pós-Graduação em Ecologia pelo apoio;

Aos colegas de turma pelo apoio e incentivo;

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUÇÃO	1
OBJETIVO GERAL	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
2. MATERIAIS E MÉTODOS	7
ÁREA DE ESTUDO	7
CLOROFILA, NUTRIENTES E LUZ	8
BIOENSAIOS – DESENHO EXPERIMENTAL.....	9
ANÁLISE DAS AMOSTRAS	10
ANÁLISE DOS DADOS	11
3. RESULTADOS.....	13
CLOROFILA, NUTRIENTES E LUZ	13
BIOENSAIOS.....	14
4. DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
7. ANEXOS.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EFEITOS DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES (N E/OU P) E DAS CONDIÇÕES DE LUZ (ALTA LUZ E BAIXA LUZ) NAS TAXAS DE CRESCIMENTO DO FITOPLÂNCTON DURANTE OS BIOENSAIOS NO RESEVATÓRIO EARG, E CORRESPONDENTE RAZÃO TN:TP DA COLUNA D'ÁGUA; RESULTADOS EM NEGRITO = EFEITO SIGNIFICATIVO PARA O(S) NUTRIENTE(S) ASSINALADO; $P < 0,05$; NS = NÃO SIGNIFICATIVO, $P > 0,05$). 16

TABELA 2 - RESULTADO DO TESTE T PARA O EFEITO DA INTENSIDADE LUMINOSA SOBRE A BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA FINAL NOS BIOENSAIOS NO RESERVATÓRIO EARG (+ = EFEITO POSITIVO, - = EFEITO NEGATIVO, $P < 0,05$; NS = NÃO SIGNIFICATIVO, $P > 0,05$).20

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – MAPA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS/AÇU (RN) COM DESTAQUE PARA A LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ARMANDO RIBEIRO GONÇALVES.....8
- FIGURA 2 - ÁREA MONITORADA NO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ARMANDO RIBEIRO GONÇALVES/RN (LINHA VERMELHA).....9
- FIGURA 3 - DESENHO EXPERIMENTAL DOS BIOENSAIOS. TRATAMENTOS: CONTROLE (C), NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), NITROGÊNIO E FÓSFORO (NP)..... 11
- FIGURA 4 - ESTRUTURAS DE MADEIRA COM AS GARRAFAS DOS BIOENSAIOS PRESAS E OS PESOS DE CONCRETO..... 11
- FIGURA 5 - PRECIPITAÇÃO TOTAL NO MUNICÍPIO DE ASSU/RN E MÉDIA MENSAL DAS COTAS DO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ARMANDO RIBEIRO GONÇALVES DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO E REALIZAÇÃO DOS BIOENSAIOS (SETEMBRO/2007 A AGOSTO/2008)..... 14
- FIGURA 6 - VARIAÇÃO TEMPORAL DA PROFUNDIDADE MÉDIA, DA PROFUNDIDADE DO DISCO DE SECCHI E DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DA CLOROFILA, FÓSFORO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL E RAZÕES ATÔMICAS NT:PT DOS PONTOS DE COLETA NO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ARMANDO RIBEIRO GONÇALVES. LINHAS AZUIS: REPRESENTA INÍCIO DAS CHUVAS; LINHAS VERMELHAS: LIMITE ESTABELECIDO PELA RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 PARA ÁGUAS DE CLASSE II ([C]CLOROFILA A: ATÉ 30 $\mu\text{g/L}$; [D] FÓSFORO TOTAL: ATÉ 30 $\mu\text{g/L}$); LINHA VERDE: LIMITE PROPOSTO POR THORNTON & RAST (1993) PARA RESERVATÓRIOS EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS..... 15
- FIGURA 7 - REGRESSÕES LINEARES ENTRA O LOGARITMO DAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA E O LOGARITMO DAS CONCENTRAÇÕES DE N TOTAL (A) E DAS RAZÕES NT:PT (B)..... 17
- FIGURA 8 - TAXA DE CRESCIMENTO DO FITOPLÂNCTON (μ) MÉDIA (\pm DESVIO PADRÃO) NOS BIOENSAIOS INCUBADOS SOB (A) ALTA E (B) BAIXA INTENSIDADE LUMINOSA. TRATAMENTOS: C (CONTROLE, SEM ADIÇÃO DE NUTRIENTES), N (ADIÇÃO DE N-NO₃), P (ADIÇÃO DE P-PO₄) E NP (ADIÇÃO DE N-NO₃ E P-PO₄). 17
- FIGURA 9 A - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS BIOENSAIOS EXPOSTOS À ALTA INTENSIDADE LUMINOSA: (A) SETEMBRO/2007, (B) OUTUBRO/2007, (C) NOVEMBRO/2007, (D) DEZEMBRO/2007, (E) JANEIRO/2008, (F) FEVEREIRO/2008, (G) MAIO/2008, (H) JUNHO/2008 E (I) AGOSTO 2008. EM VERMELHO: RESULTADOS SIGNIFICATIVOS ($P < 0,05$). 18
- FIGURA 9 B - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS BIOENSAIOS EXPOSTOS À BAIXA INTENSIDADE LUMINOSA: (J) SETEMBRO/2007, (L) OUTUBRO/2007, (M) NOVEMBRO/2007, (N) DEZEMBRO/2007, (O) JANEIRO/2008, (P) FEVEREIRO/2008, (Q) MAIO/2008, (R) JUNHO/2008 E (S) AGOSTO/2008. EM VERMELHO: RESULTADOS SIGNIFICATIVOS ($P < 0,05$). 19

FIGURA 10 – MAGNITUDE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES SOBRE O CRESCIMENTO DO FITOPLÂNCTON NOS BIOENSAIOS INCUBADOS SOB (A) ALTA E (B) BAIXA INTENSIDADE LUMINOSA. N: EFEITO DA ADIÇÃO DE NITROGÊNIO (N-NO₃); P: EFEITO DA ADIÇÃO DE FÓSFORO (P-PO₄); E NP: EFEITO DA ADIÇÃO SIMULTÂNEA DE NITROGÊNIO E FÓSFORO (N-NO₃ E P-PO₄). ASTERISCO REPRESENTA EFEITO SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTE DE ZERO (P < 0,05).....210

FIGURA 11 – BIOMASSA FINAL FITOPLANCTÔNICA (MÉDIA E DESVIO PADRÃO) NOS TRATAMENTOS CONTROLE, ADIÇÃO DE P, ADIÇÃO DE N E ADIÇÃO DE NP, NOS BIOENSAIOS INCUBADOS SOB ALTA E BAIXA INTENSIDADE LUMINOSA. ASTERISCO REPRESENTA RESULTADOS SIGNIFICATIVOS PARA O TESTE T (P < 0,05). EIXO X – LEGENDA PARA OS MESES EM QUE OS BIOENSAIOS FORAM REALIZADOS, SENDO AL PARA O TRATAMENTO DE ALTA LUZ E O BOX PLOT SEGUINTE, PARA O TRATAMENTO DE BAIXA LUZ.....21

RESUMO

O aumento da poluição nos ecossistemas aquáticos nas últimas décadas tem causado uma expansão da eutrofização e perda da qualidade da água para o consumo humano. O aumento da frequência e intensidade de florações de cianobactérias tem sido reconhecido com o principal problema ligado a eutrofização e qualidade da água. O conhecimento dos fatores ambientais que controlam essas florações é um passo fundamental para a gestão de recuperação de ecossistemas aquáticos eutrofizados. A produtividade em ecossistemas aquáticos é dependente da disponibilidade de luz e nutrientes. No presente trabalho, nós avaliamos a importância relativa da concentração dos principais nutrientes (nitrogênio e fósforo) e da luz para o crescimento fitoplanctônico no principal reservatório do estado do Rio Grande do Norte, o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (EARG), que é um sistema eutrofizado, dominado por cianobactérias potencialmente tóxicas. A limitação do crescimento fitoplanctônico foi avaliada através de bioensaios usando enriquecimento diferencial de nutrientes (N e/ou P) sob duas condições de luz (baixa e alta luz) e monitoramento mensal das concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo totais), clorofila *a* e transparência da água (profundidade de Secchi) na região pelágica. Nossos resultados confirmaram que o reservatório EARG é um sistema eutrófico com baixa qualidade da água. Os resultados dos bioensaios sobre a limitação do crescimento fitoplanctônico foram contraditórios com os resultados preditos pelas razões NT:PT, o que indica que essas razões não são um bom indicador da limitação do crescimento. O nitrogênio foi o nutriente limitante, tanto em frequência quanto em magnitude. A luz e o regime hidrológico afetaram a resposta do fitoplâncton ao enriquecimento com nutrientes. As condições eutróficas deste reservatório, dominado por florações de cianobactérias, demanda estratégias de manejo a fim de garantir os usos múltiplos neste sistema, incluindo o abastecimento de água para o consumo humano. Embora o nitrogênio seja o nutriente limitante, um programa de manejo efetivo deverá focar sobre a redução da entrada de fósforo e nitrogênio.

ABSTRACT

The increasing of pollution in aquatic ecosystems in the last decades has caused an expansion of eutrophication and loss of water quality for human consumption. The increase of frequency and intensity of cyanobacteria blooms have been recognized as a major problem connected to water quality and eutrophication. The knowledge of environmental factors controlling these blooms is a key step towards the management for recovering aquatic ecosystems from eutrophic conditions. Primary productivity in aquatic ecosystems is dependent on light and nutrients availability. In the present work we evaluated the relative importance of the concentration of major nutrients, such as phosphorus and nitrogen, and light for phytoplankton growth in the main water reservoir of Rio Grande do Norte State, named Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (EARG), which is an eutrophic system, dominated by potentially toxic cyanobacteria populations. Limitation of phytoplankton growth was evaluated through bioassays using differential enrichment of nutrients (N and/or P) under two light conditions (low light and high light) and monthly monitoring of chlorophyll-a and nutrients (total nitrogen and phosphorus) concentrations, and water transparency (Secchi depth) at the pelagic region. Our results confirm that EARG reservoir is an eutrophic system with a low water quality. Results of bioassays on the growth of phytoplankton limitation (N or P) were conflicting with the results predicted by the TN:TP ratios, which indicates that these ratios were not a good indicator of algal growth limitation. Nitrogen was the limiting nutrient, considering both frequency and magnitude. Light and hidrology affected phytoplankton response to nutrient enrichment. The extreme eutrophic conditions of this reservoir, dominated by cyanobacteria blooms, demand urgent managing strategies in order to guarantee the multiple uses for this system, including water supply for human population. Although nitrogen is the limiting nutrient, an effective management program must focus on the reduction of both phosphorus and nitrogen input.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o aumento da exploração dos recursos naturais têm provocado um aumento na entrada de poluentes nos ecossistemas aquáticos da Terra nas últimas décadas, sendo a perda da qualidade da água para abastecimento humano uma das principais conseqüências. Com a crescente expansão da eutrofização artificial, pesquisadores e gestores de ecossistemas aquáticos têm voltado suas atenções para o assunto desde a década de 1970. Uma das principais conseqüências da eutrofização artificial associada à perda da qualidade da água, é o aumento da freqüência e intensidade das florações de algas e cianobactérias (Smith et al. 2006). A dominância quase que permanente das cianobactérias em ambientes eutrofizados é considerada como a última fase do processo de eutrofização (Dokulil & Teubner 2000). Florações de cianobactérias conferem gosto e odor indesejados à água, trazendo conseqüências negativas para seus usos múltiplos. Além disso, um dos problemas mais significativos associados à dominância de cianobactérias é a capacidade de produção de toxinas por diversas espécies, representando riscos à saúde humana (Chorus & Bartram 1999).

Historicamente, a preocupação com o controle de florações de microalgas em ecossistemas de água doce resultou na criação de modelos que relacionam as concentrações de clorofila *a* (indicador da biomassa algal) com as concentrações de fósforo (Vollenweider 1968; Dillon & Rigler 1974). Tais modelos embasaram a criação de diretrizes para o controle da eutrofização na América do Norte e Europa.

