

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Biologia
Programa de Pós Graduação em Ecologia (PPGE)

**O EFEITO DA QUALIDADE DO ALIMENTO SOBRE A COMUNIDADE
ZOOPLANCTÔNICA DE UMA LAGOA COSTEIRA HÚMICA:
UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL**

Adriana de Melo Rocha

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ecologia.

Orientador: Reinaldo Bozelli

Rio de Janeiro – RJ
Dezembro de 2008

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

**O Efeito da Qualidade do Alimento sobre a Comunidade Zooplanctônica
de uma lagoa Costeira Húmida: Uma Abordagem Experimental**

Adriana de Melo Rocha

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ecologia da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte
dos requisitos para a obtenção do grau
de Doutor em Ecologia.

Banca Examinadora

Prof^a. Paulina Maria Maia Barbosa, Dr.

Prof. Aloysio S. Ferrão Filho, Dr.

Prof^a. Vera Lúcia de Moraes Huszar, Dr.

Prof^a. Christina Wyss Castelo Branco, Dr.

Rio de Janeiro – RJ

Dezembro de 2008

Rocha, Adriana de Melo

O Efeito da Qualidade do Alimento sobre a Comunidade Zooplancônica de uma lagoa Costeira Húmida: Uma Abordagem Experimental
(Rio de Janeiro, 2008)

111 p. 29,7 cm (Instituto de Biologia/UFRJ, D.Sc., Ecologia, 2008)

Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Departamento de Ecologia – PPGE

Palavras-chave:

1. Limnologia. 2. Plâncton. Qualidade de alimento

I. IB/UFRJ II. Título (série)

"O que importa na vida não é o ponto de partida, mas a caminhada.

Caminhando e semeando, no fim terás o que colher!"

Cora Coralina

Agradecimentos

Foi um longo caminho até aqui. E muito há o que agradecer, nada teria conseguido sem a presença das pessoas queridas que me rodeiam. Muito obrigada!

Ao Reinaldo, meu orientador, pelos anos de aprendizado, amizade, carinho e confiança. Pelas palavras de encorajamento e incentivo, pelo olhar atento às minhas angústias e dúvidas e pela alegria compartilhada a cada conquista.

Aos membros da pré-banca Prof^a. Vera Huszar e Prof. Jean Valentin pelas valiosas sugestões.

Aos membros da banca, Dr^a Christina Castelo Branco, Dr^a Paulina Maia Barbosa, Dr^a Vera Huszar e Dr. Aloysio Ferrão Filho, por aceitarem o convite para participar da avaliação desta tese.

Ao PPGE/UFRJ, em especial à D. Sueli e Márcia.

À equipe do NUPEM/UFRJ, especialmente a Lena, Inês, João Marcelo, Sr. Paulo, pelo carinho, cuidado e ajuda nos trabalhos de campo.

Aos membros mais novos do Laboratório de Limnologia, que vem com nova força dar continuidade a um grupo que tanto cresceu e que ainda há tanto que conquistar. Orgulhem-se e cuidem dessa casa.

Aos membros mais antigos do laboratório de Limnologia com quem aprendi tanto e que contribuíram pra minha formação, com quem tenho passado mais de 10 anos da minha vida. Fazer parte deste grupo, muito me ensinou e foi onde fiz grandes amigos que carrego no coração.

Às pessoas queridas, de longe ou de perto, que fizeram o cotidiano mais leve e de alguma forma ajudaram na conclusão deste trabalho: Adriano, Albert, Alê, Aline, Aliny, Andresson, Cláudio, Ellen, Fabiana, Fernanda, Fred, Jabour, Jayminho, Ju, João, Lets, Lu, Marcela, Marquinho, Mari, Mário, Meko, Paloma, Paulinho, Rayanne, Rose, Sandra, Vini, Thais, Titi.

Aos companheiros dos sofridos e divertidos meses de coleta em campo, quando o Nupem era nossa casa: Lu, Zé, Jabour, Jayminho, Fred, Lets, Leandro, (R)Ellen, João Marcelo, Humberto.

Aos meus companheiros do plâncton: Ana Cláudia, Jayme, Letícia, Luciana, Lucy, Monalisa, Paloma, Sandra e Rayanne.

Ao Jayme, irmãozinho querido, por estar sempre por perto, por sua amizade, pelos momentos em Macaé ou no Rio que renderam bons frutos, muitos risos e algumas lágrimas...

À Lu, que há tantos anos compartilha comigo as dores e as delícias do mundo planctônico. Seu incentivo, ajuda e amizade foram determinantes pra que eu chegasse até aqui.

À Paloma pela amizade, carinho, conversas (as sérias e as não tão sérias...), pela torcida constante e cumplicidade e pelas muitas músicas da nossa “esgoellation collection” que animaram nossos dias no laboratório.

À Ellen pela muitas horas de conversa na idas e voltas pra casa, pelos momentos impagáveis de atrapalhão que rendem boas risadas, por sua amizade e por seus olhos que encantam meu filho!

À Letícia pelo carinho, por estar sempre pronta pra ajudar e pelas muitas horas de microscópio na análise do fitoplâncton. Aprendi mais com você sobre esse mundo.

À Sandra, amiga querida, que sempre me lembrou que existe alguém maior, que renova nossa força e ânimo para continuar.

Ao Paulinho, o amigo distante mais próximo! Sempre pronto a ouvir, sempre incentivador, otimista. Mesmo sem o bridge continuamos juntos!!!

Ao Cláudio, pelas nossas conversas, pelo seu exemplo de caráter, amizade. E, claro, pelas inúmeras vezes que me “salvou” dos atravancos analíticos.

À minha família, pelo incentivo, carinho, torcida e apoio incondicional, por entenderem as ausências constantes, principalmente, aos meus irmãos pelo longo período de exclusividade da mamãe...

Aos meus pais, que são exemplos de amor, de amizade, dedicação. Se eu conseguir ser pro Gabriel um pouco do que vocês são pra mim, ele é um menino de sorte! Amo muito vocês, obrigada por acreditarem, torcerem, confiarem, obrigada por tudo!

Ao Gabriel, meu anjinho, meu presente. Por acordar sorrindo e me encher de alegria, por me conhecer outra, serena e intensa. Por gerar um amor inimaginável.

Ao Alê, meu doce amor, por todos os momentos que passamos juntos, porque me acolhe, me conforta, me diverte, ri e chora comigo, faz café e cafuné! Porque abriu mão de momentos tão importantes para que eu pudesse chegar até aqui. Que bom você comigo...Amo muito você!

A Deus porque colocou à minha volta pessoas e situações que me fizeram quem sou hoje, e porque está sempre perto, nunca distante.

Sumário

Resumo.....	ix
Abstract	x
1. Introdução Geral	11
2. Hipótese e Objetivos	17
3. Área de Estudo	18
4. Métodos.....	19
5. Capítulo I: A qualidade do alimento e suas implicações para o zooplâncton lacustre – uma revisão	25
6. Capítulo II: O efeito da adição de nutrientes sobre a comunidade zooplanctônica da lagoa Cabiúnas – uma abordagem experimental em mesocosmos.....	46
7. Capítulo III: Composição elementar do séston (C, N e P) e sua influência na comunidade zooplanctônica.	75
8. Discussão Geral.....	91
9. Conclusões	94
10. Referências Bibliográficas.....	95

Resumo

Experimentos em mesocosmos foram conduzidos para avaliar a influência da adição de nutrientes sobre a qualidade do alimento para o zooplâncton. Assim, foram instalados na lagoa Cabiúnas (Macaé, RJ) cilindros de plástico de 2,0 m de diâmetro e 2,4 m de altura, com comunicação com o sedimento da lagoa. Os experimentos consistiam em 4 réplicas de controle e 4 de tratamento e foram monitorados por 11 semanas. Foram feitas adições de N e P na razão 5:1. Os objetivos desta tese foram verificar os efeitos da adição de N e P sobre as comunidades zooplânctônica e fitoplânctônica; sobre a estequiometria do séston e do séston sobre o zooplâncton. A fração do séston estudada foi na faixa $< 20 \mu\text{m}$, que representa a faixa considerada acessível para o zooplâncton. Observou-se que a adição de nutrientes aos mesocosmos resultou em respostas positivas de incremento do biovolume do fitoplâncton, mas não apresentou diferenças significativas quanto à biomassa total do zooplâncton, apresentando resposta positiva com relação ao tempo de experimento. No entanto, mudanças na densidade de cladóceros foram observadas assim como a substituição de dominância de espécies nos mesocosmos enriquecidos. Foi ainda observada uma maior produção de ovos em cladóceros nos tratamentos de adição de nutrientes. As razões estequiométricas observadas no séston $< 20 \mu\text{m}$ não indicaram limitação por P (< 300) e com a adição de nutrientes foi observado o desenvolvimento de algas conhecidamente de maior valor nutricional como caso das criptofíceas e euglenofíceas. Desta forma a adição de nutrientes aos mesocosmos alterou a qualidade do alimento disponível ao zooplâncton, possibilitando, ao contrário do esperado, o desenvolvimento de algas de maior valor nutricional.

Abstract

Mesocosms experiments were performed to evaluate the influence of nutrient loading on the food quality for the zooplankton community. Thus, cylindrical structures with 2.0m high and diameter of 2.4m connected to the sediment were placed at Cabiúnas lagoon. The experiment consisted on 4 replicates for control and 4 replicates for treatments. Nitrogen and phosphorus were added at the ratio 5:1. The aims of this study were to evaluate the effects of N and P addition on zooplankton and phytoplankton communities; the influence on seston and the influence of seston on, as food resource, on the zooplankton. The seston fraction studied was $< 20\mu\text{m}$, which represents the range suitable for zooplankton. We observed that nutrient addition in the mesocosms resulted in enhancement in phytoplankton biovolume, but did not show statistical differences related to zooplankton total biomass, that responded only to the duration of the experiment. However, changes on cladocerans density were observed as well as species replacement on enriched mesocosms. We also observed a higher egg production on this group on the mesocosms enriched with nutrients. Stoichiometry ratios on seston $< 20\ \mu\text{m}$ did not indicate P-limitation (< 300), but the addition of nutrients enhanced the development of algae of known high nutritional value as cryptophytes and euglenophytes. Conversely, nutrients addition to mesocosms altered the food quality for zooplankton by stimulating the development of nutritional algae.

Introdução Geral

A importância do estudo de Comunidades Planctônicas

A comunidade planctônica apresenta um papel importante na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia dos ecossistemas aquáticos. O fitoplâncton é o principal grupo responsável pela transformação da matéria orgânica dissolvida e nutrientes em biomassa que será disponibilizada para os outros níveis tróficos (Medina-Sanchez, *et al.*, 2004). No caso da comunidade zooplanctônica, a participação neste processo vem da ingestão parcial ou completa de partículas, que resultam na liberação de nutrientes para o meio (Andersen *et al.*, 1988).

O estudo da comunidade zooplanctônica é importante, pois ela representa o elo entre produtores primários (fitoplâncton) e os níveis tróficos superiores em ecossistemas aquáticos. Além disso, este grupo é bastante apropriado para monitoramento biológico da qualidade da água por ser sensível às alterações nas condições ambientais e do nível de degradação em ambientes aquáticos (Schindler, 1987). O zooplâncton apresenta características que facilitam o estudo deste grupo como indicador de qualidade ambiental (menores densidades e menor número de espécies e maior tamanho quando comparado à comunidade fitoplanctônica) e pela sua posição estratégica em termos de alimentação e fluxo de energia (Gulati, 1983).

Pela sua posição na cadeia trófica de ambientes aquáticos, o estudo das relações entre o zooplâncton e o fitoplâncton é de importância indiscutível para o entendimento da dinâmica deste grupo. Vários estudos recentes têm mostrado a importância do estudo da qualidade do alimento para o zooplâncton na determinação de parâmetros fundamentais do ciclo de vida dos organismos desta comunidade, como fecundidade e taxas de crescimento, por exemplo. Outros estudos avaliam a capacidade da comunidade zooplanctônica em controlar as densidades de

determinados grupos de algas (Romanowsky, 1985; Elser *et al.*, 1990; Dawidowicz, 1990; de Bernardi & Guissani, 1990; Gliwicz, 1990; Amarasinghe, *et al.*, 1997; Twombly *et al.*, 1998). A qualidade dos recursos utilizados pelo zooplâncton é altamente variável, dependendo da digestibilidade, conteúdo tóxico e adequação nutricional.

Importância da qualidade do alimento para o zooplâncton

O Alimento é para os organismos a fonte principal de obtenção de energia para sua manutenção e perpetuação. Alguns fatores são fundamentais para que o alimento cumpra este papel: a quantidade disponível e sua qualidade. A quantidade de alimento disponível é fundamental porque, dela depende a sua captura, e a qualidade garante o funcionamento adequado do organismo.

O enfoque da importância do alimento para o zooplâncton tem sido abordado desde o início da década de 70, com estudos desenvolvidos por Schindler (1971). Desde então, diversos outros autores vêm se dedicando a esta questão. No início dos estudos, a principal pergunta que motivava os estudos era sobre a quantidade de alimento necessária para que os organismos zooplanctônicos pudessem se desenvolver e reproduzir. Tempos depois, alguns autores observaram que não só a quantidade, mas também a qualidade do alimento é fundamental nessa questão. Assim começaram os estudos sobre as composições químicas elementares do alimento do zooplâncton. Nestes estudos a abordagem consistia em quantificar os conteúdos de nitrogênio (N), fósforo (P) e Carbono (C) do alimento, manipular tais concentrações e verificar as respostas do zooplâncton a estes estímulos (Hessen, 1990; Hessen, 1992; Sterner e Hessen, 1994; Elser *et al.*, 1996; Main *et al.* 1997 entre outros). Na mesma época, outros autores começaram a buscar outras questões que também poderiam influenciar a qualidade do alimento. Estes estudos enfocaram na composição bioquímica de algas e suspensões (séston), onde a determinação de boa

ou má qualidade seria em função da presença e quantidade de determinados componentes bioquímicos, os ácidos graxos (Ahlgren *et al.* 1990; Müller-Navarra, 1995; Brett & Müller-Navarra, 1997; Müller-Navarra *et al.*, 2000; Von Elert 2002 entre outros).

As duas abordagens defendem ópticas diferentes e, no entanto, complementares. A composição elementar (C, N e P) e as concentrações de ácidos graxos são determinantes para a qualidade do alimento para o zooplâncton.

Existem algumas condições necessárias que fazem com que a qualidade do alimento para o zooplâncton seja ou não adequada: Tamanho e forma da partícula a ser consumida, produção de toxinas, desenvolvimento de estruturas que impeçam a ingestão e/ou digestão, composição química (Carbono, Nitrogênio e Fósforo e/ou compostos bioquímicos). Todas elas são complementares e podem, de alguma maneira, afetar o consumidor.

A composição elementar de produtores tende a ser menos constante na natureza do que aquela encontrada para os consumidores. Os produtores estão mais suscetíveis a mudanças no meio circundante que podem afetar, diretamente, na sua composição. Em ambientes aquáticos a composição elementar do fitoplâncton pode mudar dependendo dos regimes de luz e do suprimento de nutrientes. No caso de consumidores, os efeitos são indiretos e afetam características de seu desenvolvimento como crescimento somático, reprodução e produção de ovos, por exemplo.

Estado trófico dos ambientes aquáticos e sua influência na comunidade zooplanctônica

O estado trófico do ambiente aquático é de grande importância, já que a composição e densidade do fitoplâncton são influenciadas por esse fator e conseqüentemente terá influência sobre a composição do zooplâncton. Estudos

demonstram que em ambientes eutróficos, há uma tendência da proliferação de cianofíceas filamentosas que vão, por sua qualidade nutricional e tamanho, afetar a composição do zooplâncton. Deve-se ressaltar que em casos de florações de algas, estas podem liberar substâncias tóxicas ao zooplâncton ou ainda apresentar características que as tornam praticamente imunes à herbivoria. Portanto, estudos da composição zooplancônica associados a dados de composição da comunidade fitoplanctônica, que geralmente correspondem à principal fonte de alimento do zooplâncton, são fundamentais para o entendimento dos fatores que determinam a sua estrutura.

A entrada de nutrientes nos ambientes aquáticos costeiros e o conseqüente aumento das suas concentrações como resultado de atividades antrópicas são alguns dos principais responsáveis pelo processo de eutrofização artificial, principalmente naqueles ambientes isolados do mar onde o tempo de renovação das águas é mais longo. Este processo pode provocar profundas mudanças quantitativas e qualitativas nas comunidades aquáticas e na qualidade da água do sistema (Attayde & Bozelli, 1998; Branco *et al.*, 1998; Koslowsky-Suzuki, 1998; Matsumura-Tundisi *et al.*, 1990; Torres-Orozco & Zanatta, 1998, entre outros). Por outro lado, o processo de eutrofização também pode ocorrer de forma natural, sendo resultado da ação lenta e contínua da entrada de nutrientes, oriunda das chuvas e das águas que lavam e erodem a superfície terrestre (Esteves, 1998).

Uma das principais causas da eutrofização artificial de rios, lagos e reservatórios em muitas regiões brasileiras, é a acelerada taxa de urbanização e o conseqüente aumento de descarga de esgotos. O crescimento da agroindústria nos últimos 20 anos também pode ser apontado como um dos responsáveis pela eutrofização de ambientes aquáticos no Brasil, o que tem causado um crescimento elevado das macrófitas aquáticas e altas concentrações de fósforo no sedimento, como resultado do uso de fertilizantes (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1992).

Vários estudos têm sido realizados no Brasil a fim de se caracterizar as

alterações causadas pela eutrofização nos diferentes compartimentos de um ambiente aquático. Estes estudos tratam de reservatórios (Arcifa, 1984; Sendacz, 1985; Branco & Senna, 1996; Pinto-Coelho, 1998), rios (Bonecker *et al.*, 1996; Bini *et al.*, 1999) e lagoas costeiras (Thomaz & Esteves, 1997; Branco *et al.*, 1998; Koslowsky-Suzuki, 1998, Attayde & Bozelli, 1998; Melo, 2001, Rocha 2002; Koslowsky-Suzuki & Bozelli, 2002).

Na comunidade zooplanctônica observa-se a dominância de poucas espécies e o desaparecimento de outras. A estrutura de tamanho desta comunidade sofre grandes alterações e passa a ser composta principalmente de organismos de pequeno porte (Blancher, 1984; Matsumura-Tundisi *et al.*, 1990; Torres-Orozco & Zanatta, 1998). É observado, normalmente, um predomínio de rotíferos, copépodes ciclopóides e náuplios de copépodes em ambientes eutróficos. Em alguns casos, porém observa-se a presença de grandes cladóceros como *Daphnia* (Elser *et al.*, 1990; Pinto-Coelho, 1998). A biomassa zooplanctônica tende a aumentar com o aumento do estado trófico dos ambientes aquáticos (Brooks, 1969; Bays & Crisman, 1983; Naselli Flores & Barone, 1994).

Importância de experimentos em campo – o uso de mesocosmos como ferramenta de experimentação em Limnologia

A abordagem experimental é sem dúvida uma grande ferramenta nos estudos limnológicos. O estudo de processos que ocorrem nas comunidades aquáticas pode ser mais bem entendido através de experimentação. Apesar disso, a experimentação em ecologia continua sofrendo muitas críticas por muitas vezes estarem muito distantes da realidade ecológica. A maioria dos experimentos envolve o isolamento de partes do sistema, o que permite sua replicabilidade e embasamento estatístico dos resultados obtidos. No entanto, muitas vezes, a escala em que estes experimentos são conduzidos, pode ser um fator complicador por sua distância das condições reais.

A experimentação em mesocosmos *in situ* na Limnologia surge como uma alternativa viável em que as escalas, tanto espacial quanto temporal, se aproximam mais do real, permitindo a replicabilidade, o entendimento das dinâmicas dos nutrientes, das interações e estruturas das comunidades (Carneiro *et al.* 2005).

O uso de mesocosmos tem sido uma útil ferramenta para investigar efeitos oriundos das simulações de perturbações e funcionamento de ecossistemas, de maneira experimental. A opção do uso dos mesocosmos representa o caminho entre os experimentos em pequena escala e (microscosmos) e o ambiente natural (Odum, 1988).

Este tipo de experimentação permite ainda que sejam combinadas diferentes abordagens em distintos compartimentos do ecossistema, de forma simultânea, o que em muito enriquece a produção de resultados que esclareçam o funcionamento dos ecossistemas aquáticos. A aplicação dos mesocosmos tem sido feita a fim de se compreender uma gama de questões do estudo da Limnologia como: dinâmica de nutrientes, eutrofização, dinâmica de comunidades, relações tróficas, efeitos de controles ascendentes e descendentes, entre outros (Fussman *et al.*, 1996; Lyche *et al.*, 1996 (a e b); Reynolds, 1996; Cottingham *et al.*, 1997; Pitta *et al.* 1998; Jürgens & Jeppesen, 2000; Weithoff *et al.* 2000; Sommer *et al.*, 2001, entre outros).

No Brasil a abordagem em mesocosmos também tem sido utilizada para se investigar, por exemplo, o efeito do enriquecimento sobre as comunidades planctônicas (Suzuki & Esteves, 2000; Lemos *et al.*, 2001; Kozlowsky-Suzuki & Bozelli, 2002; Sterza *et al.* 2000; Crossetti & Bicudo, 2005 a e b), o efeito da predação por peixes (Roche *et al.* 1993, Roche *et al.*, 2005; Carneiro, 2008), por invertebrados (Castilho e Arcifa, 2007), comunidade perifítica (Guariento, 2008) entre outros.

Apresentação desta tese

Neste trabalho, discutimos detalhadamente a importância de cada uma das abordagens e dos fatores que influenciam a qualidade do alimento para o zooplâncton no primeiro capítulo que trata de uma revisão sobre o tema.

No segundo capítulo, tratamos de uma abordagem experimental de enriquecimento em mesocosmos e como o zooplâncton responde às mudanças na estrutura da comunidade fitoplanctônica.

No terceiro capítulo, ainda referente ao experimento, tratamos das concentrações de C, N e P do séston e como a concentração destes elementos influencia na dinâmica do zooplâncton.

Hipótese e Objetivos

Hipótese

A disponibilidade de nutrientes num ambiente aquático é determinante para a estrutura das comunidades planctônicas e suas interações. O aumento da trofia acarreta em alterações na composição fitoplanctônica que diminuem sua qualidade nutricional. Assim, o aumento da trofia em ambientes aquáticos reflete em alimento de menor qualidade nutricional para o zooplâncton.

Objetivos

- Caracterizar a comunidade zooplanctônica quanto a sua composição, densidade e biomassa;
- Caracterizar a comunidade fitoplanctônica quanto a sua composição, densidade e biovolume;
- Verificar os efeitos da adição de N e P sobre as comunidades zooplanctônica e fitoplanctônica;
- Verificar os efeitos da adição de N e P na estequiometria do séston;

- Verificar os efeitos da estequiometria do séston sobre a comunidade zooplanctônica.

Área de Estudo

Este estudo foi desenvolvido na lagoa Cabiúnas, localizada no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, no norte fluminense (22° 15' S, 41° 40' O). A lagoa Cabiúnas é uma lagoa costeira e é separada do mar por uma barra de areia que, ocasionalmente, é aberta de maneira natural ou antrópica (Figura 1). A área da lagoa é de aproximadamente 0,35 km² e profundidade média de 2,0m (Panosso, *et al.* 1998). Suas águas são levemente ácidas (pH~6,3) e húmicas com temperatura média anual de 23,6° C, transparência pelo disco de Secchi de 0,5m (Petruccio, 1998). Possui uma forma dendrítica o que confere alta relação perímetro:volume, o que favorece o desenvolvimento da região litorânea que é densamente colonizada por macrófitas, principalmente *Typha domingensis* (Pers.)



Figura 1: Imagem de satélite da Lagoa Cabiúnas e indicação do local da incubação dos mesocosmos. (Fonte: Google Earth, Setembro de 2008)

A lagoa Cabiúnas pode ser classificada como oligo-mesotrófica segundo os valores médios de concentração de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT) correspondentes a 0,35 e 55 μM , respectivamente e pelo valor médio da concentração de clorofila-a de 4 mg/L (Enrich-Prast, 2004).

Métodos

Mesocosmos

Foram utilizados 16 mesocosmos cilíndricos de plástico transparente (300mm de espessura), medindo 2,0m de diâmetro e 2,4 m de altura. Tanto na base quanto na parte superior dos mesocosmos, foram instaladas estruturas de ferro que permitiram a fixação dos plásticos, permitindo que a estrutura como um todo se mantivesse estável. Tanto a superfície quanto o fundo dos mesocosmos foram mantidos abertos, possibilitando trocas gasosas com a atmosfera e contato com o sedimento da lagoa através de uma rede de abertura de malha de aproximadamente 3 cm. Os mesocosmos foram incubados a uma profundidade média de 2,0 m e a parte inferior da estrutura enterrada aproximadamente 10 cm no sedimento da lagoa. Assim, cerca de 30 cm dos mesocosmos se mantinham acima da linha da água, impedindo a entrada de água da lagoa. Na parte superior dos mesocosmos foram fixadas bóias para estabilização e foram ainda fixos com âncoras para evitar deslocamento (Figura 2). Os mesocosmos foram instalados num dos braços da lagoa próximo a região litorânea (Figura 3). A profundidade dos mesocosmos correspondeu à profundidade média da lagoa Cabiúnas e seu volume total foi de aproximadamente 6300L.

O experimento foi do tipo fatorial 2X2 para cada fator estudado: presença de peixes e adição de nutrientes. Assim, o desenho amostral consistia de dois níveis do fator nutriente (sem ou com adição) e peixes (ausência ou presença). Desta forma obteve-se os seguintes tratamentos: controles (sem adição de nutrientes e sem peixes), nutrientes (com adição de nutrientes e ausência de peixes), peixes (sem

adição de nutrientes e presença de peixes) e peixes + nutrientes (presença de peixes e adição de nutrientes). Cada tratamento foi replicado quatro vezes e cada réplica distribuída em quatro diferentes blocos para que todos os tratamentos fossem sujeitos a todas as condições do local da incubação.

O experimento teve duração total de 11 semanas. As adições tanto de nutrientes quanto de peixes foi realizada após a primeira semana decorrido o tempo de estabilização das condições pré-tratamento.

Este estudo trata da influência da adição de nutrientes e de suas influências nas comunidades fitoplanctônicas e zooplanctônicas e na alteração da qualidade do alimento para o zooplâncton. Portanto o detalhamento metodológico será referente somente aos controles e aos tratamentos com adição de nutrientes. Maior detalhamento do desenho experimental, e das manipulações de peixes nos mesocosmos podem ser obtidas em Carneiro (2008).

O tratamento com adição de nutrientes foi manipulado a partir das concentrações encontradas naturalmente na lagoa. Assim, formas fosfatadas e nitrogenadas em concentração final de 40 μM de fósforo (KH_2PO_4 e K_2HPO_4) e 200 μM de nitrogênio (NH_4NO_3) correspondendo a uma razão 5:1. As adições foram realizadas diluindo-se previamente a quantidade de nutrientes em um recipiente e depois a solução adicionada aos tratamentos. A coluna d' água era homogeneizada após cada adição e em outros períodos ao longo das semanas para garantir a homogeneização da coluna d'água e minimizar a decantação de partículas e a estratificação de oxigênio e/ou temperatura (Stephen *et al.*, 2004). Estas concentrações foram mantidas ao longo das semanas através de adições corretivas semanais, após análise das concentrações de nutrientes. A proporção 5:1 utilizada neste experimento foi adotada segundo resultados obtidos em experimento piloto, quando os nutrientes adicionados em outra razão eram praticamente extinguidos da coluna d'água em um intervalo de 48 horas.

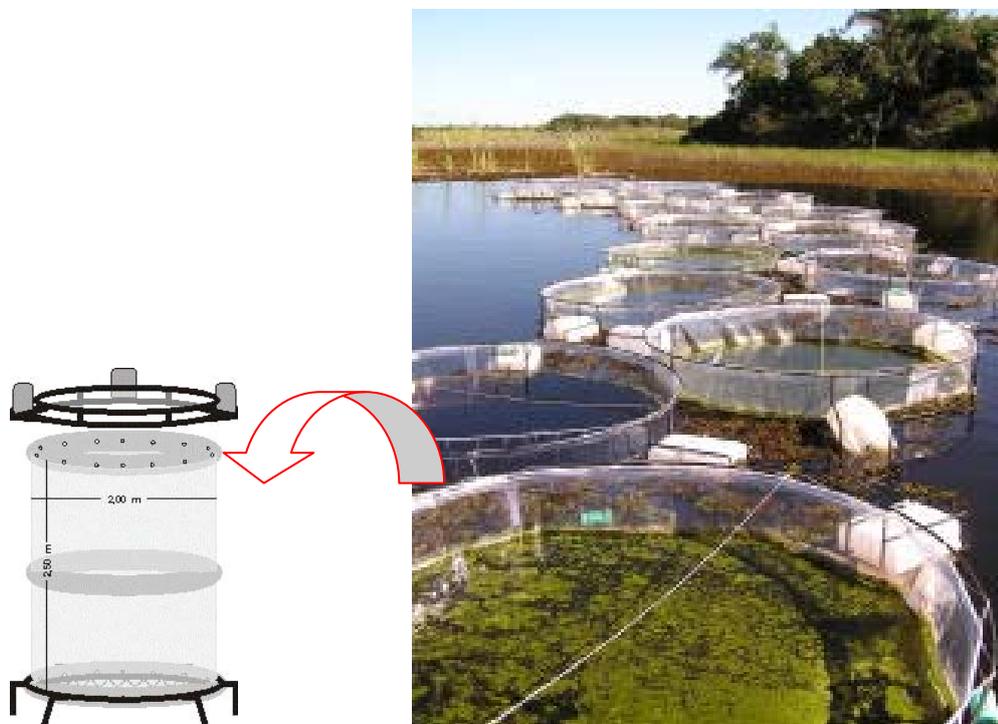


Figura 2: Esquema ilustrativo dos mesocosmos utilizados neste estudo e foto do local da instalação dos mesocosmos na lagoa Cabiúnas (Ilustração e foto de Adriano Caliman)

Amostragem e análises

Água

As amostras da coluna d'água foram coletadas semanalmente ao longo das sete semanas e feita uma última coleta na 11^a semana do experimento. Foram coletadas com o auxílio de uma garrafa de Van Dorn em duas profundidades e integradas a fim de que fossem determinadas as concentrações de íon amônio (Koroleff, 1978), nitrato (em um sistema de injeção por fluxo – FIA) e ortofosfato segundo Golterman *et al* (1978).