A produção primária em ecossistemas aquáticos depende principalmente da disponibilidade de luz e nutrientes (Smith 1979). A importância relativa das concentrações dos principais nutrientes (fósforo e nitrogênio) no controle da produção primária e do crescimento do fitoplâncton em ecossistemas de água doce é uma questão em debate na limnologia há quatro décadas. Nos anos iniciais, o conceito de que o crescimento do fitoplâncton de água doce é limitado por fósforo (e.g. Schindler, 1977; Hecky & Kilham 1988) tornou-se amplamente aceito para ambientes localizados em regiões temperadas. Até meados da década de 80, os estudos sobre o nitrogênio estavam voltados mais para os ecossistemas marinhos (Hecky & Kilham 1988) mas, no início da década seguinte, passou a ser considerado como fator limitante secundário ao crescimento fitoplanctônico em ecossistemas de

água doce. Entretanto, diversas pesquisas têm enfatizado a importância das concentrações do nitrogênio e de outros fatores, como a luz e a herbivoria (Rhee & Gotham 1981; Carpenter et al., 1985; Smith, 1986; Vanni & Temte 1990; Mazumder & Havens 1998; Panosso et al. 2003;), no controle do crescimento de produtores primários em lagos e reservatórios. O reconhecimento dos fatores que controlam o crescimento do fitoplâncton é de fundamental importância para que iniciativas voltadas para a recuperação de ecossistemas aquáticos eutrofizados sejam planejadas de forma adequada.

Os métodos usados para avaliar a limitação por fósforo (P) ou por nitrogênio (N) são os mais diversos, dentre eles: a avaliação de sua composição elementar e quotas celulares; medidas de processos fisiológicos, tais como o aumento da respiração e taxas da fixação de carbono no escuro e perturbação da taxa fotossintética seguida do re-fornecimento de nutrientes; bioensaios monitorando o crescimento de espécies teste ou de populações naturais seguido de enriquecimento com nutrientes; e, o mais simples deles, a análise da disponibilidade de nutrientes no ambiente (Beardall, J., Young, E. & Roberts, S. 2001). Neste último método, a limitação por nutrientes pode ser avaliada através da obtenção das razões entre as concentrações dos elementos, especialmente nitrogênio total e fósforo total (NT:PT), no corpo d'água em que os organismos estão crescendo. Diferentes razões entre nutrientes têm sido propostas por Redfield et al. (1958), Smith (1979, 1983), e Guildford & Hecky (2000). Em geral, tem sido considerado que razões molares entre NT:PT acima de 21:1, implicam numa limitação por P, enquanto razões abaixo de 13:1 sugerem uma limitação por N (Smith 1979) e razões intermediárias indicam que N e P co-limitam o crescimento fitoplanctônico.

Além das razões entre as concentrações de nutrientes, sugere-se que a concentração de um nutriente pode afetar a resposta da comunidade fitoplanctônica à concentração do outro elemento. Por exemplo, Smith (1982) relata que a resposta biológica de um lago ao aporte de P pode variar de acordo com as concentrações de N, pois a relação entre as concentrações de fósforo total e clorofila *a* se mostrou sensível às variações na razão N:P. Essa influência foi encontrada até mesmo em lagos onde o P foi considerado o único elemento que limita a produção primária. McCauley e colaboradores (1989) mostraram que as concentrações de N têm um efeito importante nas correlações entre TP e clorofila quando as concentrações de P são mais elevadas. Downing & McCauley (1992), avaliando as diferenças das

razões N:P entre lagos com diferentes níveis tróficos, encontraram uma alta razão TN:TP em lagos oligotróficos e razões reduzidas em lagos eutróficos, declinando em forma curvilínea com o aumento de P. A limitação por P foi bem demonstrada em seus resultados, mas a limitação por N pareceu ser regra em lagos com $TN:TP < 14$, especialmente se as concentrações de fósforo total são altas.

Variações temporais nos padrões de limitação por nutrientes podem ocorrer principalmente em lagos temperados, onde as estações do ano são bem diferenciadas em termos de condições climáticas (Vanni & Temte 1990; Elser et al. 1995; Hlaili et al. 2006). No verão, por exemplo, pode ser encontrada co-limitação por N e P, enquanto que somente N limita no inverno (Hlaili et al. 2006). Além das variações sazonais, variações entre anos na limitação por N e/ou P tem sido encontradas (Elser et al. 1995).

Os processos que governam as variações das razões entre nitrogênio e fósforo nos lagos também podem dirigir a limitação por nutrientes ao crescimento fitoplanctônico (Hecky & Kilham 1988; Howarth 1988). Os processos de sedimentação, por exemplo, podem remover da água preferencialmente o P levando o sistema em direção à limitação por este elemento (Howarth 1988). Frequentemente, o reservatório de P no sedimento é cerca de 100 vezes maior do que o valor presente na água do lago e, portanto, a concentração de P presente na água depende sobremaneira das interações água-sedimento (Sondergaard, M; Jensen, J P & Jeppensen, E., 2003). Por outro lado, lagos que são menos afetados pela deposição atmosférica de N_2 (Camacho et al 2003) ou que possuem altas taxas de desnitrificação (Lewis 2000) podem sofrer uma limitação por N.

As concentrações de nutrientes, além de determinar a biomassa da comunidade fitoplanctônica, podem ter influência na estrutura da comunidade. Devido à diferenças espécie-específicas das necessidades nutricionais para o metabolismo celular e reprodução, populações fitoplanctônicas podem responder de diferentes maneiras às alterações da razão N:P ao longo de um gradiente de estado trófico (Downing & McCauley 1992). Diante disto, vários trabalhos sugerem que as razões N:P do ambiente podem determinar quais populações serão dominantes (Schindler 1977; Smith 1983; Bulgakov & Levich 1999; Dokulil & Teubner 2000; Havens et al 2003). Altas razões N:P parecem desfavorecer as cianobactérias enquanto favorecem clorofíceas e diatomáceas, quando não houver limitação por sílica no caso deste último grupo (Bulgakov & Levich 1999; Sommer 1999). Pode

ainda haver diferenças dentro de uma mesma classe, como é o caso das cianobactérias. Cianobactérias não-fixadoras de N parecem dominar ambientes com alta razão N:P, enquanto que as espécies fixadoras dominam ambientes que sejam limitados por este nutriente, ou seja, ambientes com baixa razão N:P (10:1) (Smith 1983). Além das razões entre N e P, a forma predominante do N dissolvido presente na água tem influência no sucesso dos grupos fitoplanctônicos e na regulação da biomassa. Amônia favorece aquelas cianobactérias não fixadoras, enquanto que o nitrato favorece os grupos eucarióticos (Dokulil & Teubner 2000).

Os organismos fotossintetizantes necessitam de radiação solar como fonte de energia para a fixação do carbono, absorção de nutrientes e conseqüente crescimento (Reynolds 2006). Dessa forma, a disponibilidade de luz também pode ser um fator que limita a capacidade do fitoplâncton em assimilar nutrientes e transformar em nova biomassa algal. Assim, por afetar o consumo de nutrientes, diferentes condições de luz poderá favorecer diferentes estratégias de uso de nutrientes modificando assim a competição por nutrientes entre o fitoplâncton (Litchmam, Klausmeier & Bossard 2004). A limitação simultânea por luz e nutrientes é possível ocorrer em ambientes eutróficos onde o aumento da biomassa algal limita a penetração de luz. O efeito da limitação simultânea de luz e nutrientes sobre o crescimento fitoplanctônico foi inferido como sendo maior do que a soma de seus efeitos individuais (Rhee & Gotham 1981).

Smith (1986) explorou a influência da disponibilidade de luz (estimada através da transparência do disco de Secchi e profundidade do lago), e das concentrações de N e P sobre a biomassa relativa de cianobactérias. Em um determinado valor de transparência da água, a biomassa relativa de cianobactérias é reduzida se a razão TN:TP epilimnética é aumentada. Entretanto, quando a razão TN:TP é mantida constante, um aumento na transparência da água também resulta numa redução da proporção de cianobactérias. Smith (1986) demonstrou o efeito da luz, N e P sobre a biomassa relativa das cianobactérias. Entretanto, ele não distinguiu os efeitos da luz sobre a competição por N e P e do efeito direto da luz sobre a taxa de crescimento algal. Sabe-se atualmente que as cianobactérias fixadoras de N necessitam de maior intensidade luminosa para a fixação biológica do N, comparadas aos gêneros não fixadores (Havens et al 2003). Assim, é comum a localização de florações de cianobactérias fixadoras de N próximas à superfície do corpo d'água, o que causa

um sombreamento e conseqüente limitação do crescimento de outros grupos por luz.

Outros fatores, além das condições ambientais de luz e nutrientes, influenciam a dominância de cianobactérias em ambientes de água doce. A tolerância à elevadas temperaturas médias (acima de 25° C), o baixo requerimento de energia luminosa, a capacidade de armazenar P e de fixar N₂ atmosférico, a capacidade de flutuação através do desenvolvimento de aerótopos, a alta resistência à herbivoria, a supressão do crescimento de outras algas através da alelopatia, são alguns dos fatores que podem explicar a prevalência das cianobactérias em ambientes eutrofizados (Chorus & Bartram 1999; Dokulil & Teubner 2000).

A maioria dos trabalhos voltados a tentar explicar os fatores que limitam a biomassa fitoplanctônica têm sido realizados em ambientes temperados. Informações sobre o controle da biomassa algal em lagos tropicais são ainda preliminares. A carência de estudos nesses ambientes impossibilita uma comparação consistente com os lagos temperados. Alguns trabalhos apontam para uma limitação por N em lagos tropicais (Vincent et al. 1984; Lewis 2000). Experimentos realizados em microcosmos em dois reservatórios da Venezuela, evidenciaram que o enriquecimento com N e P causou um aumento significativo na abundância e biomassa do fitoplâncton (González & Ortaz 1998; González 2000). A biomassa respondeu em maior escala à adição de N (González & Ortaz 1998) ou ao P (González 2000). Por outro lado, Mazumder & Havens (1998) analisaram a relação entre as concentrações de clorofila *a* e nutrientes para lagos subtropicais e temperados com estrutura similar da comunidade de herbívoros para testar se lagos subtropicais são predominantemente limitados por N enquanto os lagos temperados são limitados em P. O nitrogênio não explicou a grande variação de clorofila *a* em lagos subtropicais quando comparados com os lagos temperados. De acordo com seus resultados, ambos os grupos de lagos parecem ser limitados por P. Estudos realizados por Huszar e colaboradores (2006) comparando sistemas tropicais e subtropicais com temperados também não evidenciaram uma forte limitação do crescimento fitoplanctônico por N, sugerindo que lagos tropicais podem variar na limitação por N, P, co-limitação ou nenhum.

A importância relativa dos fatores que limitam a biomassa algal em ambientes tropicais ainda é uma lacuna a ser investigada. Tal resposta é de fundamental importância devido à necessidade de gerenciamento e recuperação dos mananciais

eutrofizados frente à atual situação de escassez e perda da qualidade da água doce em todo mundo, particularmente em regiões semi-áridas. O estado do Rio Grande do Norte possui cerca de 95% do seu território inserido no semi-árido. Com intuito de minimizar os efeitos da escassez de água nessa região, a água é armazenada em reservatórios (açudes), usada principalmente para abastecimento das populações locais. O principal manancial de água deste estado, o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, comporta mais da metade de toda a água superficial acumulada no Estado do Rio Grande do Norte. Ultimamente, esse manancial se encontra eutrofizado (Mosca 2008), com domínio de florações de cianobactérias tóxicas (Costa et al. 2006). A eutrofização de lagos causa problemas sócio-econômicos como o alto custo para purificação da água para abastecimento doméstico, condições indesejáveis para a recreação e morte massiva de peixes devido às condições anóxicas. Compreender quais são os fatores que controlam a biomassa fitoplanctônica nesse ecossistema poderão fornecer as bases para o desenvolvimento de estratégias de manejo do reservatório, que possam minimizar a ocorrência da eutrofização e de seus efeitos adversos.

Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi de avaliar o papel dos macronutrientes, nitrogênio e fósforo, sob diferentes condições de luz, no controle do crescimento fitoplanctônico do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves.

Objetivos Específicos

- (1) Avaliar o efeito da adição de fósforo e/ou nitrogênio sobre o crescimento do fitoplâncton do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves (RN), a partir bioensaios de enriquecimento diferencial e comparar esses resultados com os obtidos a partir das razões da concentração total de N e P e das correlações entre a biomassa fitoplanctônica e a concentração de nitrogênio e fósforo totais da região pelágica do reservatório;
- (2) Avaliar os efeitos de diferentes intensidades luminosas sobre a resposta do crescimento fitoplanctônico à adição de nutrientes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A limitação do crescimento fitoplanctônico foi avaliada através de (i) bioensaios de enriquecimento diferencial com nutrientes (N e P); (ii) das razões das concentrações de nitrogênio e fósforo totais; e (iii) das correlações entre a biomassa fitoplanctônica (concentração de clorofila *a*) e a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo total) na região pelágica do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves. Para avaliar o efeito da luz sobre a resposta do fitoplâncton ao enriquecimento, os bioensaios foram incubados *in situ* sob duas condições de intensidade luminosa: mais elevada, na sub-superfície ($\pm 0,4$ m) e mais reduzida, a $\pm 2,5$ m de profundidade, doravante denominadas de condições de “alta” e “baixa” intensidade luminosa, respectivamente.

Área de estudo

O reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (EARG) está inserido na bacia hidrográfica do Rio Piranhas/Açu (Figura 1). Esta bacia ocupa uma superfície de 17.498,5 km², o que corresponde a cerca de 32,8% do território do estado do Rio Grande do Norte (SEMARH, 1998). Localiza-se integralmente em uma região de clima quente e semi-árido, que se caracteriza por apresentar grandes variações espaciais e temporais das precipitações. A precipitação média anual na bacia varia entre 500 mm e 700 mm, com a estação chuvosa entre os meses de fevereiro a maio, podendo ocorrer de janeiro a abril (Medeiros et al. 1998).

O reservatório EARG pereniza o escoamento dos rios Piancó/PB e Piranhas-Açu/RN com intuito de garantir o consumo urbano e rural, tornar efetiva a irrigação pública e privada, a pesca e a piscicultura, o controle das cheias, o turismo e o lazer. Possui uma capacidade máxima de acumulação de 2,4 bilhões de m³ e uma área de 19.200,00 ha. A barragem que forma o reservatório Armando Ribeiro Gonçalves se localiza a 6 km da cidade de Açu/RN (6° 08' S e 37° 07' W).

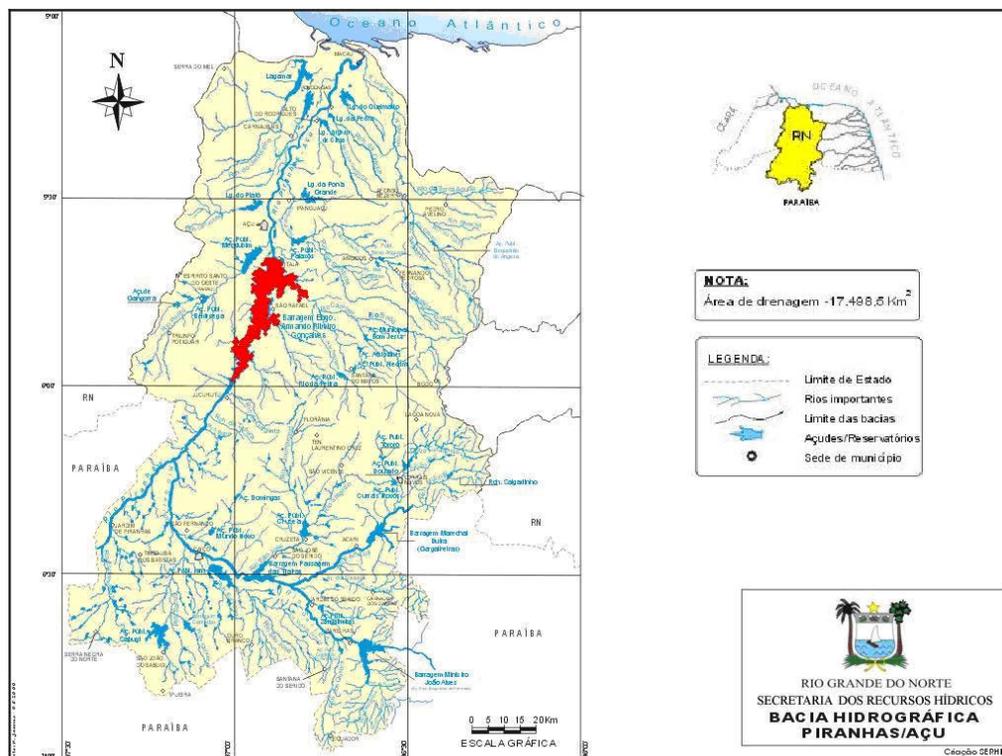


Figura 1 – Mapa da Bacia Hidrográfica do rio Piranhas/Açu (RN) com destaque para a localização do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves.

Clorofila, nutrientes e luz

Um monitoramento limnológico mensal no reservatório EARG foi realizado ao longo de um ano, entre agosto de 2007 e agosto de 2008, em quatro pontos distribuídos a partir da região central do reservatório até a região próxima à barragem (Figura 2). Em cada ponto de coleta, a transparência da água foi medida com um disco de Secchi. Também em cada área amostrada, foi coletada uma amostra integrada da coluna d'água (a cada dois metros de profundidade, da superfície até o fundo), com o auxílio da garrafa de Van Dorn, e homogeneizada em uma caixa integradora. A partir desta, sub-amostras foram retiradas para a análise das concentrações de nitrogênio total, fósforo total e clorofila *a*. Sub-amostras para a determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo totais foram acondicionadas em garrafas de polietileno previamente lavadas com HCl e água destilada, resfriadas em caixas térmicas com gelo durante o transporte para o laboratório, e preservadas em freezer. Alíquotas para análises das concentrações de clorofila-*a* (que variaram entre 200 e 400 ml) foram armazenadas em garrafas de polietileno e,

posteriormente, foram filtradas em filtros de fibra de vidro 934-AH Whatman (porosidade=1,5 μm). Os filtros foram armazenados à baixa temperatura durante o transporte ao laboratório.

Além da amostragem feita, dados sobre a precipitação na região de coleta e situação volumétrica do reservatório foram obtidos junto a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do RN.

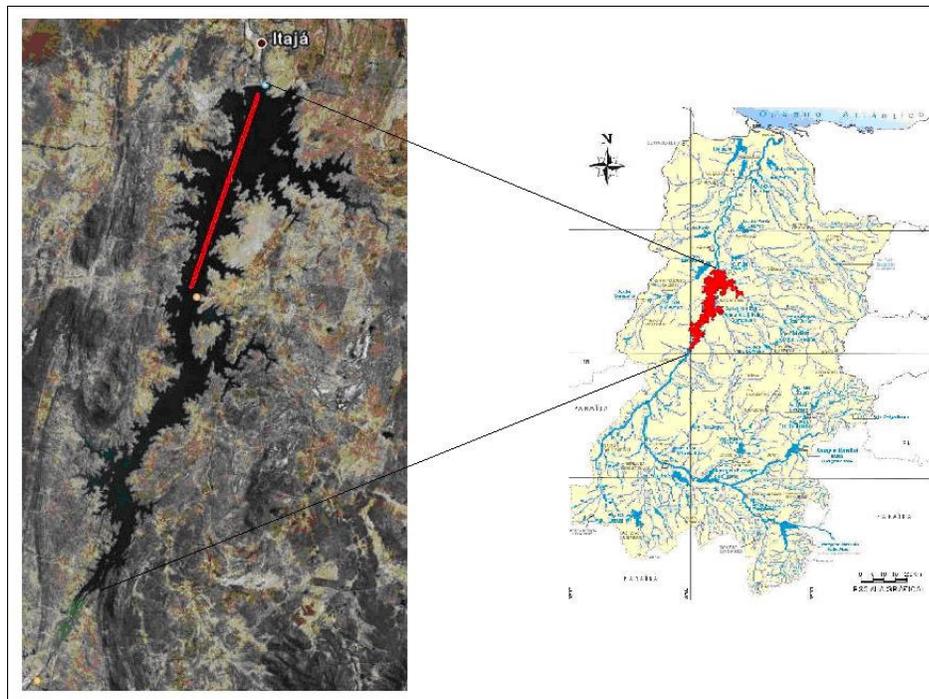


Figura 2 - Área monitorada no reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves/RN (linha vermelha).

Bioensaios – desenho experimental

Os bioensaios de enriquecimento diferencial foram realizados entre setembro de 2007 e agosto de 2008, exceto nos meses de março, abril e julho de 2008. Para a realização dos mesmos, um volume de 40 L de água (amostra integrada da coluna d'água) foi coletado no ponto mais próximo à barragem, com profundidade média de 10 m. A água utilizada nos bioensaios foi previamente filtrada através de rede de 68 μm de malha para a remoção do mesozooplâncton. Após a remoção de possíveis herbívoros (zooplâncton > 68 μm), sub-amostras de 1 L foram retiradas. A partir destas, volumes de 500 ml foram inoculados em garrafas plásticas de 500 ml, e o volume restante, foi utilizado para determinação da concentração da clorofila a

inicial. No total, 40 garrafas de 500 ml foram usadas como microcosmos em um bioensaio de desenho experimental bifatorial composto pelos seguintes tratamentos: **C** (controle - sem adição de nutrientes), **N** (adição de 160 μ M N-NO₃), **P** (adição de 10 μ M P-PO₄) e **NP** (adição de 160 μ M N-NO₃ e 10 μ M P-PO₄), com cinco réplicas para cada tratamento (Figura 3). Tais bioensaios foram realizados simultaneamente em duas profundidades: alta intensidade luminosa, posicionado a aproximadamente 0.40 cm da lâmina d'água, e o outro, baixa intensidade luminosa, localizado a aproximadamente 2,5 m (limite da zona eufótica, calculado como três vezes a profundidade do disco de Secchi). Para tanto, as garrafas experimentais foram presas a uma estrutura de madeira (Figura 4) que foi então instalada na região pelágica do reservatório com o auxílio de pesos de concreto. Os experimentos tiveram de 5 a 7 dias de duração. Após o período de incubação, sub-amostras de 400 ml foram retiradas de cada garrafa para análise da biomassa fitoplanctônica final (concentração de clorofila *a*).

Análise das amostras

A determinação das concentrações de clorofila *a* foi feita após a extração do pigmento com etanol concentrado (95%) à temperatura ambiente, durante aproximadamente 16 horas (Jespersen & Christoffersen, 1987). Após a extração do pigmento, os extratos foram filtrados e a concentração de clorofila *a* foi determinada colorimetricamente com o uso do espectrofotômetro (Lorenzen, 1967). O fósforo total foi determinado pelo método do ácido ascórbico após a digestão por persulfato (APHA, 1998) e o nitrogênio total foi obtido através da oxidação dos compostos nitrogenados a nitrato (Valderrama 1981), sendo este posteriormente determinado pelo método de Muller & Weidemann (1955).

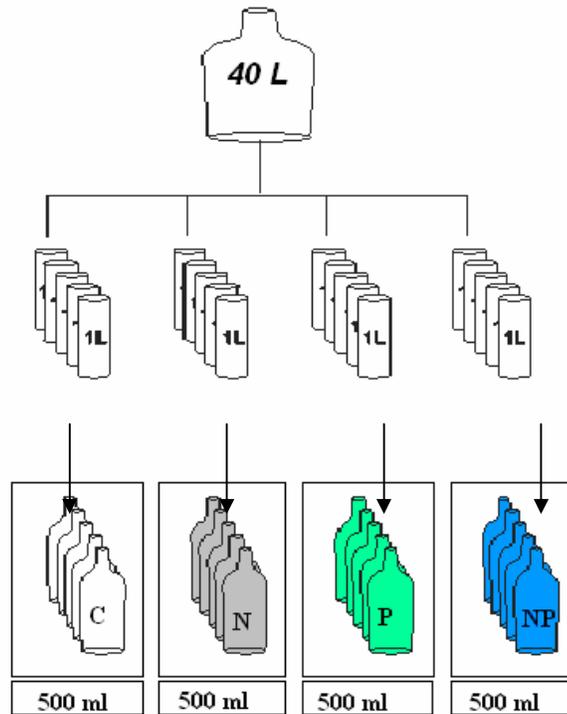


Figura 3 - Desenho experimental dos bioensaios. Tratamentos: Controle (C), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Nitrogênio e Fósforo (NP).