Em campo, foram realizadas medidas de transparência com disco de Secchi, concentração de oxigênio e temperatura da água com oxímetro portátil (YSI)

Zooplâncton

Amostras de zooplâncton foram coletadas semanalmente através de arrastos verticais no centro dos mesocosmos com uma rede de 65 µm de abertura de malha. As amostras foram imediatamente fixadas em solução de formol a 4%. As densidades dos organismos foram determinadas sob microscópio estereoscópico e a identificação foi feita até o nível taxonômico mais detalhado o possível e foram agrupados em Cladocera (cladóceros), Rotifera (rotíferos) e Copepoda (copépodes). Estes últimos foram separados nas ordens Calanoida (calanóides) e Cyclopoida (ciclopóides) e ainda quantificados os náuplios e copepoditos.

A determinação da biomassa dos microcrustáceos (cladóceros e copépodes) foi realizada por medida de peso seco dos 20 primeiros indivíduos retirados das amostras após secagem em estufa a 60°C por 24 horas. Para tal foi utilizada uma microbalança Metler UMT2. A biomassa dos adultos foi obtida multiplicando-se o peso médio por indivíduo de cada espécie por sua densidade na amostra. A biomassa de rotíferos foi

determinada através do peso médio das espécies indicado na literatura e multiplicado por suas densidades nas amostras (Wetzel & Likens, 1991)

Também foram coletados organismos para determinação de conteúdo de fósforo total (PT) e carbono (C). Nessas amostras foram selecionados cladóceros e copépodes adultos, ainda vivos, mais abundantes em cada amostra. A determinação da concentração de PT no zooplâncton foi feita após digestão por persulfato e leitura em FIA. Para a determinação da concentração de carbono no zooplâncton, as amostras foram secas em estufa a 60°C e levadas a um Analisador de Carbono (Shimadzu TOC 500).

Fitoplâncton

Das amostras coletadas para análise de nutrientes, foram retirados 100 mL para a determinação da densidade e biovolume da comunidade fitoplanctônica. As amostras foram fixadas com lugol e processadas em microscópio invertido após sedimentação pelo método de Utermöhl (1958). Para a determinação do biovolume as células foram medidas e o volume calculado a partir da semelhança da forma da célula a de uma figura geométrica (Hillebrand, 1999). Foram ainda determinadas classes de tamanho como uma estimativa de seu potencial como alimento para o zooplâncton. Para estas medidas foi utilizada a metodologia de MDL (Máxima Dimensão Linear) e foram determinadas três classes de tamanho: < 20 µm, 20 a 50µm e >50 µm.

O fitoplâncton foi agrupado nas seguintes classes taxonômicas: Cyanobacteria (cianofíceas), Cryptophyceae (criptofíceas), Dynophyceae (dinofíceas), Bacillariophyceae (diatomáceas), Chrysophyceae (crisofíceas), Xanthophyceae (xantofíceas), Euglenophyceae (euglenofíceas), Chlorophyceae (clorofíceas) e Zygnematophyceae (zignematofíceas)

Séston

Foram coletadas amostras integradas de água para análise de fosfato, carbono e nitrogênio do séston. As amostras foram fracionadas em rede de malha de 20 µm e posteriormente filtradas em filtros pré-calcinados em mufla a 550°C. O volume filtrado em cada filtro variou de 0,5 a 1 L dependendo da amostra. As amostras foram mantidas em freezer até serem processadas. Os métodos utilizados para a determinação de C, P e N foram os mesmos descrito para a análise de água e zooplâncton.

Análise dos Dados

Para verificar possíveis diferenças entre os controles e os tratamentos e o tempo de duração do experimento, foram realizadas análises de variância com medidas repetidas (RM-ANOVA) através do programa GraphPad Prism versão 4.00. Os dados foram previamente transformados utilizando o logaritmo +1 na base 10.

Capítulo I

**A qualidade do alimento e suas implicações para o
zooplâncton lacustre – uma revisão**

Alimento para o zooplâncton: o que é e sua importância

Dentre os fatores que afetam os parâmetros de história de vida dos herbívoros planctônicos, a disponibilidade de alimento tem recebido muita atenção. O alimento é para os organismos fator primordial para a obtenção de energia para seu funcionamento, manutenção e reprodução. Desta forma, a quantidade e qualidade do alimento obtido são fundamentais para o ciclo de vida dos organismos que inclui: crescimento somático, tempo de desenvolvimento, idade e tamanho de maturação, tamanho do ovo e da câmara incubadora (no caso dos cladóceros) e sobrevivência e longevidade.

Existem três diferentes etapas a serem seguidas para que o alimento cumpra este papel de mantenedor dos organismos e de sua perpetuação. São elas: o encontro do alimento, ou seja, a quantidade do alimento disponível é determinante para sua captura; a ingestão onde serão importantes a forma e tamanho das partículas a serem obtidas, tais requisitos são fundamentais no caso em que o corpo do predador é fator limitante para a captura de sua presa; a digestibilidade, já que em alguns casos, mesmo tendo sido capturado, o alimento pode ser resistente à digestão; e por último: a incorporação, ou seja, o quanto do que é obtido, é transformado em biomassa ou alocado para reprodução por exemplo.

O alimento para o zooplâncton pode ser de origem estritamente fitoplanctônica, de bactérias, de flagelados, de ciliados e detritos (Lampert, 1987). O zooplâncton tem diferentes hábitos alimentares, dependendo da forma também como se alimentam. A maioria dos cladóceros é filtrador e normalmente a obtenção de recursos se dá de maneira não seletiva, sendo o tamanho da partícula o principal fator limitante para sua captura. O mesmo acontece para o grupo dos rotíferos e dos copépodes calanóides. Já os copépodes ciclopóides são considerados predadores, pois há a busca ativa pela partícula a ser consumida (Figs 1 e 2). Atualmente sabe-se que além da limitação por tamanho sugerida no final da década de 60 por Burns, outros fatores como a

palatabilidade também são responsáveis pela limitação na captura do alimento. Assim a filtração não é mais considerada uma ação passiva.

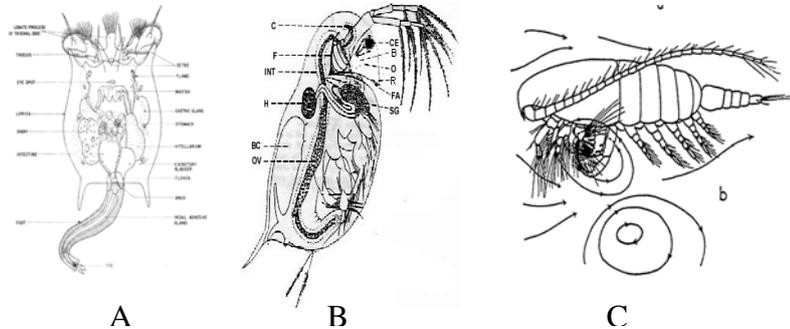


Figura 1: Representação geral de organismos dos grupos de rotíferos (A), cladóceros (B) e copépodes (C).

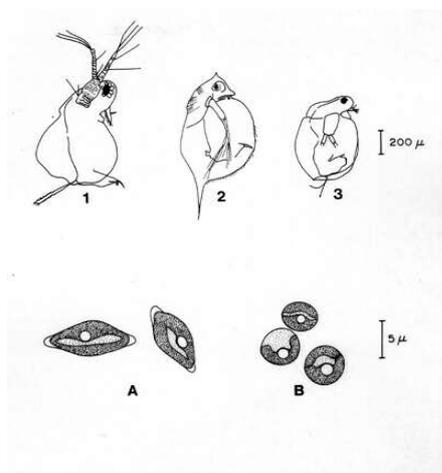


Figura 2: Relações entre tamanho de corpo de algumas espécies de cladóceros filtradores e células de algas (Martinez, G. 2000).

Dentre as potenciais fontes alimentares para o zooplâncton, o fitoplâncton é a mais estudada. No geral, compõe a maior parte do séston, representando desta forma a principal fonte alimentar para o zooplâncton (Lampert 1987; Gaedke 1992). O tamanho das algas, os seus metabólitos secundários, a digestibilidade e as

TABLA I

Rango de tamaño de las especies consumidoras y especies recursos.
n = tamaño de la muestra

Size range of consumer and resource species.
n = sample size

Especie	Tamaño corporal	n
Consumidor		
	(μm)	
<i>Moina micrura</i>	0,72 – 1,02	104
<i>Daphnia ambigua</i>	0,66 – 0,96	74
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	0,54 – 0,84	104
Recurso		
	(μm)	
<i>Chlorella</i> sp.	47 – 68	100
<i>Oocystis</i> sp.	62 – 98	100

composições elementares e bioquímicas, têm sido fatores usados para avaliar a qualidade do alimento para o zooplâncton (Hessen 1992, Sterner 1993, Muller-Navarra 1995, Giani & Boechat, 2000; Macedo & Pinto-Coelho, 2001; Ferrão-Filho *et al.*, 2003 (a e b), Martinez, 2000, Fileto *et al.*, 2004, Ferrão-Filho *et al.* 2005, Pinto-Coelho *et al.*, 2005; Ferrão-Filho e Arcifa, 2006; Ferrão-Filho *et al.*, 2007 entre outros).

Fatores que determinam a limitação da alimentação do zooplâncton

Existem dois tipos de depleção de recursos, quantidade e qualidade. Baixa quantidade de alimento é caracterizada como uma disponibilidade insuficiente de todos os recursos essenciais ao consumidor, incluindo energia. Baixa qualidade de alimento por outro lado, é caracterizada pela insuficiência de apenas uma parte de todos os recursos essenciais. A energia pode estar em abundância, e apenas um elemento, como por exemplo, proteínas, em demanda insuficiente. Muitos estudos consideraram por muito tempo que a quantidade apenas do alimento era o fator primordial para o desenvolvimento das espécies zooplanctônicas.

Um dos primeiros estudos a abordar a qualidade do alimento e a nutrição do zooplâncton foi desenvolvido por Schindler em 1971, onde o autor utilizou C^{14} como marcador para diferentes espécies de algas (clorofíceas, cianofíceas, criptofíceas) utilizando três diferentes espécies de zooplâncton de diferentes hábitos alimentares; um cladóceros, um ciclopóide e um calanóide. Neste estudo foram observadas diferentes taxas de ingestão e assimilação dependendo tanto da alga utilizada quanto da espécie de zooplâncton. Em estudos mais recentes este assunto ainda é abordado, como o estudo realizado por Martinez (2000) em que três diferentes espécies de cladóceros (*Daphnia ambigua*, *Moina micrura* e *Ceriodaphnia dubia*) foram submetidas a diferentes concentrações de alimento. Neste estudo foram consideradas, a

quantidade do recurso, e a resposta da vantagem competitiva frente à eficiência de assimilação deste recurso pelas diferentes espécies de cladóceros (fig. 3).

Os estudos da década de 90 começaram a apontar que não só a quantidade de alimento, mas também, a sua qualidade refletida na sua composição química, é um fator primordial para a compreensão dos padrões temporais e espaciais das comunidades zooplanctônicas.

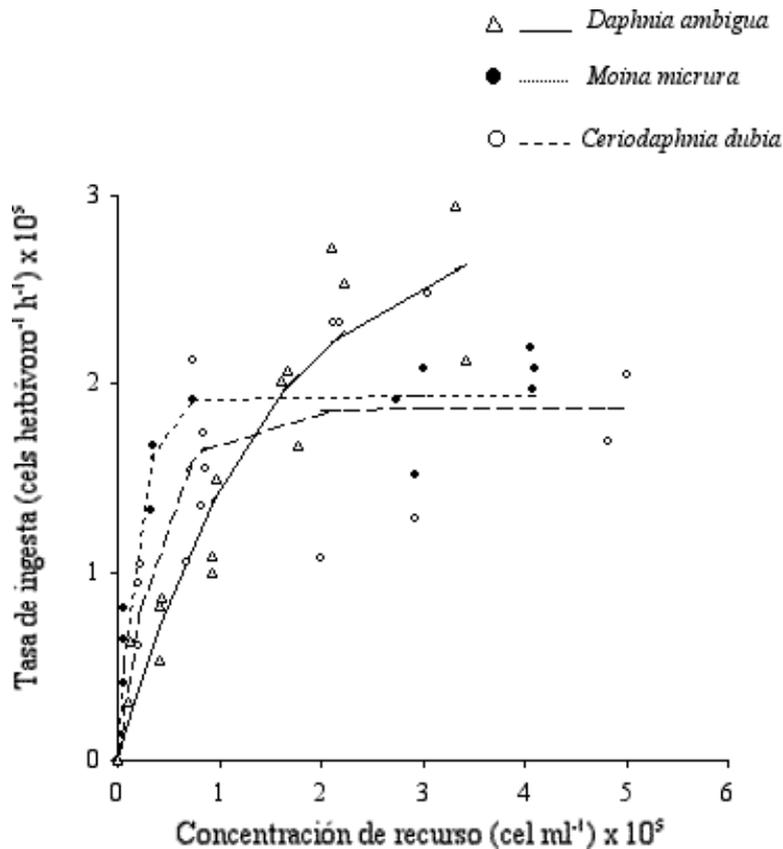


Figura 3: Respostas funcionais das espécies de cladóceros sobre *Oocystis* sp. (extraído de Martinez, 2000)

Apesar da baixa qualidade do alimento ser considerado um fator importante para a ecologia de muitos animais, pouco é sabido sobre a resposta dos múltiplos parâmetros da história de vida de herbívoros planctônicos frente às suas mudanças (Sterner & Schulz, 1998). Se algum elemento e/ou a composição bioquímica são

deficientes no alimento, os herbívoros planctônicos podem não ter um desempenho ótimo ou de uma maneira que seja a predita pela quantidade de alimento apenas.