Figura 4 - Estruturas de madeira com as garrafas dos bioensaios presas e os pesos de concreto.

Análise dos dados

Uma limitação por P foi inferida a partir de razões molares NT:PT acima de 21:1 , enquanto razões abaixo de 13:1 sugerem uma limitação por N e razões

intermediárias indicam que N e P co-limitam o crescimento fitoplanctônico (Smith 1979).

Uma análise de variância bifatorial (ANOVA two-way) foi usada para avaliar a significância dos efeitos da fertilização isolada e conjugada por N e P, sobre a taxa de crescimento algal, nas duas profundidades de incubação (alta e baixa intensidade luminosa) separadamente. Para tanto, a taxa de crescimento algal (μ) dos tratamentos C, N, P e NP, foi obtida a partir da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) inicial e final através da seguinte equação (Landry & Hassett, 1982):

$$\mu = \ln (N_t/N_0) / t$$

Onde, N_t e N_0 correspondem a biomassa final e inicial, respectivamente, e t é o tempo de incubação em dias (d^{-1}).

Testada a significância do efeito da fertilização sobre a taxa de crescimento fitoplanctônica, avaliou-se a magnitude do efeito da adição de cada nutriente isoladamente ou em conjunto através da seguinte equação (Elser *et al.*, 2007):

$$\text{Magnitude do Efeito da adição de nutrientes} = \ln (E/C)$$

$\ln (E/C)$ = logaritmo natural da razão entre a concentração final da clorofila (E) no tratamento experimental N, P ou NP, e a concentração final da clorofila no tratamento controle (C).

Como a interpretação da magnitude do efeito só faz sentido se o efeito foi significativo, foi feita uma análise de contraste para testar se a média da biomassa final no tratamento X (μ_x) foi significativamente diferente da média da biomassa final do controle (μ_c). Se $\mu_x = \mu_c$, então o logaritmo natural dessa razão será igual a zero, ou seja, não há efeito significativo. Portanto, um efeito foi considerado significativo somente quando $\mu_x \neq \mu_c$, e apenas nesse caso a magnitude do efeito foi quantificada.

O efeito da intensidade luminosa foi avaliado comparando-se as diferenças entre as médias da biomassa final dos tratamentos com alta e baixa intensidade luminosa através de teste *t*.

Todas as análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software Statistica 7.0 (StatSoft). O nível de significância utilizado foi de 95% ($p = 0,05$).

3. RESULTADOS

Clorofila, nutrientes e luz

A precipitação acumulada durante o período de monitoramento no reservatório EARG (setembro/2007 a agosto/2008) foi de 982,8 mm. O período de estiagem compreendeu os meses de agosto de 2007 até fevereiro de 2008 (11,8% da precipitação). O período de chuva se concentrou nos meses de março a junho/2008, com uma precipitação acumulada de 867 mm (88,2%), sendo o mês de abril o mais chuvoso com 323,2 mm (Figura 5). Este foi o mês em que o reservatório atingiu seu volume máximo e ocorreu o vertimento do reservatório com uma lâmina d'água de 4,22 m (Anexo 1).

As concentrações médias (\pm desvio padrão) de clorofila *a*, fósforo total e nitrogênio total encontradas no reservatório foram de 50,40 $\mu\text{g l}^{-1}$ ($\pm 20,58$), 120,31 $\mu\text{g l}^{-1}$ ($\pm 60,55$) e 1296,98 $\mu\text{g l}^{-1}$ ($\pm 448,03$), respectivamente. A média da transparência do disco de Secchi e da profundidade dos pontos de coleta foram de : 0,72 m ($\pm 0,31$) e 9,83 m ($\pm 4,31$), respectivamente. A razão atômica N:P média foi de 39,49 ($\pm 21,65$) (Anexo 2), durante o período de setembro de 2007 e agosto de 2008 (com exceção dos meses de outubro e novembro de 2007, quando não foi possível realizar a análise do nitrogênio total, e de julho de 2008 quando não houve coleta).

Ao longo do período do monitoramento, a profundidade média dos pontos de coleta declinou durante o período de estiagem e voltou a aumentar após o início das chuvas (março/2008) (Figura 6a). A transparência média do disco de Secchi apresentou variações no início do período de estiagem tornando-se regular ao final deste período e estendendo-se até o final do monitoramento (Figura 6b).

As concentrações médias de clorofila *a* e nitrogênio total tiveram seus valores máximos ao final do período de estiagem: janeiro e fevereiro de 2008, respectivamente. A maior razão atômica NT:PT ocorreu durante o mês de maior concentração de nitrogênio total, ou seja, em fevereiro de 2008. Todas essas variáveis declinaram durante o período de chuvas (Figura 6c, 6e e 6f). As concentrações de fósforo total apresentaram grandes variações ao longo do período monitorado, com valor mínimo no período de estiagem (dezembro/2007) e máximo ao final do período de chuva (junho/2008) (Figura 6d).

A biomassa algal apresentou uma fraca correlação negativa com o fósforo total ($R^2 = 0,12$ e $p = 0,0373$). Já o nitrogênio total e a razão N:P, apresentaram correlações fortes com a clorofila *a*: $R^2 = 0,50$ ($p = 0,0001$) e $R^2 = 0,67$ ($p = 0,000001$), respectivamente (Figura 7). Não houve correlação significativa da clorofila com a transparência do disco de Secchi ($R^2 = 0,013$, $p = 0,5208$).

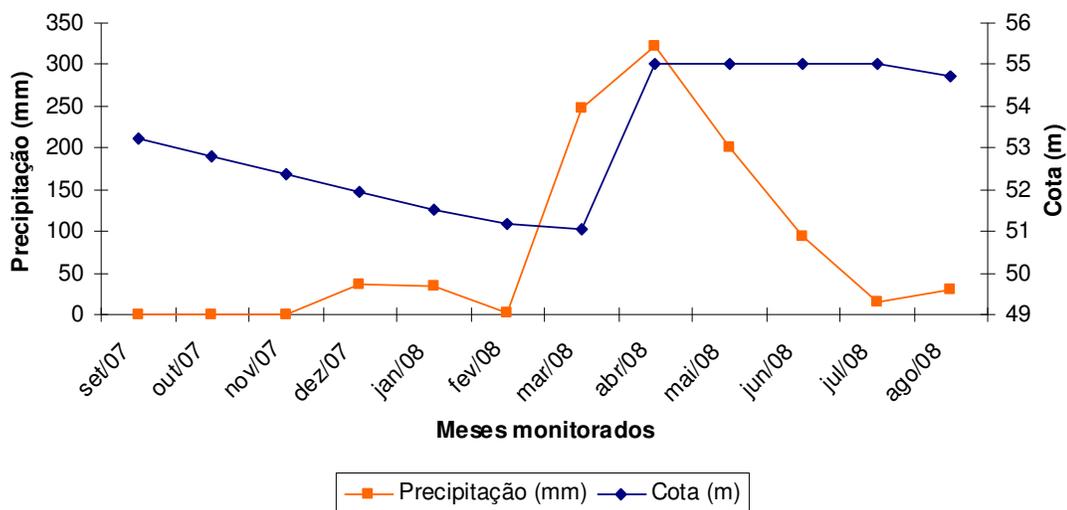


Figura 5 - Precipitação total no município de Assu/RN e média mensal das cotas do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves durante o período de monitoramento e realização dos bioensaios (setembro/2007 a agosto/2008).

Bioensaios

Sob condições de alta intensidade luminosa, as taxas de crescimento apresentaram tendência de aumento ao longo dos meses, de setembro/2007 até junho/2008 (Figura 8[a]). Nos primeiros cinco meses, os tratamentos controle apresentaram taxas negativas. Os tratamentos com adição de fósforo apresentaram taxas negativas nos primeiros quatro meses enquanto que as taxas nos tratamentos N e NP só apresentaram valores negativos apenas nos dois primeiros meses e, apenas no primeiro mês, respectivamente. Todos os bioensaios realizados a partir de fevereiro/2008 apresentaram taxas de crescimento positivas, com os maiores valores no mês de junho/2008 (Figura 8[a]; Anexo 3). As taxas de crescimento do fitoplâncton dos bioensaios expostos à baixa intensidade luminosa foram homogêneas ao longo do estudo (Figura 8[b]). Apenas quatro bioensaios apresentaram taxas de crescimento negativas no tratamento controle, e um deles

taxas negativas nos tratamentos controle e com adição de fósforo (P). As maiores taxas de crescimento nos tratamentos controle e fósforo foram no mês de janeiro/2008 enquanto que para os tratamentos N e NP foram no mês de maio/08. De maneira geral, as maiores taxas de crescimento do fitoplâncton se concentraram nos bioensaios expostos à baixa intensidade luminosa (Figura 8[a e b]).

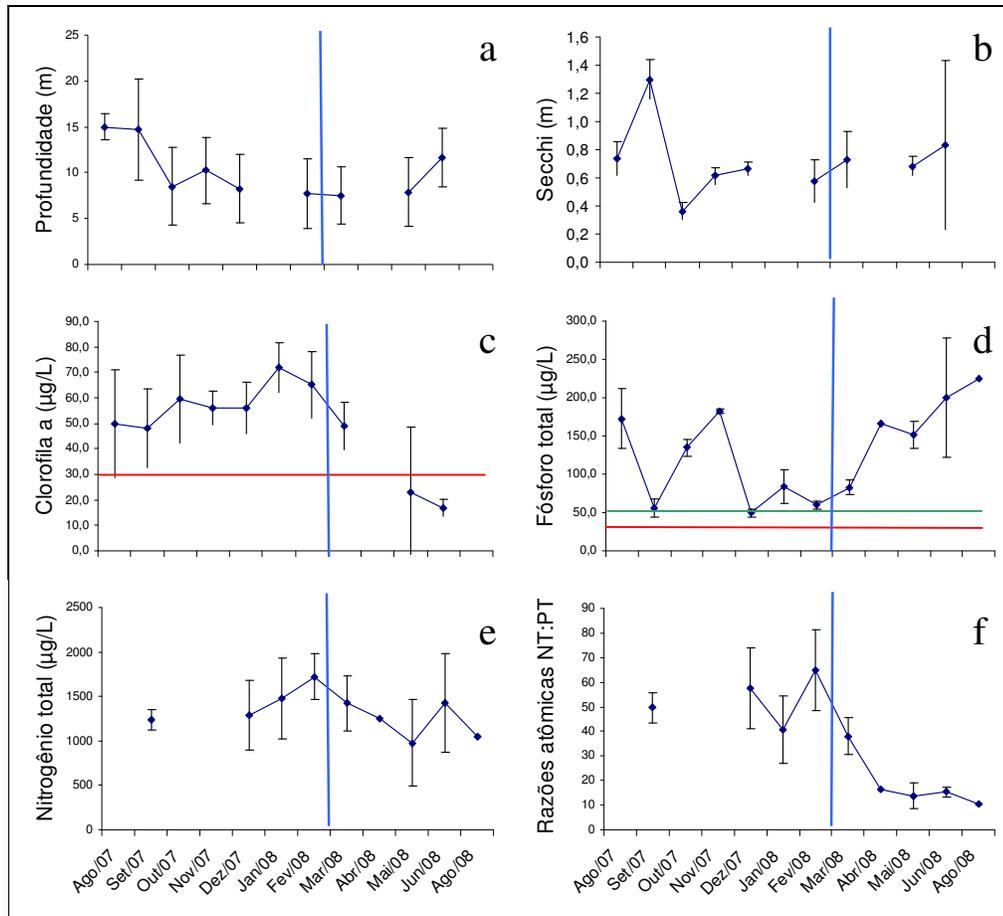


Figura 6 - Variação temporal da profundidade média, da profundidade do disco de Secchi e das concentrações médias da clorofila, fósforo total, nitrogênio total e razões atômicas NT:PT dos pontos de coleta no reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves. Linhas azuis: representa início das chuvas; Linhas vermelhas: limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para águas de classe II ([c]clorofila a: até 30 µg/L; [d] fósforo total: até 30 µg/L); Linha verde: limite proposto por Thornton & Rast (1993) para reservatórios em regiões semi-áridas.

Os resultados das análises de variância bifatorial mostram que houve um efeito significativo da adição de nitrogênio em 67% dos bioensaios expostos à alta intensidade luminosa, enquanto que nos bioensaios incubados sob baixa intensidade luminosa o fitoplâncton respondeu à adição de nitrogênio em 78% dos casos (Tabela 1; Figuras 9a e 9b). Por outro lado, a adição de fósforo não afetou o

crescimento fitoplanctônico nos bioensaios incubados próximo à superfície (alta luminosidade), mas afetou significativamente o fitoplâncton em 44% dos bioensaios incubados sob baixa intensidade luminosa (Tabela 1; Figuras 9a e 9b). De maneira geral, não houve interação significativa entre a adição de nitrogênio e de fósforo, com exceção do bioensaio de novembro de 2007 sob baixa intensidade luminosa e do bioensaio de agosto de 2008 sob alta intensidade luminosa. Portanto, os resultados dos bioensaios indicam claramente uma maior limitação por nitrogênio durante quase todo o período monitorado. Os resultados também mostram que esta maior limitação por nitrogênio não poderia ser inferida a partir das razões entre N total e P total na água do reservatório que variaram de 10:1 a 65:1 (Tabela 1).

Os resultados da ANOVA indicam que houve frequentemente efeitos significativos da adição de nitrogênio, raramente efeitos da adição de fósforo e que os efeitos da adição de um nutriente geralmente não dependeram do nível do outro nutriente. No entanto, através da ANOVA não é possível quantificar a magnitude desses efeitos e comparar a sua importância relativa para o crescimento fitoplanctônico. Portanto, a magnitude do efeito foi calculada através de uma métrica simples descrita na metodologia e os resultados desta métrica mostram que os efeitos da adição de nitrogênio foram geralmente mais fortes do que os efeitos da adição de fósforo tanto em alta quanto em baixa intensidade luminosa (Figura 10 [a e b]).

Tabela 1 - Efeitos da adição de nutrientes (N e/ou P) e das condições de luz (alta luz e baixa luz) nas taxas de crescimento do fitoplâncton durante os bioensaios no Reservatório EARG, e correspondente razão TN:TP da coluna d'água; resultados em negrito = efeito significativo para o(s) nutriente(s) assinalado; p < 0,05; ns = não significativo, p > 0,05).

Mês	Alta Luz	Baixa Luz	TN:TP
Setembro/07	ns	N; P	50
Outubro/07	ns	N; P	---
Novembro/07	N	N; NP	---
Dezembro/07	N	N	58
Janeiro/08	N	ns	41
Fevereiro/08	N	N; P	65
Mai/08	N	N	14
Junho/08	ns	N	15
Agosto08	NP	P	10

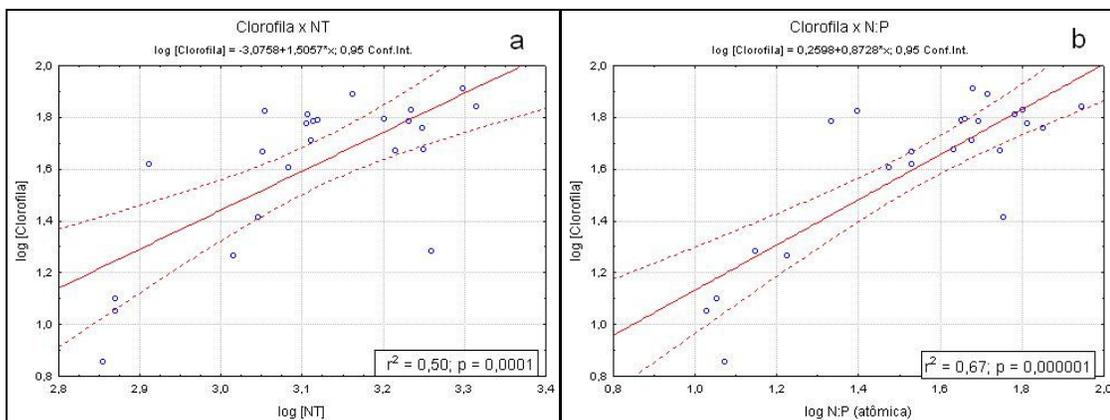


Figura 7 - Regressões lineares entra o logaritmo das concentrações de clorofila e o logaritmo das concentrações de N total (a) e das razões NT:PT (b).

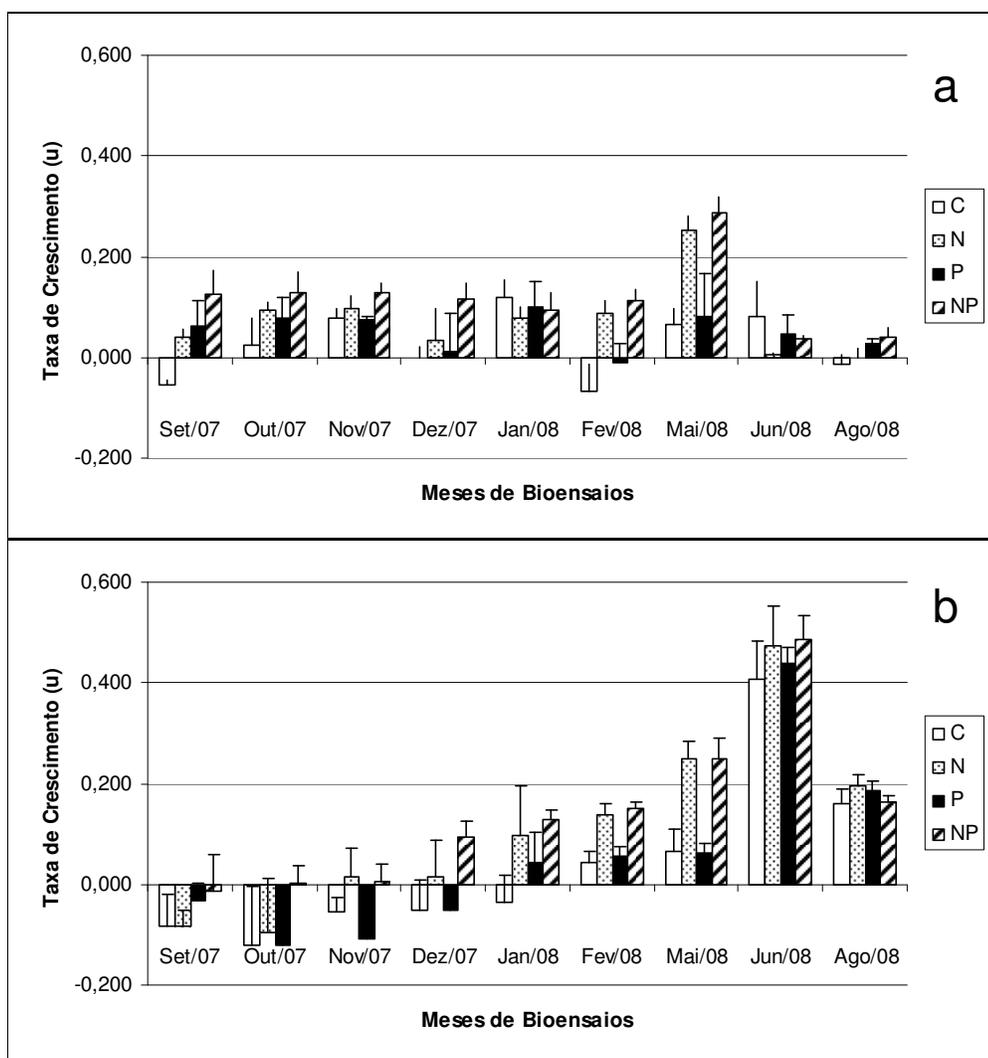


Figura 8 - Taxa de crescimento do fitoplâncton (μ) média (\pm desvio padrão) nos bioensaios incubados sob (a) alta e (b) baixa intensidade luminosa. Tratamentos: C (controle, sem adição de nutrientes), N (adição de N-NO₃), P (adição de P-PO₄) e NP (adição de N-NO₃ e P-PO₄).

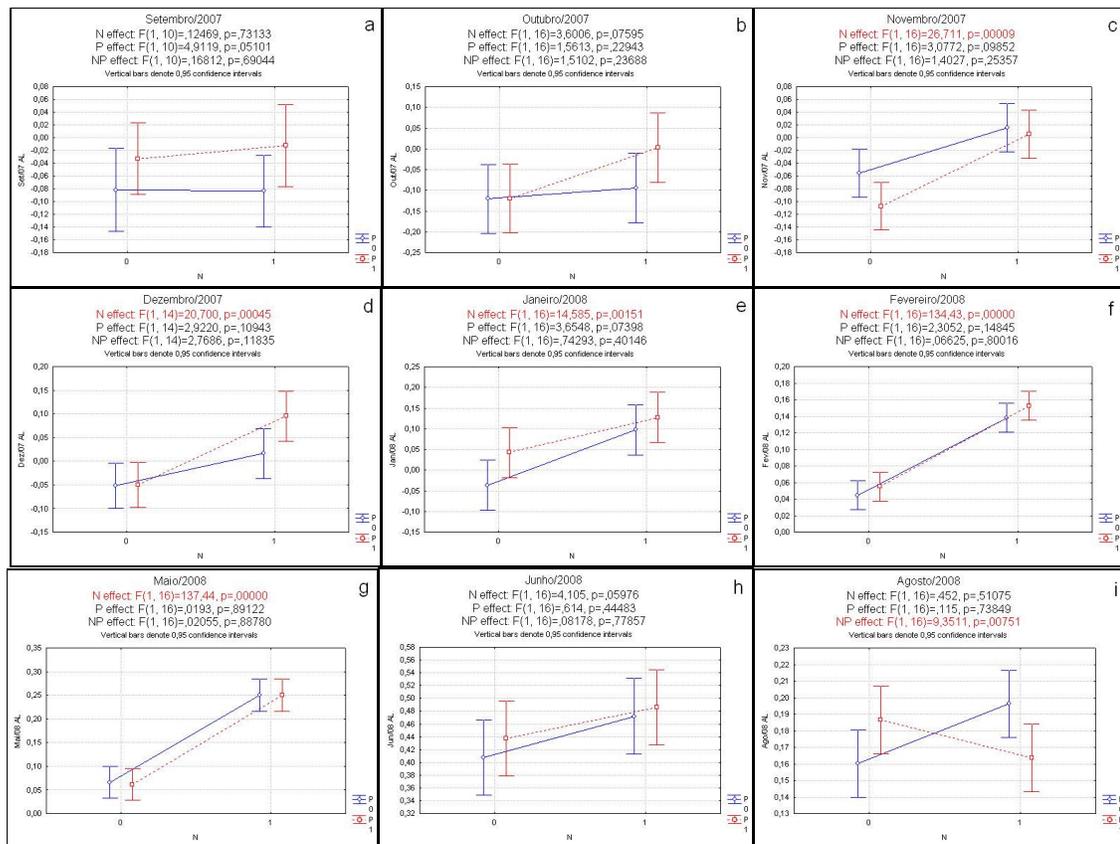


Figura 9 a - Resultados da Análise de Variância para os bioensaios expostos à alta intensidade luminosa: (a) setembro/2007, (b) outubro/2007, (c) novembro/2007, (d) dezembro/2007, (e) janeiro/2008, (f) fevereiro/2008, (g) maio/2008, (h) junho/2008 e (i) agosto 2008. Em vermelho: resultados significativos ($p < 0,05$).

Nos três primeiros bioensaios, em setembro, outubro e novembro de 2007, a biomassa final dos tratamentos expostos à baixa intensidade luminosa foi maior do que aqueles expostos à alta intensidade luminosa (exceto para o tratamento controle no mês de setembro/2007). O mesmo aconteceu para os bioensaios no mês de dezembro/2007 e janeiro/2008 para os tratamentos controle e com adição de P. Para os tratamentos N e NP, a biomassa final do fitoplâncton exposto à ambas condições de luz não apresentou diferença significativa em relação à biomassa inicial. Nestes meses, a alta intensidade de luz teve um efeito negativo sobre a biomassa dos tratamentos mais próximos a superfície do reservatório (fotoinibição) (Figura 11).