De maneira geral, quando consideramos o alimento de origem fitoplanctônica, existem três mecanismos relacionados à sua qualidade que podem, juntos ou separadamente, afetar o zooplâncton: 1) morfologia e tamanho das algas (incluindo o desenvolvimento de estruturas de defesa contra herbivoria); 2) presença de toxinas; e 3) qualidade nutricional (P, N e ácidos graxos).

Tamanho e forma das células

Tradicionalmente, os estudos sobre a qualidade de alimento focam nos efeitos do tamanho da partícula e sua morfologia.

Segundo Burns (1968), em estudo realizado com 7 espécies de cladóceros, o tamanho máximo da partícula que um filtrador pode ingerir é diretamente relacionado com o tamanho do corpo do animal. A interação destes fatores pode ser um argumento para o sucesso destas espécies fitoplanctônicas.

Elser *et al.* (1990), em um estudo realizado em três lagos de diferentes estados tróficos, observaram que no lago eutrófico a comunidade zooplanctônica não produzira efeito de herbivoria detectável, mesmo quando suas densidades eram elevadas em até 8 vezes. A razão para tal fator era de que 42% da biomassa da comunidade fitoplanctônica era composta por uma espécie de cianofíceia filamentosa e formadora de colônias (Figura 4 A e B).

Em estudo realizado por Fileto *et al.* (2004), duas frações de séston foram utilizadas como alimento para espécies de cladóceros de diferentes tamanhos. Foi observado que as espécies menores (*Ceriodaphnia cornuta* e *Moina micrura*) quando alimentadas com nanoplâncton (< 20µm) produziram maior ninhada e obtiveram maior taxa de crescimento intrínseco, enquanto que a espécie maior (*Simocephalus mixtus*) produziu maior tamanho de ninhada quando alimentada com microplâncton (≥ 20µm).

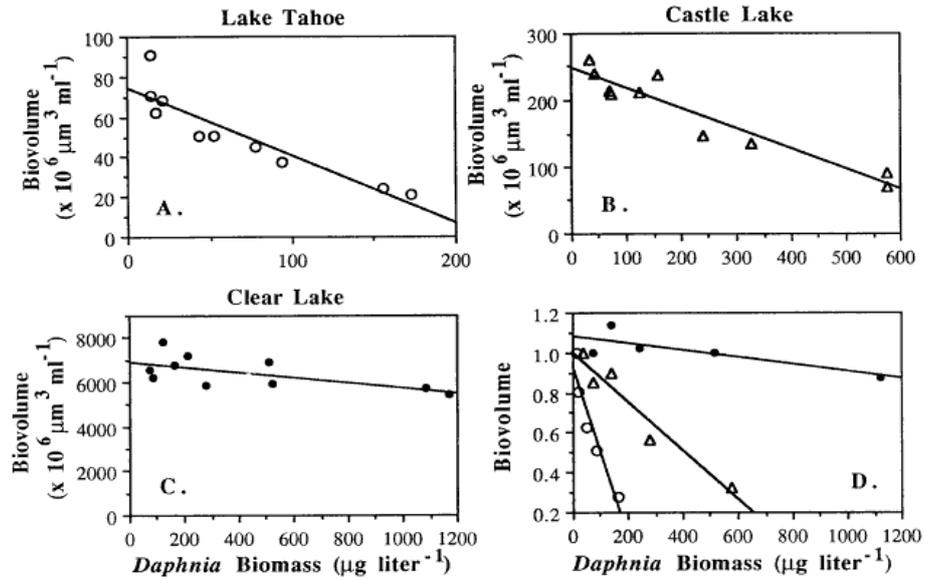


Fig. 10. Results of the *Daphnia* gradient experiments: final algal biovolume. Details as in Fig. 7.

Figura 4 A: representação da relação do biovolume de algas e da biomassa de *Daphnia* em três lagos de diferentes trofia, onde Clear Lake é o lago eutrófico; Lake Tahoe o lago ultra oligotrófico e Castle Lake, mesotrófico (extraído de Elser *et al.* 1990).

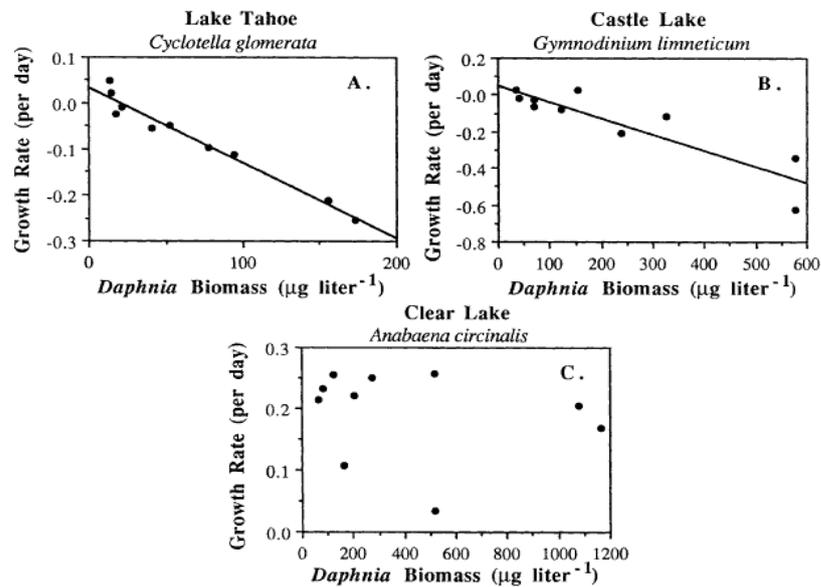


Fig. 11. Specific-specific responses of net growth rate of dominant algal taxa to zooplankton biomass in the *daphnia* gradient experiments in the three lakes.

Figura 4 B: representação da relação da taxa de crescimento específico das algas mais abundantes em cada lago e biomassa de *Daphnia*. (extraído de Elser *et al.* 1990)

Outros fatores podem influenciar a alteração de forma e tamanho das algas, facilitando o escape da herbivoria. Neste sentido, destacam-se os trabalhos enfocando a formação de colônias, o espessamento de parede celular, o aparecimento de camada de mucilagem, a formação de espinhos ou prolongamentos das células. Grande parte destes eventos podem ser desencadeados pela presença do zooplâncton como potencial predador, tornando essas células resistentes à herbivoria, tornando um alimento de boa qualidade nutricional, inacessível (Fig. 5). Nesta abordagem destacam-se os estudos realizados por de Lürling e Van Donk, tendo como principais gêneros estudados, *Scenedesmus* e *Desmodesmus*. Espécies destes gêneros quando expostas à altas densidades de seu predador podem desenvolver alterações em estrutura, e formações de colônias que impedem seu consumo, tornando-se assim imunes à herbivoria. Lurling e Van Donk (1997 e 2000) mostraram que em presença de altas densidade de *Daphnia galeata*, rotíferos e copépodes houve formação de cenóbios em *Scenedesmus acutus* (fig. 6). Outros trabalhos também constataram tal plasticidade fenotípica de espécies de algas (Hessen e Van Donk, 1993; Lampert et al, 1994; Lürling e Van Donk, 2000).

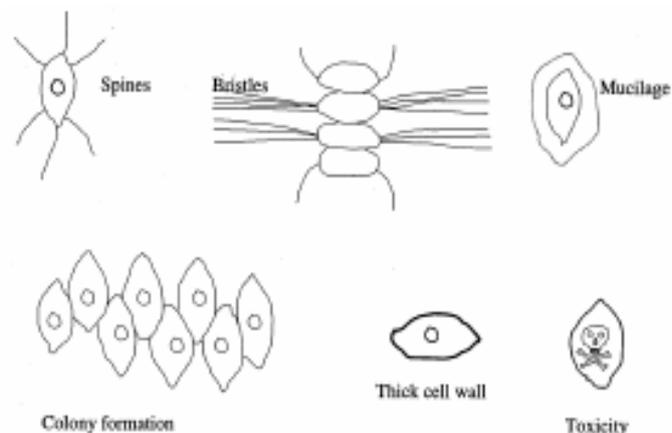


Figura 5: Mecanismos de defesa que podem dificultar a ingestão de células de espécies de *Scenedesmus* (extraído de Lürling & Van Donk, 2000)

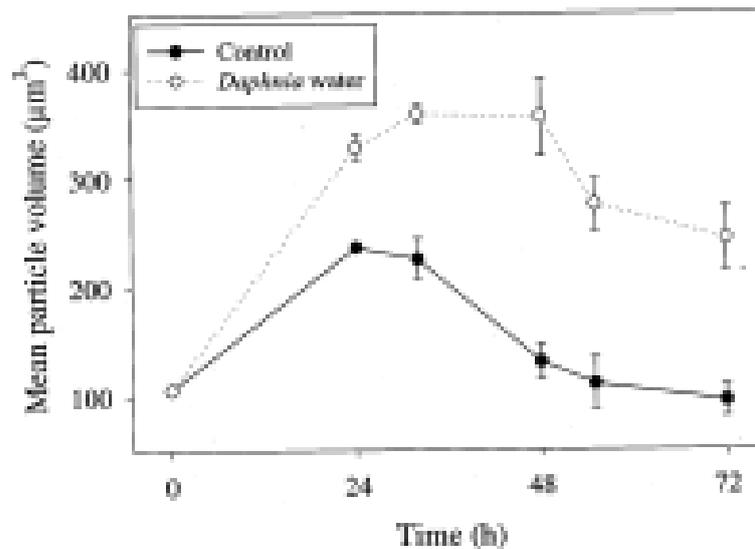


Figura 6: Aumento do volume de células de *Scenedesmus acutus* em presença de alta densidade de *Daphnia*, a linha cheia representa o meio controle a pontilhada o meio com *Daphnia* (extraído de Lürling & Van Donk, 2000)

Ferrão-Filho e Azevedo (2003) observaram que as espécies *Ceriodaphnia cornuta* e *Moina micrura* sofreram maior efeito tóxico das cepas unicelulares de *Microcystis aeruginosa* que aquelas coloniais, pelo habilidade dos cladóceros em capturar as células menores, já que foi constatado que ambas apresentavam altos índices de toxicidade, diferindo apenas no tamanho.

5.2.2) Produção de toxinas pelo fitoplâncton

A toxicidade de algumas espécies de algas, em particular de algumas linhagens, pode ser considerada uma importante razão para estas espécies não fazerem parte da dieta do zooplâncton e, ainda, contribui para seu baixo valor nutricional (de Bernardi & Giussani, 1990).

Estas características que aparentemente, livram as cianobactérias de severa predação, podem ainda ser fatores que facilitam sua dominância em ambientes de

água doce. Contudo, alguns estudos apontam que este assunto ainda apresenta respostas controversas. Alguns resultados mostraram que a alimentação de espécies zooplancônicas com espécies de cianofíceas produziu diminuição nas taxas de crescimento e reprodução (por exemplo, Porter & Orcutt, 1980; Infante & Abella 1985, Ferrão-Filho *et al.*, 2000) enquanto que outros autores encontraram um aumento nessas taxas (por exemplo, Burns & Xu, 1990; Gliwicz, 1990). Hoje se sabe que esta baixa qualidade nutricional está relacionada também ao fato destas serem normalmente limitadas por P, e desta forma o horizonte investigativo foi ampliado procurando um aprofundamento a respeito da composição elementar do alimento do zooplâncton, principalmente o fitoplâncton. Por outro lado, diatomáceas e criptofíceas são, em geral, consideradas como sendo alimento de boa qualidade.

Em Ferrão-Filho e Azevedo (2003) foram conduzidos três experimentos de tabela de vida, dois experimentos de crescimento e um de inibição de alimentação, a fim de se estudar os efeitos da cianobactéria tóxica, *Microcystis aeruginosa* em cladóceros da lagoa de Jacarepaguá. Diferentes desenhos experimentais foram usados para estimar os efeitos tóxicos tanto de amostras de campo quanto de culturas de *Microcystis aeruginosa* nos parâmetros do ciclo de vida e na taxa de crescimento de juvenis de cladóceros. Os efeitos de deficiência nutricional podem ser diferenciados dos efeitos tóxicos em experimentos onde algas verdes com alta concentração de carbono foram misturadas com *Microcystis*. Os resultados mostraram que assembléias naturais de *Microcystis* causaram efeitos tóxicos muito menos pronunciados que as de culturas de laboratório, e que as formas unicelulares foram mais tóxicas que as formas coloniais apesar de ambas conterem altas concentrações de toxinas. Uma possível explicação é que as colônias são muito grandes para serem ingeridas por *Moina micrura* e *Ceriodaphnia cornuta*. A inibição da alimentação por células simples e pequenas colônias parece ser um outro mecanismo que contribui para os efeitos nocivos de *Microcystis* nos cladóceros, tanto em laboratório quanto no campo. Assim, é preciso cuidado em extrapolar resultados obtidos em laboratório para o campo. No entanto, os

resultados mostraram que algas tóxicas no séston natural podem inibir o crescimento e reprodução de cladóceros.

Num estudo realizado no reservatório do Funil, no estado do Rio de Janeiro (Panosso *et al.*, 2003) o copépode *Notodiaptomus iheringi*, reduziu o crescimento de pequenas colônias de cianobactérias dominantes, indicando que estas podem ser eficientemente ingeridas e podem representar uma importante fonte alimentar para este copépode em reservatórios dominados por cianobactérias. *Microcystis aeruginosa* cultivada, colonial e tóxica, não foi afetada, indicando que a toxicidade pode causar uma diminuição de sua ingestão por *N. iheringi*.

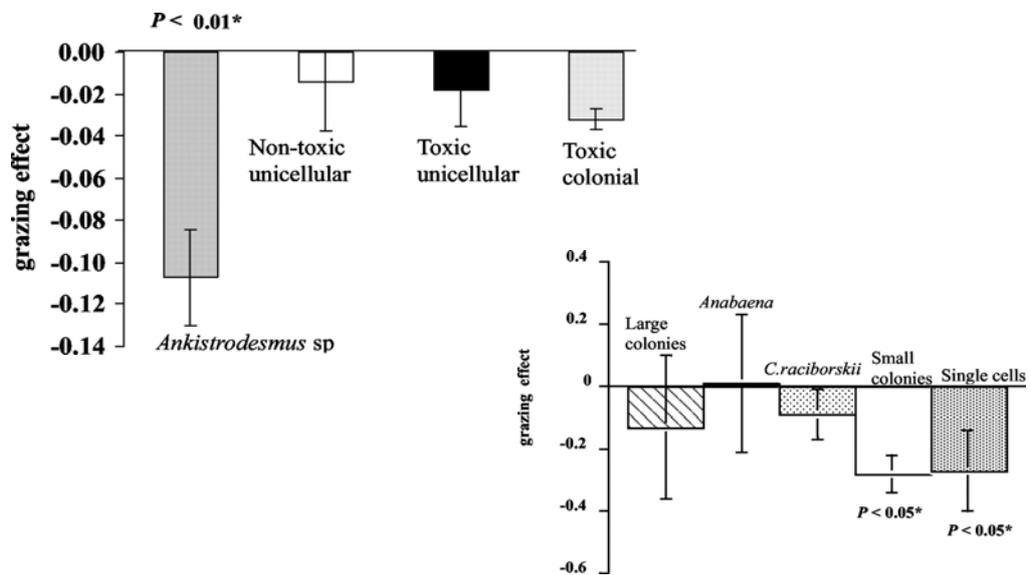


Figura 7: Efeito da herbivoria sobre algas tóxicas e não tóxicas em formas coloniais e unicelulares (retirado de Panosso et al, 2003)

Em estudo realizado por Yang et al (2006), foi observado que a densidade de *Microcystis aeruginosa* não foi afetada pela herbivoria de grupos de cladóceros e copépodes, no entanto, o grupo de flagelados que não foi sensível à toxicidade das

algas, apresentou uma influência significativa na redução da densidade das células de *Microcystis*.