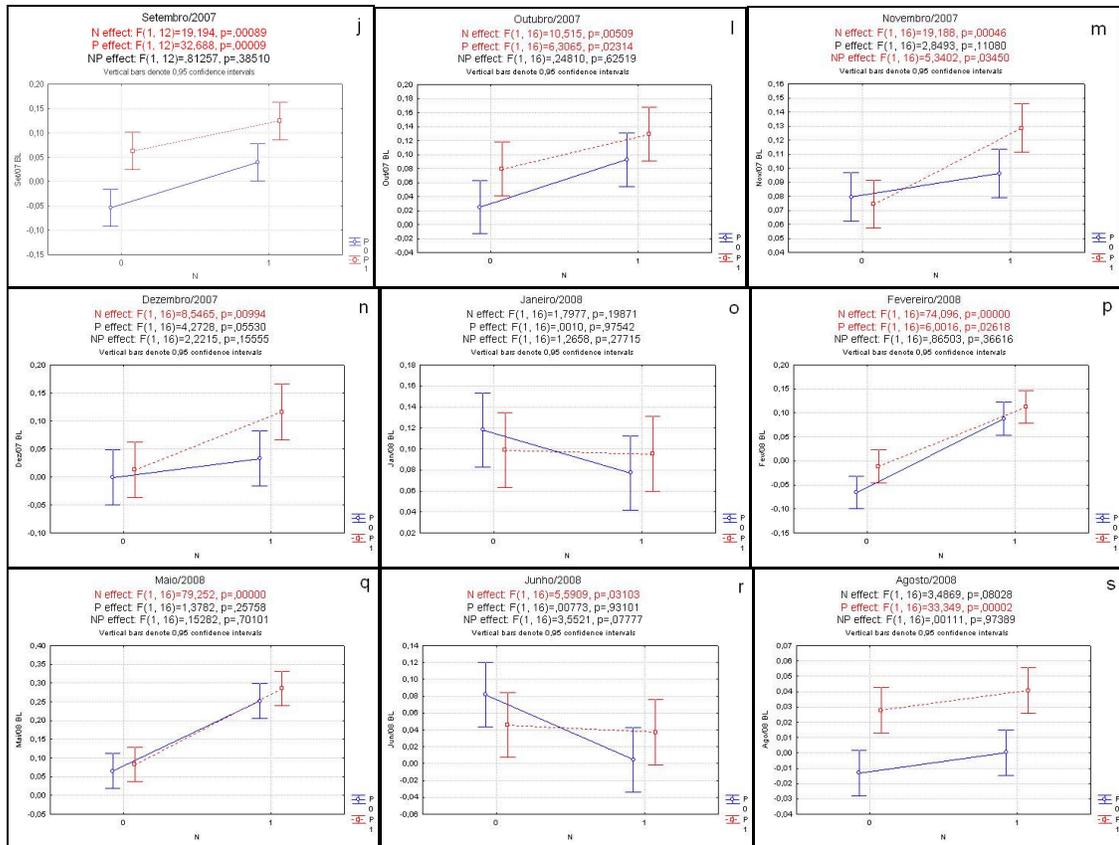


Figura 9 b - Resultados da Análise de Variância para os bioensaios expostos à baixa intensidade luminosa: (j) setembro/2007, (l) outubro/2007, (m) novembro/2007, (n) dezembro/2007, (o) janeiro/2008, (p) fevereiro/2008, (q) maio/2008, (r) junho/2008 e (s) agosto/2008. Em vermelho: resultados significativos ($p < 0,05$).

Nos demais meses, os tratamentos expostos à alta intensidade luminosa apresentaram biomassa algal final maior do que aqueles expostos à baixa intensidade luminosa (efeito positivo), com exceção dos tratamentos controle, N e P do mês de maio/2008, quando as biomassas inicial e final não foram significativamente diferentes. Nestes casos, há indícios de limitação por luz, principalmente nos meses de junho e agosto de 2008, quando foram observadas acentuadas diferenças entre a biomassa final do fitoplâncton dos bioensaios expostos à alta e baixa luz (Tabela 2; Figura 11).

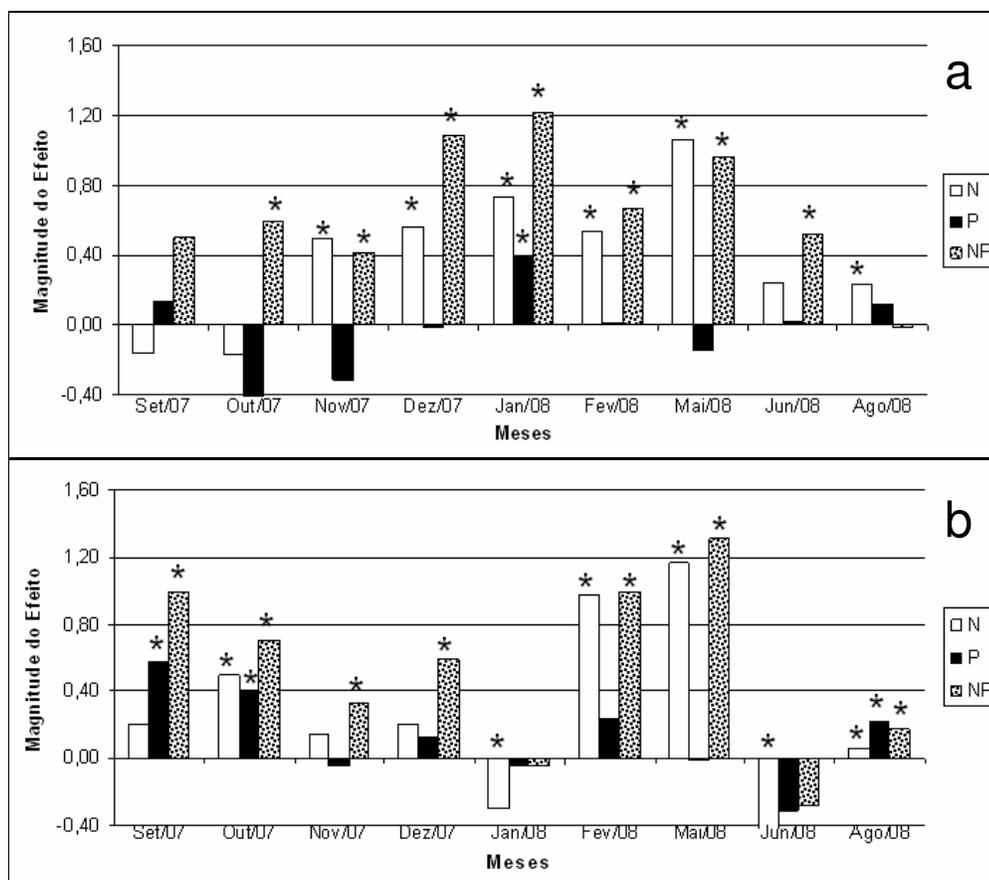


Figura 10 – Magnitude do efeito da adição de nutrientes sobre o crescimento do fitoplâncton nos bioensaios incubados sob (a) alta e (b) baixa intensidade luminosa. N: Efeito da adição de nitrogênio (N-NO₃); P: efeito da adição de fósforo (P-PO₄); e NP: efeito da adição simultânea de nitrogênio e fósforo (N-NO₃ e P-PO₄). Asterisco representa efeito significativamente diferente de zero (p < 0,05).

Tabela 2 - Resultado do teste *t* para o efeito da intensidade luminosa sobre a biomassa fitoplanctônica final nos bioensaios no reservatório EARG (+ = efeito positivo, - = efeito negativo, p < 0,05; ns = não significativo, p > 0,05).

	Efeito da Intensidade Luminosa			
	C	N	P	NP
set/07	ns	-	-	-
out/07	-	-	-	-
nov/07	-	-	-	-
dez/07	-	ns	-	ns
jan/08	-	ns	-	ns
fev/08	+	+	+	+
mai/08	ns	ns	ns	+
jun/08	+	+	+	+
ago/08	+	+	+	+

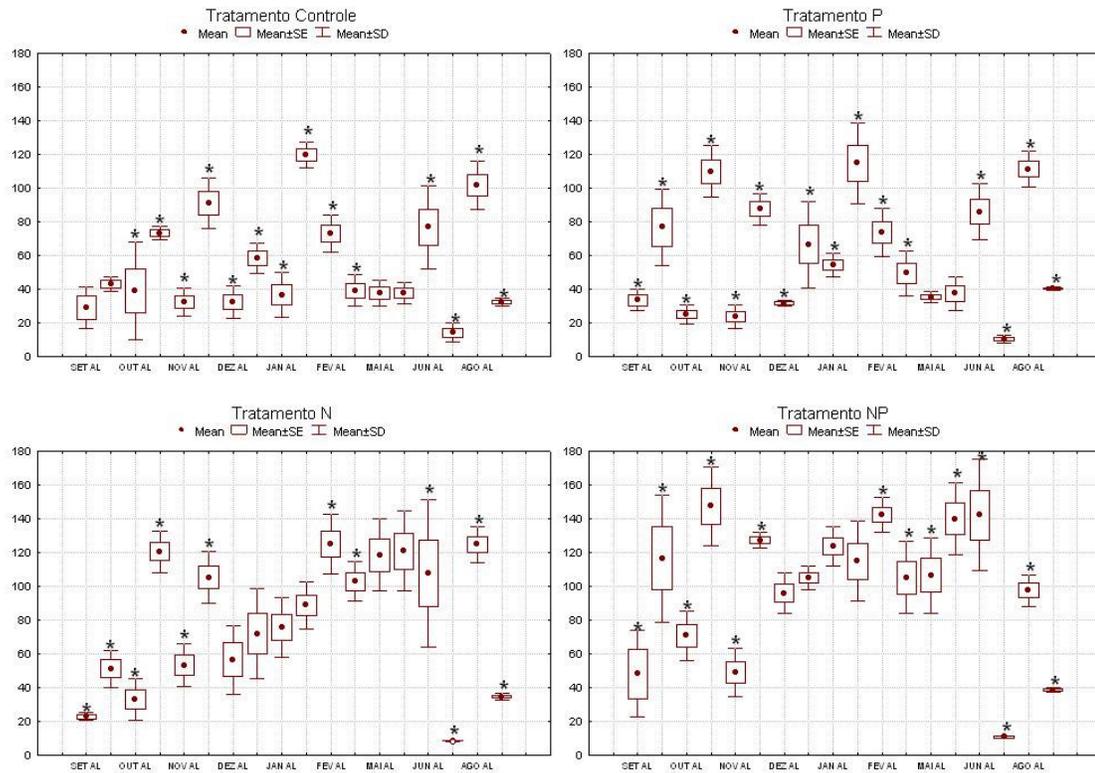


Figura 11 – Biomassa final fitoplânctônica (média e desvio padrão) nos tratamentos controle, adição de P, adição de N e adição de NP, nos bioensaios incubados sob alta e baixa intensidade luminosa. Asterisco representa resultados significativos para o teste t ($p < 0,05$). Eixo X – legenda para os meses em que os bioensaios foram realizados, sendo AL para o tratamento de alta luz e o *box plot* seguinte, para o tratamento de baixa luz.

4. DISCUSSÃO

Os resultados do presente trabalho confirmaram que o reservatório EARG se encontra eutrofizado, com concentrações bem acima das previstas na resolução CONAMA 357/05 para água de classe II (clorofila *a*: até 30 µg/L; fósforo total: até 30 µg/L). As concentrações de fósforo também se encontram superiores aos valores propostos por Thornton & Rast (1993) de 50-60 µg/L, para caracterizar o estado trófico em reservatórios de regiões semi-áridas. Esses resultados mostram o atual estado de degradação da qualidade da água do reservatório, já descrito em estudos anteriores (Costa et al, 2006; Mosca 2008). O período de chuvas foi caracterizado por um aumento das concentrações de fósforo total, reduzindo assim as razões atômicas NT:PT. As concentrações de nitrogênio total apresentaram tendência à redução logo após o início da estação chuvosa. Como consequência dessa variação na concentração de nutrientes na coluna d'água, houve uma redução da concentração de clorofila *a*, que atingiu seus menores valores anuais.

Assim como descrito em ambientes temperados (McCauley et al. 1989; Mazumder & Havens 1998; Guildford & Hecky 2000; Huszar et al. 2006), as concentrações de clorofila-*a* no reservatório Eng. Armando Ribeiro Gonçalves estiveram relacionadas com as concentrações de nutrientes. Observamos que a clorofila apresentou uma fraca correlação negativa com o PT ($r^2 = 0,12$; $p = 0,0373$), enquanto que o NT apresentou uma forte correlação positiva com a clorofila ($r^2 = 0,50$; $p = 0,0001$), sugerindo dessa forma, que a biomassa fitoplanctônica pode ser limitada por N. Entretanto, a variação das concentrações de N explicam apenas metade da variação da clorofila-*a* fitoplanctônica no reservatório EARG durante o presente estudo. Resultados semelhantes foram apresentados por (Mazumder & Havens 1998; Huszar et al. 2006). Esses autores revelaram que o nitrogênio não explica uma grande porção da variância na concentração de clorofila em ambientes (sub)tropicais quando comparados com ambientes temperados Mazumder & Havens (1998) e Huszar e colaboradores (2006), sugerindo que dever-se rejeitar a hipótese geral de que há uma tendência de limitação por N em ambientes (sub)tropicais. Na verdade, tanto ambientes de clima temperado quanto (sub)tropicais parecem ser limitados por N ou P. Fatores locais, tais como o uso do solo na bacia de drenagem

e a hidrologia, têm maior influência sobre qual elemento é o limitante (N ou P) no manancial do que o clima propriamente dito (Kosten et al. *in press*).

A razão atômica TN:TP foi a variável que melhor explicou a variação da clorofila ($r^2 = 0,67$; $p = 0,000001$). A razão N:P média anual encontrada foi de 39, o que sugere que, de acordo com a razão de Smith (1979) (P limita em razões acima de 21:1), o reservatório seria limitado por P. No entanto, contrário ao que seria esperado de acordo com a razão N:P encontrada, nossos resultados mostram uma fraca correlação entre a clorofila e a concentração de PT e uma forte correlação da clorofila com o NT e a razão NT:PT, ou seja, quanto maior a concentração de N e a razão N:P (menos P), maior será a biomassa fitoplanctônica. Talvez essa situação ocorra devido às altas concentrações de fósforo já existentes no reservatório, como sugerido por McCauley e colaboradores (1989). Esses autores mostraram que um aumento na quantidade de fósforo terá menor efeito na concentração de clorofila quando as concentrações de fósforo total estão acima de 50 $\mu\text{g/L}$, situação do reservatório estudado (120,31 $\mu\text{g.l}^{-1}$, em média), e sob estas concentrações, o efeito do nitrogênio sobre a biomassa fitoplanctônica é maior.

Os resultados dos bioensaios, associados com as correlações entre clorofila e N e a razão NT:PT, são incompatíveis com o resultado previsto exclusivamente a partir da razão NT:PT, indicando que a razão da concentração de nutrientes na água não é um bom indicador da limitação do crescimento da biomassa algal. Reynolds (1999) e Schelske e colaboradores (1999) obtiveram a mesma conclusão. Esses autores sugerem que a utilização da razão N:P como indicador da limitação é errônea. De acordo com Reynolds (1999), a razão é apenas um sintoma do esgotamento do recurso como uma resposta algal, e não o motivo da limitação. Se a redução da disponibilidade de um recurso, como resultado do seu consumo contínuo pelas algas, gera um suprimento de nutrientes aquém da demanda algal, a limitação será devido à indisponibilidade direta do recurso, e não uma função da razão entre a concentração de nutrientes. O autor supracitado ainda ressalta que as taxas máximas de absorção de fosfato reportadas excedem às taxas de assimilação e incorporação de fosfato em nova biomassa algal. Tal fato é visto como uma adaptação do fitoplâncton em maximizar as oportunidades de absorção quando o recurso está abundante (Reynolds 1999). Esse consumo excedente, ou consumo de luxo como é chamado (*“luxury uptake”*), pode confundir a interpretação da limitação baseada na razão N:P. Esse consumo pode ocorrer quando o P biologicamente

disponível está em grandes quantidades e é, então, estocado sob a forma de polifosfato e ser utilizado para sustentar várias divisões celulares quando o P encontra-se escasso no ambiente. Sob estas condições, uma alta razão N:P pode indicar uma falsa limitação por P (Schelske et al. 1999). Schelske e colaboradores, embasados por experimentos de enriquecimentos com nutrientes e dados de concentrações de formas de N e P biologicamente disponíveis, mostraram que a razão NT:PT previra falsamente que o P foi o nutriente limitante em 3 lagos subtropicais. Em um desses lagos, hipereutrófico, a concentração de nitrogênio atingiu 5110 µg/L e a razão NT:PT foi de 55. Mesmo sob tais condições, o nitrogênio foi limitante em 94% dos bioensaios realizados. Quando foi feita a análise da razão do N e P biologicamente disponível (DIN:SRP – nitrogênio inorgânico dissolvido e fósforo reativo solúvel), esta indicou a limitação por N (DIN:SRP = 9,8 <16). Uma baixa concentração de N biologicamente disponível pode ser o motivo da limitação por esse nutriente (Schelske et al. 1999).

Em recente estudo, Kosten e colaboradores (*in press*) mostraram que a razão NT:PT indicou uma limitação por N em 54% dos lagos localizados em uma subzona nos trópicos, lagos tropicais *i* (zona na região tropical com menor variação na temperatura anual), zona em que se encontra o reservatório estudado enquanto que 23% dos lagos foram limitados por P. Quando a limitação foi inferida a partir da razão DIN:SRP, 80% dos lagos foram considerados limitados por N e nenhum foi considerado limitado por P. Ainda neste estudo, os autores mostraram que lagos com altas razões NT:PT geralmente tiveram altas concentrações de DOC, sugerindo que o nitrogênio ligado a matéria orgânica dissolvida influencia fortemente a razões NT:PT dos lagos. Esse dado ressalta que quando a concentração de nitrogênio total é amplamente composta por formas de nitrogênio não disponíveis biologicamente, altas razões NT:PT podem fornecer uma interpretação errônea de uma limitação por P (Kosten et al. *In press*).

Todavia, inúmeros trabalhos obtiveram sucesso em prever a limitação da biomassa algal a partir dessas razões, e vários autores defendem seu uso (Bulgakov & Levich 1999; Smith & Bennett 1999; Sommer 1999). Dzialowski e colaboradores (2005) encontraram que as razões previram corretamente 88% dos reservatórios estudados, quando comparados com experimentos de enriquecimento com nutrientes neles realizados. No entanto, a razão por eles utilizada para inferir a limitação foi aquela usada por Guildford e Hecky (2000) para lagos e oceanos:

NT:PT < 20,limitação por N; NT:PT > 65,limitação por P; e, em razões intermediárias,considera-se co-limitação por N e P. Se aplicarmos no presente trabalho a razão usada por esses autores, a previsão estaria correta para somente 11% dos bioensaios realizados em alta intensidade luminosa e 33% dos bioensaios em baixa intensidade luminosa, assumindo que os resultados dos bioensaios representam mais acuradamente a condição de limitação por nutrientes do que as razões entre os elementos. Assim, ainda que os valores propostos por Guildford e Hecky (2000) sejam menos restritos do que as de Redfield (1958) e Smith (1979), o uso da razão da concentração de nutrientes continua não sendo um bom indicador da limitação.

Analisando as diferenças entre as taxas de crescimento e as biomassas finais dos bioensaios expostos as diferentes condições de luz, observamos que a luz teve um efeito importante na resposta da comunidade fitoplanctônica ao enriquecimento com nutrientes, seja limitando ou estimulando o crescimento fitoplanctônico. Houve também diferenças entre os tratamentos. Nos meses de dezembro/2007 e janeiro/2008, os tratamentos controle e P apresentaram diferenças na biomassa final para as diferentes condições de luz, enquanto que não houve diferenças entre os tratamentos N e NP. Este resultado pode indicar que mesmo sob diferentes condições de luz, o enriquecimento com N pode ter resultado na mudança da composição de espécies, favorecendo o crescimento daquelas com melhores estratégias de absorção de N. Neste caso, as espécies que melhor competem por nitrogênio apresentaram vantagem sobre àquelas dependentes de luz. Entretanto, não se pode ter uma conclusão mais exata da influência da luz nesses experimentos uma vez que esta variável não foi mensurada, apenas estimada a partir da transparência do disco de Secchi.

Apesar da limitação por nitrogênio encontrada neste reservatório, as estratégias de recuperação da qualidade da água deste manancial deverão estar voltadas para a redução da entrada do fósforo e nitrogênio. Estudos recentes têm mostrado que estratégias direcionadas somente na redução da entrada de nitrogênio podem agravar ainda mais o estado de eutrofização devido à dominância de cianobactérias fixadoras (Schindler et al 2008). Este fato não está necessariamente ligado ao aumento da abundância de cianobactérias fixadoras. O que pode acontecer é o aumento da produção de heterocitos e, conseqüentemente, um aumento na fixação de nitrogênio, que favorece ainda mais a permanência da

dominância das espécies fixadoras (Schindler et al 2008). Reduzir a eutrofização requer decisões políticas complexas que incluem o controle de uma combinação de fatores que atuam no processo de eutrofização (Schindler 2006).

5. CONCLUSÃO

O uso da razão da concentração de nitrogênio e fósforo total disponível na água não é um bom preditor da limitação do crescimento fitoplanctônico. Nossos resultados das razões NT:PT não foram consistentes com os observados nos bioensaios de enriquecimento diferencial com populações fitoplanctônicas naturais. Nestes, o nitrogênio foi considerado o nutriente limitante para a comunidade fitoplanctônica no reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves sobre as diferentes condições de luz. O uso da teoria da razão de nutrientes, amplamente aceita e testada em ambientes temperados, deve ser melhor examinada em ambientes tropicais sob diferentes condições.

Em nossos resultados, a incidência de chuvas resultou numa mudança na concentração de nutrientes, principalmente na concentração de P. Além disso, a luz influenciou na resposta inibindo a taxa de crescimento (altas intensidades) ou atuando como fator limitante da taxa de crescimento sob baixas intensidades. Dessa forma, podemos sugerir que estes fatores atuaram de forma secundária na limitação da comunidade fitoplanctônica do reservatório EARG.

A grave situação de eutrofização desse reservatório, dominando por cianobactérias potencialmente tóxicas, mostra a necessidade de manejo desse ambiente para que possa atender aos seus usos múltiplos, inclusive o de abastecimento humano. Um programa de manejo efetivo deverá focar sobre a redução da entrada do nitrogênio e do fósforo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA .1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington DC.

BEARDALL, J., YOUNG, E. & ROBERTS, S. 2001. Approaches for determining phytoplankton nutrient limitation. *Aquat. Sci.* 63: 44-69.

BULGAKOV, N. G. & LEVICH, A. P. 1999. The nitrogen:phosphorus ratio as a factor regulating phytoplankton community structure. *Arch. Hydrobiol.* 146(1): 3-22.

CAMACHO, A., WURTSBAUGH, W. A., MIRACLE, M. R., ARMENGOL, X. & VICENTE, E. 2003. Nitrogen limitation of phytoplankton in a Spanish karst lake with a deep chlorophyll maximum: a nutrient enrichment bioassay approach. *Journal of Plankton Research* 25 (4): 397-404.

CARPENTER, S. R., KITCHELL, J. F. & HODGSON, J. R.1985. Cascading Trophic Interactions and Lake Productivity. *BioScience* 35 (10): 634-639.

CHORUS, I. & BARTRAM, J. 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO. 416 p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União.

COSTA, I. A. S., et al. 2006. Occurrence of Toxin-Producing Cyanobacteria Blooms in a Brazilian Semiarid Reservoir. *Braz. J. Biol.* 66(1B): 211-219.

DILLON, P. J. & RIGLER, F. H. 1974. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water. *J. Fish. Res. Board Can.* 31: 1771-1778.

DOKULIL, M. T. & TEUBNER, K. 2000. Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia* 438: 1-12.

DOWNING, J.A & McCAULEY, E.1992. The nitrogen: phosphorus relationships in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 37(5): 936-945.

DZIALOWSKI, A. R., SHIH-HSIEN WANG, NIANG-CHOO LIM, SPOTTS, W. W. & HUGGINS, D. G. 2005. Nutrient limitation of phytoplankton growth in central plains reservoirs, USA. *Journal of Plankton Research* 27 (5): 587-595.

ELSER, J. J., BRACKEN, M. E. S., CLELAND, E. E., GRUNER, D. S., HARPOLE, WS., HILLEBRAND, H., NGAI, J. T., SEABLOOM, E. W., SHURIN, J. B. & SMITH, J. E. 2007. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10: 1135–1142.