Qualidade nutricional

Limitações por P e N

Com o crescente interesse nas pesquisas sobre estequiometria ecológica, sabe-se hoje que existe um desbalanço entre as concentrações destes elementos em produtores (presa) e consumidores (predadores), e que essa diferença tem influência no desempenho dos consumidores e na eficiência na transferência de Carbono (C) (Hessen, 1992; White 1993).

Estudos de Sterner e Hessen, principalmente, apontam para a importância dos elementos químicos, considerados nutrientes, principalmente Nitrogênio (N) e Fósforo (P). E surge a primeira linha de pesquisa que enfoca a qualidade do alimento através das limitações destes elementos. Aqui se leva em conta, principalmente a razão N:P das algas e sua limitação por um destes elementos, como sendo a principal causa da baixa qualidade nutricional de algumas espécies ou grupos, como as cianofíceas, por exemplo, que são limitadas por P. Elementos como o P e N são nutrientes essenciais por definição e são obtidos através da alimentação. O nitrogênio é importante na síntese de aminoácidos e proteínas. O fósforo é importante como componente de fosfolipídios, no estoque de energia (ATP, por exemplo) e na síntese de ácidos nucléicos estando, portanto, diretamente envolvido na reprodução e crescimento. Alguns estudos têm demonstrado que altas concentrações de P em cladóceros estão associadas às grandes quantidades de RNA (Hessen, 1990; Main *et al.* 1997). Portanto, espécies de crescimento rápido podem apresentar alta demanda por P e são provavelmente mais afetadas por algas deficientes em P do que aquelas espécies de crescimento lento (Main *et al.* 1997; Sterner & Schulz, 1998).

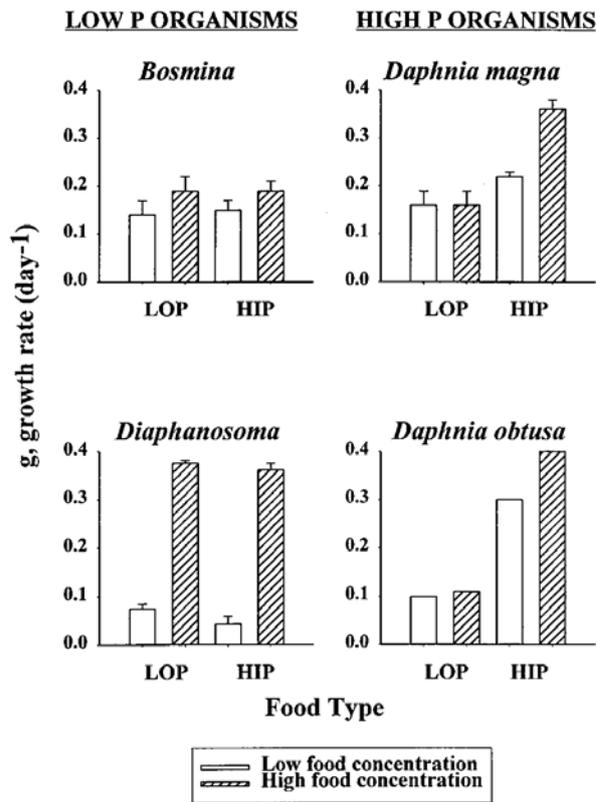


Figura 8: Crescimento de espécies de cladóceros em diferentes concentrações de P (Sterner & Schulz, 1998).

Estudos prévios mostraram que *Daphnia*, um herbívoro comum de lagos e tanques, cresceu lentamente e produziu um número menor de descendentes quando alimentada com alga com alta razão C:P ou C:N (Sterner, 1993; Sterner *et al*, 1993, Schulz & Sterner, 1999). Esses estudos, no entanto, observaram as *Daphnias* por menos de 14 dias, e, portanto não acompanharam a produção de ovos e o desenvolvimento dos descendentes, uma vez que este gênero leva por volta de 10 dias para chegar à maturação em presença de alimento de baixa qualidade. Se os elementos ou a bioquímica necessários para reprodução, diferem dos requerimentos para o crescimento somático, os animais podem alterar seus padrões de crescimento e reprodução diferentemente dependendo da composição química do alimento. Algumas espécies de *Daphnia* são conhecidas por produzirem ovos maiores quando

há pouca quantidade de alimento. Tais mudanças nos tamanhos dos ovos podem ser consideradas como respostas adaptativas, uma vez que neonatos de ovos maiores podem sobreviver mais tempo sem alimento (Tessier *et al.* 1983; Goulden *et al.*, 1987; Gliwicz & Guisande, 1992). No entanto, quando são alimentadas com alimento com energia suficiente, mas com alguma deficiência nutricional, a produção de ovos maiores pode não ser vantajosa porque os neonatos podem obter energia do alimento circundante. Assim, a qualidade do alimento pode afetar diferenciadamente, um número de características da história de vida além do tamanho do corpo e fecundidade.

A hipótese de limitação mineral, e especialmente a hipótese de limitação por P, foi originada a partir de observações em *Daphnia* que apresenta uma razão C:P menor que seu alimento natural. Esta hipótese considera que os indivíduos seriam negativamente afetados em seu crescimento pelo baixo conteúdo de P no séston (alimento natural) e define que a qualidade do alimento é dada pela razão C:P. Esta hipótese é corroborada por resultados que sugerem que *Daphnia* exposta a alimento limitado por P e apresenta redução no crescimento.

Em pesquisas realizadas por Andersen e Hessen (1991) e Sterner e Hessen (1994) os resultados sugeriam que organismos com altas concentrações de P como *Daphnia* teriam uma maior alocação de recursos para compostos ricos em P, como os ácidos nucléicos. Baseada nesses resultados, em 1996 surge a Hipótese de Taxa de Crescimento (Elser *et al.*, 1996) que rege que altas concentrações de P encontradas na biomassa refletem a maior alocação deste elemento para o RNA ribossomal necessária para suprir a demanda ocasionada pelo incremento na taxa de crescimento do organismo. Assim, crescimento, desenvolvimento, ajustes fisiológicos dos organismos, podem em última análise, representar uma alteração nas razões C:N:P dos organismos. No entanto, deve-se levar em conta que além da qualidade nutricional do alimento como fator regulador do crescimento dos organismos, as suas taxas de liberação e ciclagem destes elementos podem ser diferenciadas. O

organismo irá excretar o elemento que estiver em excesso no seu organismo e absorver maiores concentrações daquele que lhe é limitante (Olsen *et al.*, 1986).

Ferrão-Filho e Arcifa (2006) em estudos realizados com 4 espécies de cladóceros observaram que *Daphnia gessneri* respondeu positivamente ao suplemento de P no séston natural do lago Monte Alegre apresentando maiores taxas de crescimento do que quando alimentadas com séston natural sem adição de P, mostrando limitação por este elemento.

Segundo resultados obtidos por Ferrão-filho *et al.* 2003 (a), através de experimentos sobre os efeitos da deficiência de N e P no crescimento e reprodução de cladóceros, *Moina micrura* mostrou-se a mais sensível à algas deficientes em P e ao contrário do esperado, produziu mais ovos na presença de algas deficientes em N. De maneira geral, os autores observaram que *Ceriodaphnia cornuta* foi a espécie menos sensível à limitação mineral enquanto que *Daphnia gessneri* mostrou-se a espécie mais sensível a esta limitação.

A deficiência elementar nos organismos depende também da fase de desenvolvimento em que o organismo se encontra. Ela se acentua especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento quando a taxa de crescimento é maior, e no período reprodutivo quando os gastos em N e P são maiores, devido à alocação destes elementos para tecidos reprodutivos.

Um princípio fundamental na estequiometria ecológica é que os requerimentos de diferentes elementos variam dentro e entre espécies, sendo vitais para estas o balanço entre a demanda e a oferta destes elementos no ambiente. Os desbalanços podem se refletir sobre os organismos em diferentes níveis: crescimento individual (Elser *et al.* 1996, Stelzer e Lamberti 2002); crescimento populacional (Urabe e Sterner 1996); dinâmica da comunidade como na transferência para diferentes níveis tróficos e coexistência de espécies (Urabe *et al.* 2002a). A maioria dos estudos focou em ecofisiologia e características de ciclo de vida dos organismos (Frost *et al.*, 2005),

enquanto poucos investigaram tais conseqüências a níveis populacionais ou de comunidades.

A abordagem estequiométrica prediz ainda, respostas diferentes entre espécies de zooplâncton à limitação nutricional, uma vez que há grandes diferenças nas razões celulares de C:N:P (Sterner e Hessen, 1994). Essas diferenças afetam a competição entre as espécies (Schulz & Sterner, 1999; Conde-Porcuna, 2000) e as taxas relativas de regeneração dos nutrientes (Olsen *et al.*, 1986; Elser *et al.*, 1988). Alguns *taxa* tais como os dafinídeos e rotíferos são mais suscetíveis à limitação por P, devido a seu alto conteúdo celular de P, quando comparados aos *taxa* com menor concentração celular de P, como *Bosmina* (Urabe & Watanabe, 1992; Schulz & Sterner, 1999). Copépodes, que têm maior razão N:P (Sterner & Hessen, 1994; Sterner, 1998), são provavelmente mais sensíveis à deficiência de N em sua dieta.

Em ambientes aquáticos, é sabido que a composição elementar e bioquímica das algas muda dependendo do regime de luz e suprimento de nutrientes (Wyne & Rhee, 1986; Harrison, Thompson & Calderwood 1990; Urabe & Sterner, 1996). Estudos de campo demonstram que o conteúdo de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) relativo ao Carbono (C) (ou seja, as razões C:N ou C:P) no material em suspensão (principalmente em algas) diferem em uma ou duas ordens de magnitude entre lagos (Hessen, 1992; Hecky, *et al.*, 1993; Elser & Hassett, 1994; Downing, 1997; Hassett *et al.* 1997; Sterner *et al.* 1997). Ao contrário, a composição elementar das espécies de herbívoros planctônicos é menos variável que as de espécies de algas, independente das condições ambientais (Andersen & Hessen 1991; Elser & Urabe 1999). Portanto, espera-se que os herbívoros planctônicos enfrentem freqüentemente um desequilíbrio entre a composição química do seu alimento e sua demanda (Hessen 1992; Urabe & Watanabe 1992; Sterner & Schulz 1998). Estudos de campo recentes têm confirmado este desequilíbrio na natureza (DeMott & Gulati 1999; Elser *et al.* 2001).

Limitação pela composição e quantidade de ácidos graxos essenciais

Numa outra abordagem, surge a hipótese da limitação bioquímica, onde a qualidade do alimento seria regida principalmente pela presença e quantidade de compostos bioquímicos como os ácidos graxos polinsaturados. Os ácidos graxos polinsaturados podem ser compostos cruciais que determinam a qualidade do alimento baseada na composição fitoplanctônica, uma vez que cada grupo de algas tende a ter diferentes composições destas substâncias (Ahlgren *et al.* 1990).

Surgem estudos, principalmente de Brett e Müller-Navarra, onde os enfoques passam a ser principalmente relacionados à limitação bioquímica do alimento para o zooplâncton que investigam a presença e quantidade, principalmente, de Ácido docosahexanóico (DHA) e ácido eicosapentanóico (EPA). (Fig. 10)

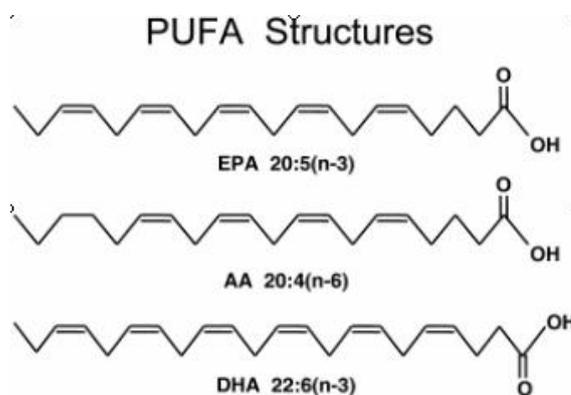


Figura 9: Estrutura molecular de alguns ácidos graxos poliinsaturados (Jeffrey, 2001)

Esta abordagem é baseada na observação que a qualidade do fitoplâncton é às vezes fortemente relacionada com o conteúdo de determinados ácidos graxos polinsaturados (PUFA, em inglês) (Müller-Navarra, 1995; Müller-Navarra *et al.*, 2000; Wacker & Von Elert, 2001). Ácidos graxos essenciais (EFA, em inglês) são

necessários nas membranas celulares e também como precursores para moléculas envolvidas em respostas imunes (Vance & Vance 1985). Ácidos graxos com duplas ligações nas posições n3 e n6 da molécula são considerados essenciais porque a maioria dos animais não tem capacidade de sintetizá-los. Os ácidos graxos essenciais desempenham um papel importante no metabolismo celular, como parte da membrana, regulando sua fluidez, e agindo como anticongelantes, principalmente em organismos de clima temperado (Brett & Müller-Navarra, 1997). Estes compostos são também importantes, uma vez que são precursores de substâncias chamadas ecosanóides importantes em diferentes processos fisiológicos responsáveis pela regulação da reprodução, como produção e eclosão de ovos, por exemplo (Brett & Muller-Navarra, 1997).(Fig. 10)

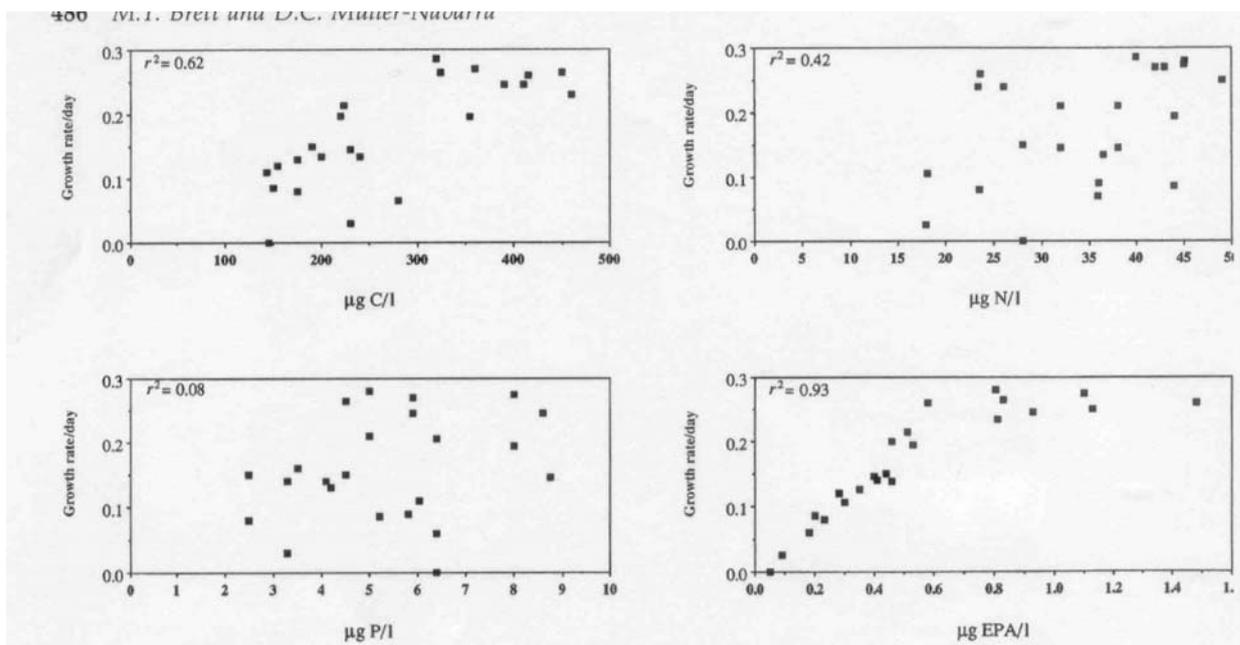


Figura 10: Relações entre conteúdos de C, N P e ácidos graxos na taxa de crescimento de *Daphnia* (Brett & Muller-Navarra, 1997).

Os ácidos graxos essenciais são obtidos pelos herbívoros estritamente através da alimentação, uma vez que apenas os produtores primários têm capacidade de produzir tais compostos.

Experimentos de crescimento controlados em laboratório também apontam que uma dieta enriquecida com $\Omega 3$ PUFA pode ter um incremento significativo no crescimento somático e na produção de ovos em *Daphnia* (Fig. 11)(Von Elert 2002; Ravet *et al.* 2003; Becker e Boersma 2005).

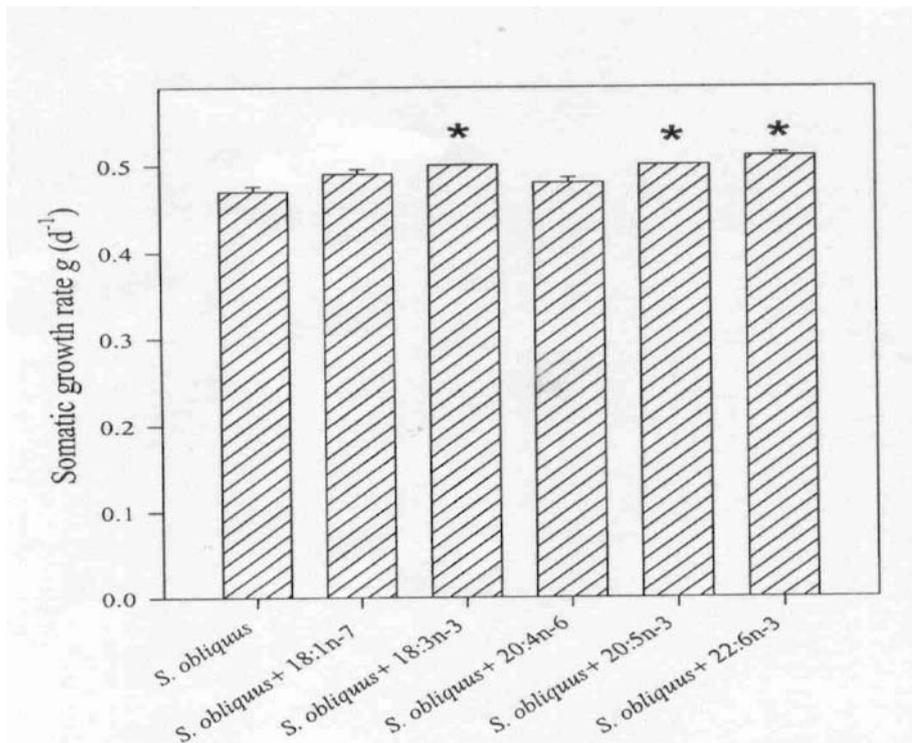


Figura 11: Efeito da adição de ácidos graxos em *Scenedesmus obliquus* no crescimento de *Daphnia* (Von Elert, 2002).

Experimentos de qualidade de alimento que usaram séston natural do lago para comparar limitação do fitoplâncton por P ou por PUFA, mostraram resultados mistos. Em um estudo, encontrou-se o aumento na taxa de crescimento de *Daphnia* quando ao séston natural de um lago mesotrófico, adicionou-se tanto P quanto PUFA (Boersma *et al.* 2001). Em outro estudo, DeMott e Tessier (2002) observaram apenas uma fraca resposta às adições, tanto de P quanto de PUFA em seis lagos simulando

um gradiente trófico. Num experimento realizado por Ravet e Brett (2006) para identificar separadamente as contribuições de diferentes taxa de algas, limitação por P e de ácidos graxos essenciais à qualidade do alimento para *Daphnia* através da taxa de crescimento do organismo, os resultados mostraram que a limitação por ácidos graxos foi mais expressiva do que aquela por P. Estudo realizado por Ferrão-Filho e Arcifa (2006) investigando a limitação por P e ácidos graxos no crescimento e reprodução de cladóceros tropicais mostrou diferentes respostas às algas assim como ao enriquecimento por ácidos graxos. A adição de ácidos graxos ao séston natural resultou em maiores taxas de crescimento e de tamanho de prole de *Daphnia*, enquanto que a suplementação do séston com *Scenedesmus* considerada como de boa qualidade nutricional, também estimulou o crescimento tanto de *Daphnia* quanto de *Ceriodaphnia* (fig12).

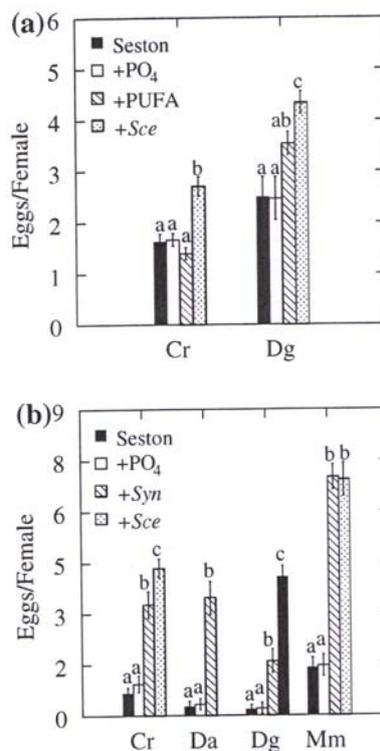


Figura 12: Respostas de tamanho de ovos por fêmea em cladóceros submetidos a diferentes alimentos: Seston (seston natural do lago); +PO₄ (seston suplementado com P); + PUFA (seston suplementado com ácidos graxos); Syn (seston suplementado com *Synechococcus*) e Sce (seston suplementado com *Scenedesmus*), no verão (a) e

no outono (b). Cr= *Ceriodaphnia richardi*; Da= *Daphnia ambigua*; Dg= *Daphnia gessneri*; Mm= *Moina micrura* (retirado de Ferrão Filho e Arcifa, 2006)

Em experimentos realizados por Ferrão fi

Síntese

Um dos principais debates a cerca da qualidade do alimento está relacionado aos fatores que a regulam: limitação por nutrientes, principalmente P e os ácidos graxos essenciais. Alguns estudos mostram que, uma vez que o conteúdo de ácidos graxos nas algas pode ser alterado quando estas são limitadas por P, tais variáveis podem co-variarem, tornando difícil a separação das duas hipóteses (Ahlgren *et al.*, 1997). Boersma (2001) considera que quando há limitação por P, este fator prevalecerá sobre a limitação por ácidos graxos e terá efeitos diretos sobre a qualidade do alimento. Por outro lado, quando não houver limitação por P, a influência da composição e conteúdo de ácidos graxos essenciais será prevalente.

Desta forma deve-se considerar a ocorrência destes dois fatores para a avaliação adequada a cerca da qualidade do alimento para o zooplâncton em um determinado sistema. A maioria dos estudos realizados neste campo continuam concentrados nas regiões temperadas, o que impede muitas vezes a aplicação das abordagens e resultados para ambientes e espécies tropicais. Desde o início dos anos 2000, tem-se observado um aumento na produção de artigos que buscam a determinação da qualidade do alimento para o zooplâncton para as espécies da região tropical. Muitos destes estudos buscam a combinação de abordagens em campo e de experimentos em laboratório, que muito têm contribuído para o estabelecimento desta linha de pesquisa e das investigações a cerca do assunto na região tropical.

Capítulo II

O efeito da adição de nutrientes sobre a comunidade zooplanctônica da lagoa Cabiúnas – uma abordagem experimental em mesocosmos

Introdução

As principais fontes de nutrientes num ambiente aquático são a bacia de drenagem e o sedimento (Margalef, 1983), que vão ter influência direta no metabolismo desses sistemas.

As variações do estado de conservação e grau de ocupação do entorno da bacia de drenagem e o regime de chuvas é determinante para a quantidade do aporte de matéria para os ambientes aquáticos. Lagos com ocupação e presença de fontes de lançamento de efluentes domésticos, redução da mata ciliar e aumento da precipitação, são fatores que contribuem para o aporte de nutrientes (Wetzel, 1993).

A concentração de nutrientes de um ambiente aquático determina seu estado trófico e reflete na estrutura das comunidades planctônicas. Em ambientes mais ricos em nutrientes, observam-se maiores biomassas de fitoplâncton que refletem na produtividade do sistema e também aumento da biomassa zooplanctônica. Há também na comunidade zooplanctônica, a dominância de poucas espécies e o desaparecimento de outras, e de maneira geral, observa-se a diminuição da estrutura de tamanho da comunidade que passa a se composta por organismo de pequeno porte, como rotíferos, copépodes ciclopóides e náuplios (Brooks, 1969; Bays e Crisman, 1983).

As interações entre as comunidades planctônicas também podem ser alteradas devido ao aumento da concentração de nutrientes. Com o aumento dessas concentrações, podem ocorrer, por exemplo, o desenvolvimento de algas cianofíceas, que são conhecidas pelo seu baixo valor nutricional, ou ainda o desenvolvimento de grupos de algas filamentosas que não são adequadas ao consumo do zooplâncton.

Para que se verificasse o efeito da adição de nutrientes sobre as comunidades fitoplanctônicas e zooplanctônicas, foram coletadas amostras semanais de água, de

zooplâncton e de fitoplâncton. O tratamento das amostras utilizadas e a metodologia empregada estão descritos detalhadamente no item 4 (Material e Métodos) desta tese.

Resultados

Variáveis Abióticas

As condições pré-experimento dos mesocosmos na lagoa Cabiúnas (condição inicial - CI) apresentaram temperatura média máxima da água de 23,36°C (± 0.42), concentração de oxigênio máxima de 3,52 mg.L⁻¹(± 0.47), NID de 6.31 $\mu\text{mol. L}^{-1}$ (± 2.27), PID de 0.11 $\mu\text{mol. L}^{-1}$ (± 0.02) e razão de NID:PID de 57.07 (± 18.77). Foi realizada uma RM-ANOVA com os valores das variáveis a fim de se determinar se havia diferenças significativas entre os controle e tratamentos de adição de nutrientes. A análise mostrou que a partir da adição dos nutrientes, as concentrações nos tratamentos aumentaram, mantendo-se até o final do experimento, e sendo significativamente diferente dos controles. A manipulação dos nutrientes foi efetiva e a razão N:P manteve-se dentro da esperada de 5:1.

Tabela I: Comparações das variáveis abióticas entre tratamentos.

Variável	Inicial	Controle	Nutrientes
a. Temperatura (°C)			
0.10	23.36 (± 0.42)	22.57 (± 1.09)	22.86 (± 1.17)
0.90	22.53 (± 0.11)	21.47 (± 0.83)	21.44 (± 0.84)
1.80	22.40 (± 0.06)	21.29 (± 0.81)	21.29 (± 0.81)
b. Oxigênio (mg.L ⁻¹)			
0.10	3.52 (± 0.47)	4.41 (± 0.68)	6.37 (± 3.72)
0.90	3.03 (± 0.48)	3.95 (± 0.73)	4.07 (± 2.29)
1.80	2.88 (± 0.47)	3.22 (± 0.86)	2.82 (± 1.61)
c. NID ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	6.31 (± 2.27)	11.86 (± 9.64) ^a	128.8 (± 47.11) ^b
d. PID ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	0.11 (± 0.02)	0.21 (± 0.38) ^a	28.73 (± 3.99) ^b
e. Razão NID:PID	57.07 (± 18.77)	231.4 (± 370.5) ^a	4.44 (± 1.40) ^b

Comunidade zooplanctônica

Foram considerados os três principais grupos de organismos zooplanctônicos (Rotifera, Cladocera e Copepoda) tendo também sido registrada a presença de larvas de insetos e outros organismos.

Riqueza

A comunidade zooplanctônica foi composta, no mínimo, de 14 e no máximo de 23 espécies no controle do experimento. No tratamento de adição de nutrientes a riqueza variou de 11 a 26 espécies. Para verificar se houve diferença significativa entre o tratamento com adição de nutrientes e o controle, o tempo de experimento e da combinação destes dois fatores, foi realizada uma RM-ANOVA seguida do teste de Bonferroni. O resultado mostra que não houve diferenças entre tratamentos e controles. No entanto, o tempo de experimento foi responsável por 58,4% da variação observada na riqueza. A interação entre os dois fatores também não foi responsável pelas diferenças observadas (Fig. 1; Tabela II).