ELSER, J. J.; LUBNOW, F.S.; MARZOLF, E. R.; BRETT, M.T.; DON, G. & GOLDMAN, C. R. 1995. Factors associated with interannual and intraannual variation in nutrient limitation of phytoplankton growth in Castle Lake, California. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 93-104.

GONZÁLEZ, E. J. 2000. Nutrient enrichment and zooplankton effects on the phytoplankton community in microcosms from El Andino reservoir (Venezuela).*Hydrobiologia* 434: 81-96.

GONZÁLEZ, E.J. & ORTAZ, M. 1998. Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa,Venezuela). *Rev. biol. trop* v.46 n.1 San José mar.

GUILDFORD, S. J. & HECKY, R. E. 2000. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? *Limnol. Oceanogr.* 45 (6): 1213-1223.

HAVENS, K.E., JAMES, R. T., EAST, T. L. & SMITH, V. H. 2003. N: P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environmental Pollution* 122 (3): 379-390.

HECKY, R. E. & KILHAM, P. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.* 33(4, parte 2): 796-822.

HLAILI, A.S.; CHIKHAOUI, M-A; GRAMI, B. EL & MABROUK, H.H. 2006. Effects of N and P supply on phytoplankton in Bizerte Lagoon (western Mediterranean). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 333:79-96.

HOWARTH, R. W. 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Ann. Rev. Ecol.* 19: 89-110.

HUSZAR, V.L.M.; CARACO, N.F.; ROLAND, F. & COLE, J. 2006. Nutrient-chlorophyll relationships in tropical-subtropical lakes: do temperate models fit? *Biogeochemistry* 79(1-2): 239-250.

JESPERSEN, A-M & CHRISTOFFERSEN, K. 1987. Measurements of Chlorophyll-a from Phytoplankton Using Ethanol as Extraction Solvent. *Archiv fuer Hydrobiologie* AHYBA4 109 (3): 445-454.

KONSTEN, S., HUSZAR, V. L. M., MAZZEO, N., SCHEFFER, M., STERNBERG, L. S. L. & JEPPESEN, E. 2009. Lake and watershed characteristics rather than climate influence nutrient limitation in shallow lakes. *Ecological Applications*, *In press*.

LANDRY, M.R., HASSETT, R.P., 1982. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. *Mar. Biol.* 67: 283–288. *Apud* HLAILI, A.S.; CHIKHAOUI, M-A; GRAMI, B. EL & MABROUK, H.H. 2006. Effects of N and P supply on phytoplankton in Bizerte Lagoon (western Mediterranean). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 333:79-96.

LEWIS, W. M. Jr. 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5: 35-48.

LITCHMAN, E., KLAUSMEIER, C. A. & BOSSARD, P. 2004. Phytoplankton nutrient competition under dynamic light regimes. *Limnology and Oceanography* 49 (4, parte 2): 1457-1462.

LORENZEN, C. J. 1967. Determination of Chlorophyll and Pheo-Pigments: Spectrophotometric Equations. *Limnology and Oceanography* 12 (2): 343-346.

MAZUMDER, A.; HAVENS, K.E. 1998. Nutrient-chlorophyll-Secchi relationships under contrasting grazer communities of temperate versus subtropical lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 1652-1662.

MCCAULEY, E.; DOWNING, J.A. & WATSON, S. 1989. Sigmoid relationships between nutrients and chlorophyll among lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1171-1175.

MEDEIROS, J. D. F. DE, SANTOS, N. C. F. E GUEDES, F. X. 1998. Análise da precipitação e do escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu-RN – Natal – RN : EMPARN, 1998. - p. – (Documentos; 29).

MOSCA, V. P. 2008. Eutrofização do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte: implicações para o abastecimento público e para a piscicultura intensiva em tanques-rede. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática), 45f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte.

MULLER, R. & O. WEIDEMANN. 1955. Die Bestimmung des Nitrat-Ions in Wasser. *Von Wasser* 22, 274p.

PANOSSO, R.; CARLSSON, P.; KOZLOWSKY-SUZUKI, B.; AZEVEDO, S.M.F.O. & GRANÉLI, E. 2003. Effect of grazing by neotropical copepod, *Notodiaptomus*, on a natural cyanobacterial assemblage and on toxic and non-toxic cyanobacterial strains. *J. Plankton Res.* 25(9): 1169-1175.

REDFIELD, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*. 46 (3): 205-221.

REYNOLDS, C. S. 1999. Non-determinism to Probability, or N:P in the community ecology of phytoplankton. *Arch. Hydrobiol.* 146(1): 23-35.

REYNOLDS, C. S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.

RHEE & GOTHAM. 1981. The effect of environmental factors on phytoplankton growth: Light and the interactions of light with nitrate limitation. *Limnol. Oceanogr.* 26(4): 649-659.

SCHELSKE, C. L., ALDRIDGE, F. J. & KENNEY. 1999. Assessing Nutrient Limitation and Trophic State in Florida Lakes. In: Reddy, K. R., O'Connor, G. A. & Schelske, C. L. (eds.). *Phosphorus Biogeochemistry in Subtropical Ecosystems*. 321-340.

SCHINDLER, D. W. 1977. Evolution of Phosphorus Limitation in Lakes. *Science* 195 (4275): 260- 262.

SCHINDLER, D. W. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnol. Oceanogr.* 51 (1, part 2): 356-363.

SCHINDLER, D. W., HECKY, R. E., FINDLAY, D. L., STANTON, M. P., PARKER, B. R., PATERSON, M. J., BEATY, K. G., LYNG, M. & KASIAN, S. E. M. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, . 105 (32): 11254-11258.

SEMARH, 1998. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. Relatório Síntese. Disponível em: www.semarh.rn.gov.br.

SMITH, V. H. 1979. Nutrient dependence of primary productivity in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 24(6): 1051-1064.

- SMITH, V. H. 1982. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis. *Limnol. Oceanogr.* 27(6): 1101-1112.
- SMITH, V. H. 1983. Low Nitrogen to Phosphorus Ratios Favor Dominance by Blue-Green Algae in Lake Phytoplankton. *Science* 221: 669-671.
- SMITH, V. H. 1986. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 43: 148-153.
- SMITH, V. H & BENNETT, S. J. 1999. Nitrogen:phosphorus supply ratios and phytoplankton community structure in lakes. *Arch. Hydrobiol.* 146(1): 37-53
- SMITH, V. H., JOYE, S. B. & HOWARTH, R. W. 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 51 (1, part 2): 351-355.
- SØNDERGAARD, M., JENSEN, J. P. & JEPPESEN, E. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506–509: 135–145.
- SOMMER, U. 1999. A comment on the proper use of nutrient ratios in microalgal ecology. *Arch. Hydrobiol.* 146(1): 55-64.
- THORNTON, J. A. & RAST, W. 1993. A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes. In: Straskraba, M., Tundisi, J. G. & Duncan, A., (eds.). *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*, 1-24.
- TILMAN, KILHAM & KILHAM. 1982. Phytoplankton Community Ecology: The role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 13: 349-372.
- VALDERRAMA, J. C. 1981. The Simultaneous Analysis of Total N and Total P in Natural Waters. *Mar. Chem.* 10: 109-122.

VANNI, M. J. & TEMTE, J. 1990. Seasonal patterns of grazing and nutrient limitation of phytoplankton in a eutrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 35(3): 697-709.

VOLLENWEIDER, R. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing water with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Tech. Rep. DA5/SU/68-27. OECD, Paris. 250 pp.

7. ANEXOS

Anexo 1 – Precipitação no município de Assu/RN e situação volumétrica do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves durante o período de monitoramento (agosto/2007 a agosto/2008). Cota máxima do reservatório: 55 m.

Mês/Ano	Precipitação (mm)	Cota (m)
set/07	0,2	53,21
out/07	0,0	52,80
nov/07	0,0	52,39
dez/07	35,8	51,93
jan/08	34,0	51,51
fev/08	1,1	51,19
mar/08	248,3	51,04
abr/08	323,2	55,00
mai/08	201,0	55,00
jun/08	94,5	55,00
jul/08	14,1	55,00
ago/08	30,6	54,72

Anexo 2 – Análise estatística descritiva das variáveis monitoradas no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves durante o período de agosto/07 a agosto/08. DP = desvio padrão.

Variável	N	Média	Mínimo	Máximo	DP
Prof	33	9,83	4,00	22,00	4,31
Secchi	34	0,72	0,20	1,50	0,31
Clorofila	38	50,40	7,19	81,73	20,58
PT	38	120,31	43,33	286,67	60,55
NT	27	1296,99	714,7	2067,30	448,03
NT:PT atômica	26	39,49	10,29	88,42	21,65

Anexo 3 – Taxa de Crescimento (μ) para o bioensaio em alta intensidade luminosa e o bioensaio de baixa intensidade luminosa. DP = desvio padrão.

<i>Alta Intensidade Luminosa</i>								
<i>Mês</i>	C		N		P		NP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
<i>Setembro/2007</i>	-0,082	0,063	-0,083	0,033	-0,033	0,035	-0,012	0,072
<i>Outubro/2007</i>	-0,121	0,116	-0,094	0,106	-0,120	0,070	0,003	0,035
<i>Novembro/2007</i>	-0,055	0,028	0,015	0,055	-0,107	0,036	0,005	0,034
<i>Dezembro/2007</i>	-0,051	0,060	0,016	0,073	-0,050	0,016	0,095	0,030
<i>Janeiro/2008</i>	-0,037	0,055	0,097	0,097	0,043	0,060	0,128	0,020
<i>Fevereiro/2008</i>	0,045	0,020	0,138	0,021	0,055	0,019	0,153	0,011
<i>Mai/2008</i>	0,066	0,045	0,250	0,032	0,061	0,021	0,250	0,040
<i>Junho/2008</i>	0,408	0,076	0,472	0,079	0,437	0,033	0,486	0,048
<i>Agosto/2008</i>	0,160	0,029	0,196	0,021	0,186	0,019	0,164	0,014

<i>Baixa Intensidade Luminosa</i>								
<i>Mês</i>	C		N		P		NP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
<i>Setembro/2007</i>	-0,054	0,009	0,039	0,017	0,063	0,048	0,124	0,048
<i>Outubro/2007</i>	0,025	0,052	0,093	0,018	0,079	0,041	0,129	0,042
<i>Novembro/2007</i>	0,079	0,017	0,096	0,026	0,074	0,008	0,129	0,018
<i>Dezembro/2007</i>	-0,001	0,022	0,033	0,064	0,013	0,074	0,116	0,030
<i>Janeiro/2008</i>	0,118	0,035	0,077	0,023	0,099	0,052	0,095	0,033
<i>Fevereiro/2008</i>	-0,066	0,052	0,088	0,025	-0,011	0,038	0,112	0,022
<i>Mai/2008</i>	0,066	0,030	0,251	0,028	0,083	0,083	0,286	0,031
<i>Junho/2008</i>	0,082	0,071	0,005	0,004	0,046	0,039	0,037	0,005
<i>Agosto/2008</i>	-0,013	0,018	0,000	0,017	0,028	0,009	0,041	0,017

Anexo 4 – Valores médios (\pm desvio padrão) da magnitude do efeito da adição de nitrogênio, fósforo e ambos nos bioensaios com alta e baixa intensidade luminosa. Valores em negrito representam o maior valor para cada mês de experimento. DP = desvio padrão.

Magnitude do Efeito nos bioensaios						
	N		P		NP	
	AL	BL	AL	BL	AL	BL
set/07	-0,16	0,21	0,14	0,58	0,50	1,00
out/07	-0,17	0,50	-0,45	0,40	0,59	0,70
nov/07	0,50	0,14	-0,31	-0,04	0,42	0,33
dez/07	0,56	0,21	-0,02	0,13	1,09	0,59
jan/08	0,73	-0,30	0,40	-0,04	1,22	-0,04
fev/08	0,54	0,97	0,01	0,23	0,67	0,99
mai/08	1,07	1,16	-0,14	-0,01	0,96	1,31
jun/08	0,24	-0,49	0,02	-0,30	0,52	-0,28
ago/08	0,23	0,07	0,12	0,22	-0,01	0,18

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)