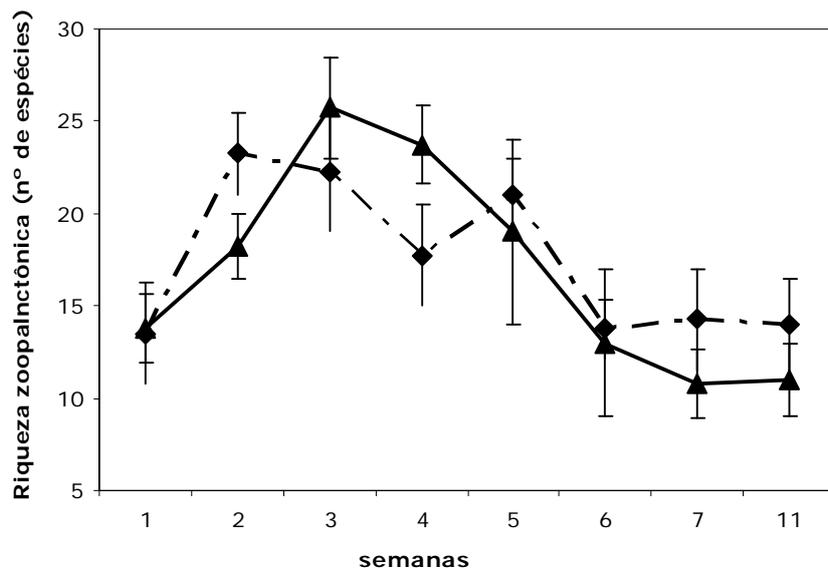


Figura 1: Variação na riqueza de espécies da comunidade zooplanctônica no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas.

Tabela II: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a riqueza da comunidade zooplanctônica.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	p
Nutrientes	1,2	1	0,014	1,08	0,3382
Tempo	58,4	6	0,665	14,12	<0.0001
Interação	8,8	6	0,100	2,13	0,0738
Resíduo		36	0,283		

Considerando-se os grupos separadamente, os rotíferos foram os mais especiosos tanto no controle (máximo de 16 espécies; mínimo de cinco espécies) quanto no tratamento de adição de nutrientes (máximo de 19; mínimo de quatro espécies). Os cladóceros apresentaram um número intermediário de espécies que variou entre três e seis no controle e entre duas e sete no tratamento. Os copépodes estiveram representados por duas espécies da ordem Calanoida (*Diaptomus azureus* e *Notodiaptomus cearensis*) e 3 da ordem Cyclopoida (*Microcyclops* sp., *Mesocyclops* sp., *Tropocyclops* sp.), tanto no controle quanto no tratamento.

Densidade zooplanctônica

Densidade Total

A densidade mínima observada nos controles foi de $218,4 \times 10^3$ ind.m⁻³ na terceira semana, enquanto que a máxima foi de 3884×10^3 ind.m⁻³ na semana inicial do experimento. Nos tratamentos observa-se a maior densidade também na terceira semana ($1145 \text{ ind.m}^{-3} \times 10^3$) e a menor na semana inicial, que foi de $388 \text{ ind.m}^{-3} \times 10^3$

O tempo do experimento foi responsável por 57,17% na variação da densidade total da comunidade zooplanctônica e não o tratamento da adição de nutrientes nos mesocosmos. Não foram observadas diferenças significativas entre controle e

tratamentos de adição de nutrientes nos mesocosmos de maneira geral. (Fig. 2, Tabela III)

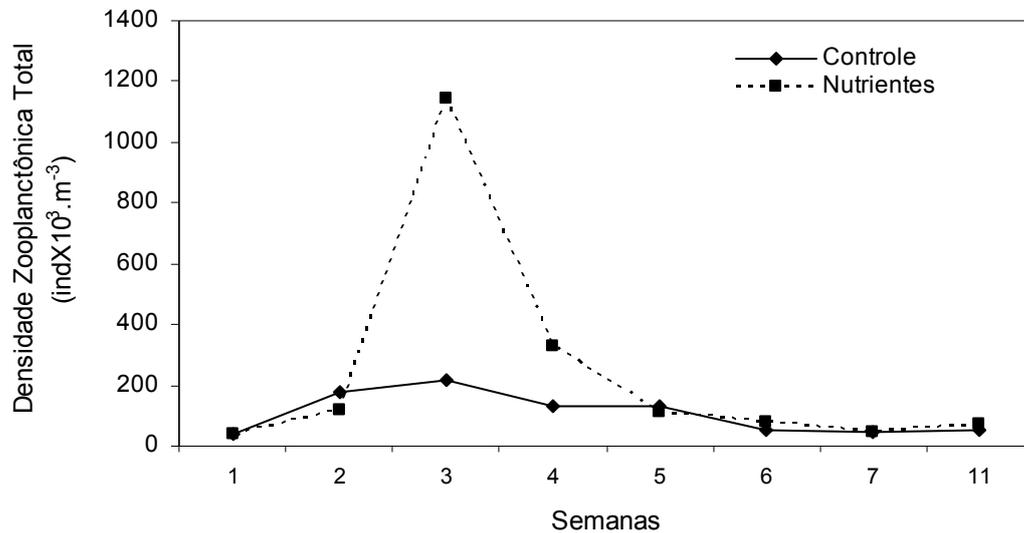


Figura 2: Variação da densidade total da comunidade zooplanctônica no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas.

Considerando-se os grupos separadamente, observamos que copépodes e rotíferos não apresentaram diferenças significativas de suas densidades em função da adição de nutrientes, respondendo positivamente em função do tempo (rotíferos) ou da interação entre os fatores. No entanto, o grupo dos cladóceros apresentou densidades significativamente mais altas nos tratamentos com adição de nutrientes ($p = 0,0054$).

Tabela III: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a densidade total da comunidade zooplanctônica.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	4,56	1	0,505	3,589	0,1070
Tempo	57,17	6	6,324	16,34	< 0,0001
Interação	9,65	6	1,068	2,759	0,0261
Resíduo		36	2,232		

Biomassa zooplanctônica

Biomassa total

A flutuação na biomassa da comunidade zooplanctônica mostrou-se sensível ao tempo de experimento, porém não respondeu de maneira significativamente diferente quanto à adição de nutrientes dos tratamentos, contrariando o que era esperado ($p = 0,3614$). No entanto, Apesar de não ter sido detectada a diferença estatística, pode-se observar que existe uma tendência ao aumento da biomassa nos mesocosmos enriquecidos entre a segunda e a quinta semanas. A média dos valores mínimos observados nos controles foi de $16,1 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na segunda semana e dos valores máximos de $245,8 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na quinta semana de experimento. Nos tratamentos com adição de nutrientes, os valores médios, mínimos e máximos, respectivamente foram de $10,8 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na segunda semana e $363,2 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na sexta semana de experimento. Na figura 3 observa-se a flutuação da biomassa total do zooplâncton em escala logarítmica.

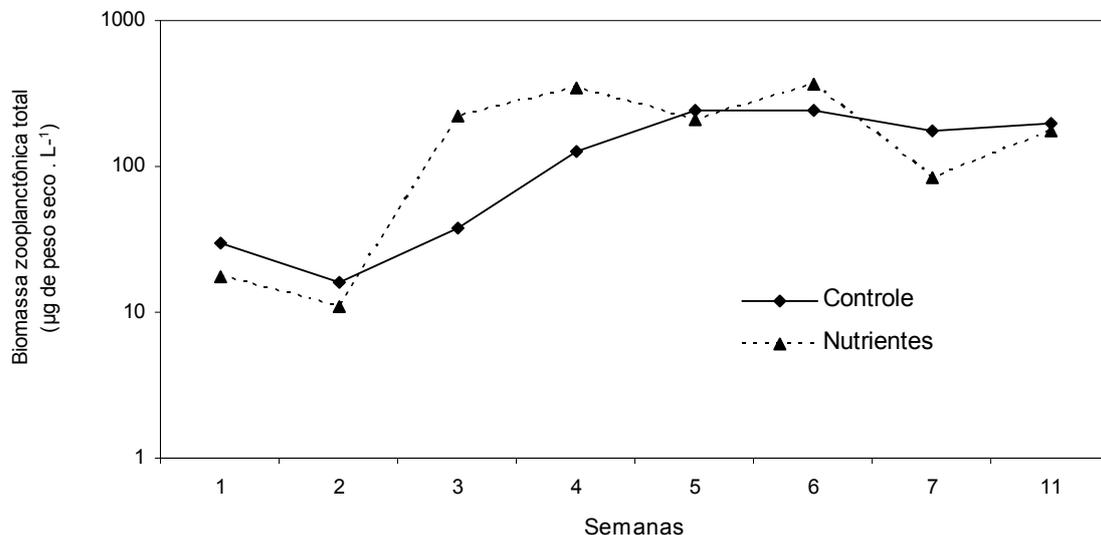


Figura 3: Variação da Biomassa Total da comunidade zooplânctônica em μg de peso seco. L^{-1} no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas. Os valores estão plotados em escala logarítmica.

A biomassa total do zooplâncton mostrou-se sensível ao tempo de experimento e não ao tratamento de adição de nutrientes isoladamente.

A biomassa total do zooplâncton era de $301,9 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na primeira semana de experimento, após a adição atingiu o máximo de $245,8 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na 6ª semana e na 11ª semana do experimento, os valores retornaram a $197,4 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} . O grupo de maior contribuição para a biomassa total do zooplâncton nos controles e nos tratamentos foi Copepoda. A menor contribuição em biomassa foi de Rotifera tanto nos controles como nos tratamentos.

Tabela IV: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a biomassa total da comunidade zooplanctônica.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	0,91	1	0,043	0,9759	0,3614
Tempo	60,07	6	12,60	16,67	< 0,0001
Interação	11,82	6	2,096	3,281	0,0112
Resíduo		36	3,350		

Biomassa de cladóceros

A biomassa de cladóceros apresentou diferença significativa com relação aos tratamentos de adição de nutrientes e ao longo das semanas de experimentos as diferenças também foram significativas. (Fig. 4, Tab V).

Os valores médios da biomassa de cladóceros nos controles variaram de 117,4 μg de peso seco. L^{-1} na primeira semana de experimento, atingindo o máximo de 68,7 μg de peso seco. L^{-1} na 11ª semana e na 7ª semana do experimento, os valores caíram a 11,2 μg de peso seco. L^{-1} . As espécies que mais contribuíram para a biomassa de cladóceros nos controles foram: *Moina minuta* e *Diaphanosoma* sp.

Os valores médios da biomassa de cladóceros nos tratamentos variaram de 4,3 μg de peso seco. L^{-1} na primeira semana de experimento, atingindo o máximo de 90,9 μg de peso seco. L^{-1} na 5ª semana e na 11ª semana do experimento, os valores retornaram a 35,3 μg de peso seco. L^{-1} . Na figura 4 observa-se a flutuação da biomassa dos cladóceros em escala logarítmica.

Nos tratamentos a partir da terceira semana, além das espécies encontradas nos controles, *Simocephalus* sp. também apresentou uma significativa contribuição na biomassa.

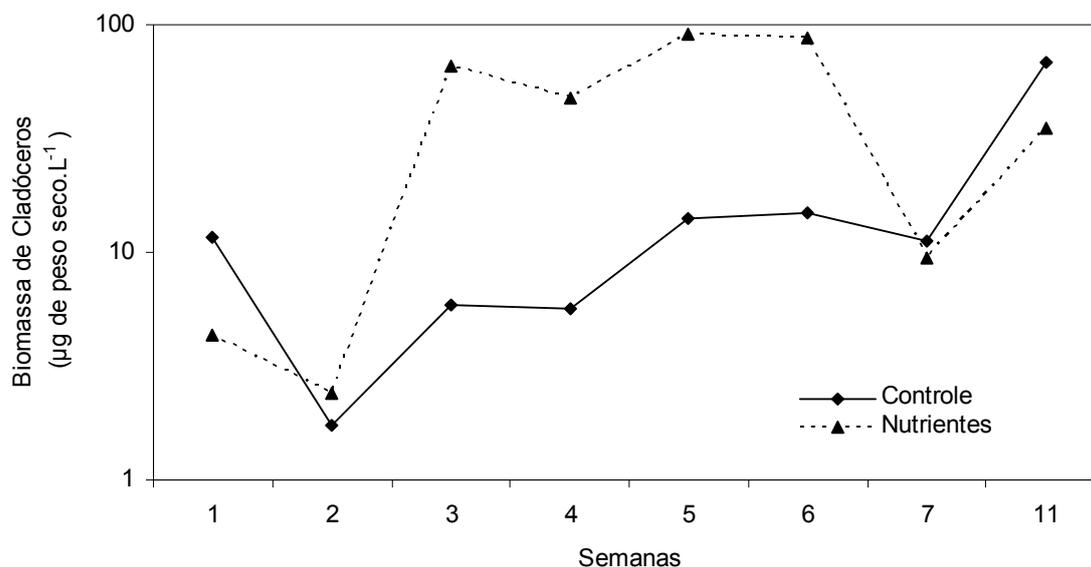


Figura 4: Variação da Biomassa de cladóceros em μg de peso seco. L^{-1} no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas. Os valores estão plotados em escala logarítmica.

Tabela V: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a biomassa total da comunidade de cladóceros.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	0,91	1	4,119	20,13	0,0042
Tempo	60,07	6	8,285	16,96	< 0,0001
Interação	11,82	6	2,692	5,510	0,010
Resíduo		36	3,350		

Biomassa de Copépodes

A biomassa de copépodes não respondeu de forma semelhante ao tratamento com adição de nutrientes. Neste caso, o tempo de experimento foi o principal responsável pela variação da biomassa dos copépodes. A interação entre o tratamento e o tempo de experimento mostrou-se mais forte do que o tratamento sozinho reforçando a importância do tempo de experimento na determinação da biomassa dos copépodes.

A biomassa de copépodes variou de $16,4 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na primeira semana de tratamento atingiu o máximo de $223,0 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na 6ª semana e na 11ª semana do experimento, os valores retornaram a $123,0 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} . Nos tratamentos a biomassa variou de $10,7 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na 1ª semana atingiu o máximo de $260,2 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na 6ª semana e caiu para $131,3 \mu\text{g}$ de peso seco. L^{-1} na 11ª semana do experimento. Na figura 5 observa-se a flutuação da biomassa dos copépodes em escala logarítmica.

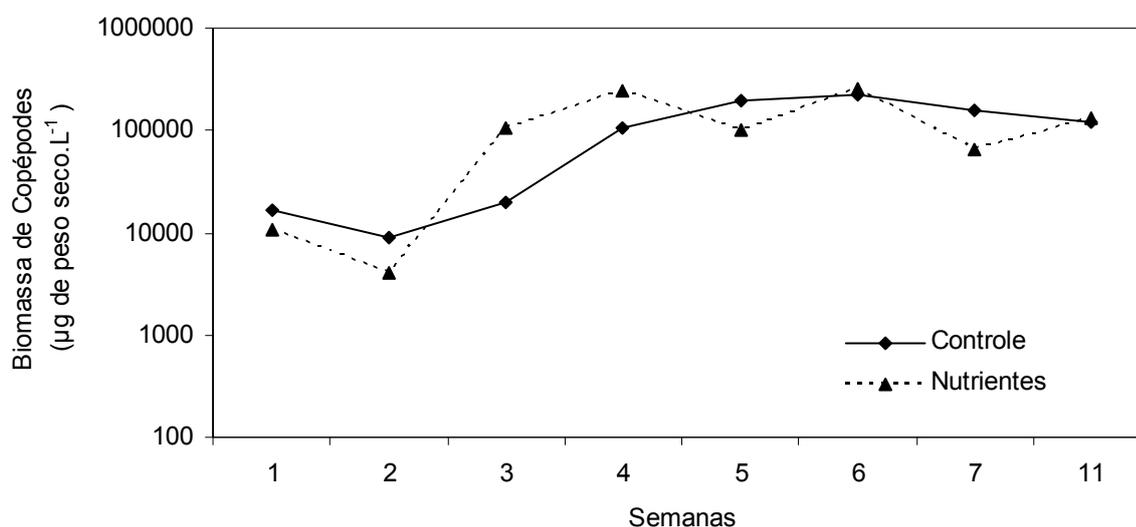


Figura 5: Variação da Biomassa de copépodes em μg de peso seco. L^{-1} no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas. Os valores estão plotados em escala logarítmica.

As espécies *Notodiaptomus cearensis* e *Diaptomus azureus* ocorreram durante todo o período do experimento, tanto nos controles quanto nos tratamentos.

Tabela V: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a biomassa total da comunidade de copépodes.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	0,10	1	0,0001	1,1004	0,7620
Tempo	64,89	6	17,48	19,59	<0.0001
Interação	9,23	6	2,11	2,788	0,0249
Resíduo		36	4,23		

Biomassa de rotíferos

A biomassa de rotíferos nos controles variou de 0,8 μg de peso seco. L^{-1} na primeira semana de experimento, atingiu o máximo de 4,7 μg de peso seco. L^{-1} na 3ª semana e na 11ª semana do experimento, os valores retornaram a 0,1 μg de peso seco. L^{-1} . Nos tratamentos a variação foi de 0,7 μg de peso seco. L^{-1} na primeira semana a 28,6 μg de peso seco. L^{-1} na 3ª semana. Nas semanas 6 e 7 do experimento a biomassa de rotíferos caiu para 21 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ respectivamente, retornando a 1,4 μg de peso seco. L^{-1} na 11ª semana do experimento. As espécies que contribuíram para as biomassas de rotíferos no experimento variaram ao longo do tempo e tratamentos. Na figura 6 observa-se a flutuação da biomassa dos rotíferos em escala logarítmica.

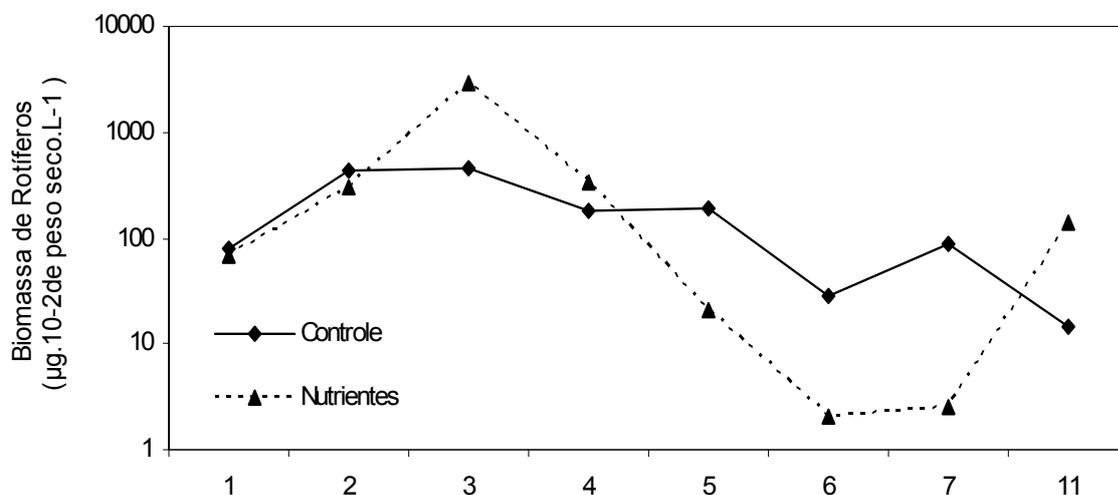


Figura 6: Variação da Biomassa de rotíferos em μg de peso seco. L^{-1} no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas. Os valores estão plotados em escala logarítmica.

A biomassa de rotíferos não apresentou diferenças significativas quanto ao tratamento de adição de nutrientes aos mesocosmos. Seguindo os padrões dos copépodes, a biomassa dos rotíferos respondeu significativamente ao tempo de experimento e à interação entre estes fatores.

Tabela VI: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a biomassa total da comunidade de rotíferos.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	1,26	1	0,58	1,93	0,2136
Tempo	54,21	6	28,24	24,00	<0.0001
Interação	27,09	6	14,19	11,99	<0.0001
Resíduo		36	7,06		

Comunidade Fitoplanctônica

Biovolume Total

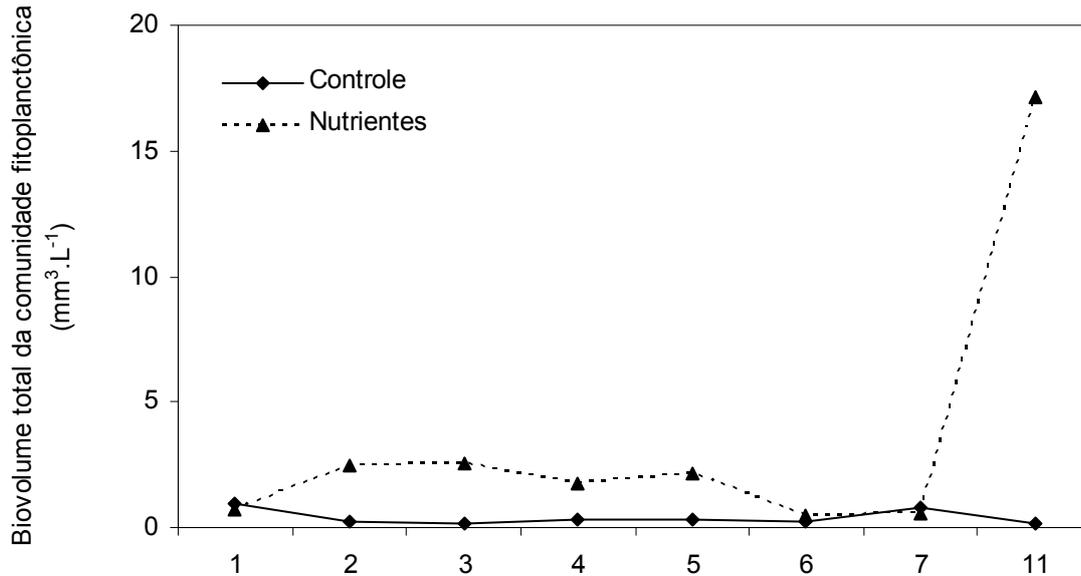


Figura 7: Variação do biovolume da comunidade fitoplanctônica em $\mu\text{g.L}^{-1}$ de no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas. Os valores estão plotados em escala logarítmica.

Os valores médios do biovolume total das algas variaram de $0,131 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$, na terceira semana de experimento, a $0,96 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ na primeira semana nos Controles. Nos tratamentos, a variação foi de $17,15 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ a $0,45 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ na sexta semana.(Fig. 7)

A RM-ANOVA mostrou que tanto o tempo de duração do experimento, quanto o tratamento com adição de nutrientes apresentaram influência significativa sobre o biovolume da comunidade fitoplanctônica (Tabela VII). De maneira geral, o biovolume do fitoplâncton respondeu positivamente à adição de nutrientes.

Tabela VII: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre o biovolume total da comunidade fitoplanctônica

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	41,65	1	10,91	48,32	0,0004
Tempo	10,26	6	2,69	3,43	0,0088
Interação	24,96	6	6,54	8,34	<0.0001
Resíduo		36	4,70		

Foram registradas nove classes de algas tanto nos controles quanto nos tratamentos com adição de nutrientes. A contribuição relativa de cada classe foi diferente nos controles e nos tratamentos (Figuras 8 e 9).

No controle, das nove classes, as Euglenophyceae foram as de maior representatividade no biovolume total até a 5ª semana de experimento. Na sexta semana, Bacillariophyceae contribui com cerca de 50% do biovolume total. Nesta semana observa-se também a presença um pouco mais expressiva das Zygnematophyceae que começaram a se desenvolver na 5ª semana do experimento e tiveram contribuição de cerca de 40% na semana 7. Na 11ª semana de experimento observa-se que as contribuições relativas das classes Cryptophyceae e Chlorophyceae foram juntas quase de 80% do biovolume fitoplanctônico total.

Nos tratamentos com nutrientes, após a primeira adição na segunda semana, observamos o desenvolvimento mais expressivo das Cryptophyceae, sendo o pico máximo na 4ª semana de experimento. As cianofíceas também apresentaram um aumento ao longo do tempo.

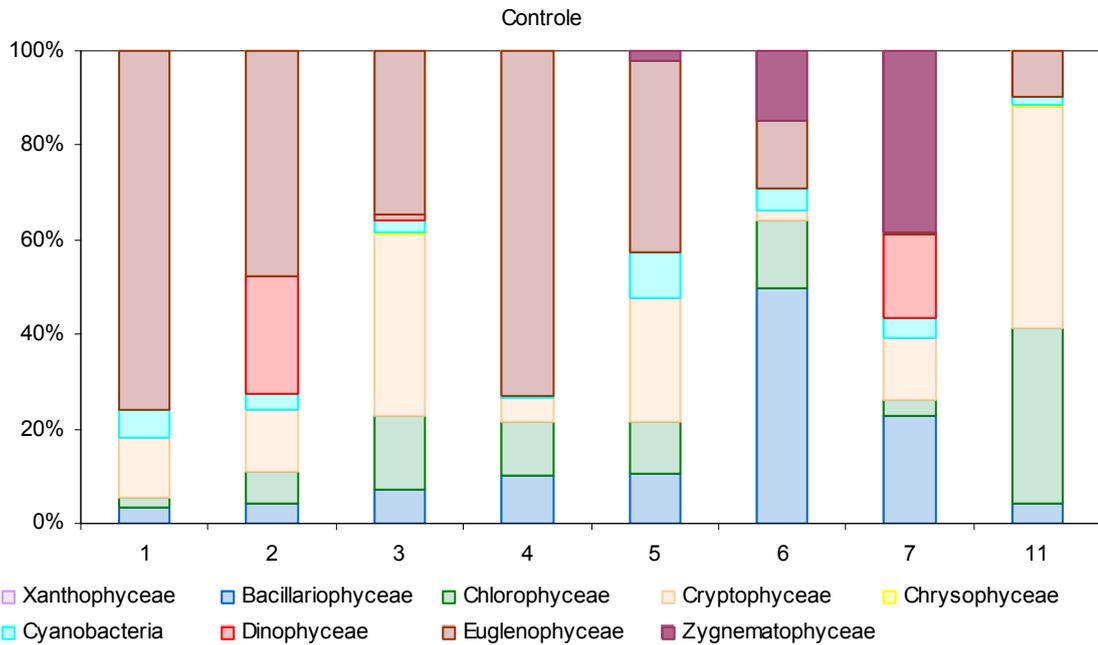


Figura 8: Contribuição relativa das classes de algas controle nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas.

Através de RM-ANOVA, com as classes de algas e os tratamentos, observamos que 5 classes responderam de maneira significativa aos tratamentos (tempo e adição de nutrientes), individualmente, aos dois ou à interação entre estes fatores (Tabela IX). As algas Euglenophyceae responderam significativamente à adição de nutrientes. Neste tratamento as algas permanecem até a 7ª semana de experimento enquanto que nos controles sua contribuição é menor e até a sexta semana. Cyanobacteria, Chlorophyceae e Cryptophyceae responderam a ambos fatores assim como à interação entre eles.

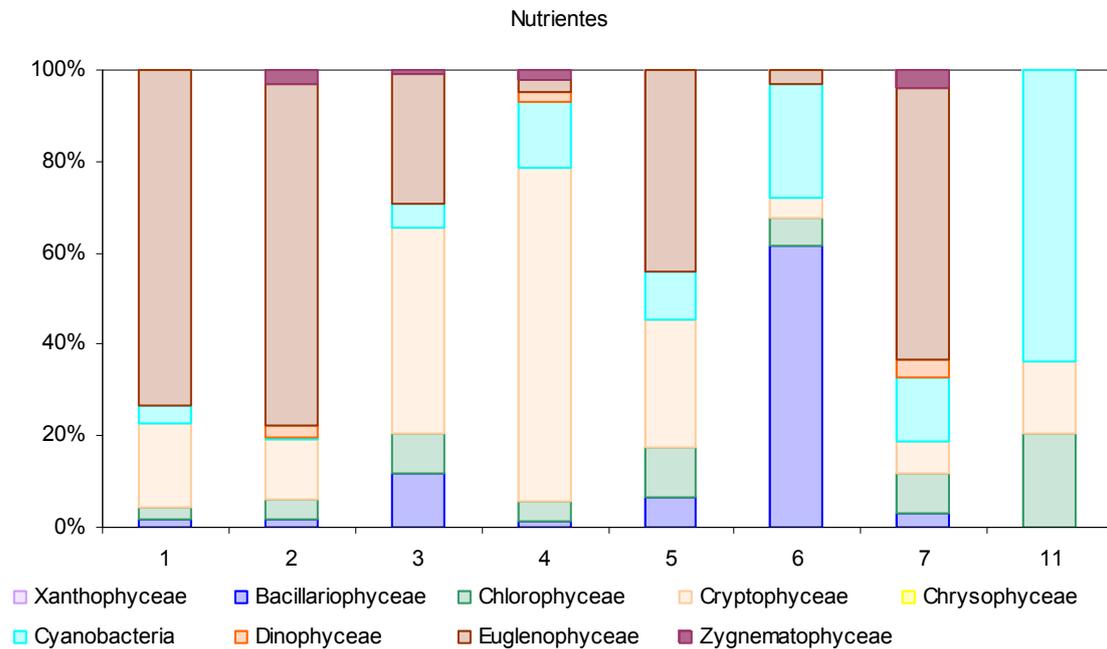


Figura 9: Contribuição relativa das classes de algas no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas.

Tabela IX: Resultados da RM-ANOVA (valores de P e F) mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre as classes de algas.

Classes	Nutrientes		Tempo		Interação	
	P	F	P	F	P	F
Xanhtophyceae	0,0556	5,614	<0.0001	17,99	0,0286	2,703
Bacillariophyceae	0,5240	0,457	0,0031	4,107	0,0345	2,588
Cholophyceae	0,0057	17,64	0.0001	10,90	0,0003	5,600
Cryptophyceae	0,0003	55,93	0.0001	15,11	<0.0001	10,73
Crysophyceae	0,1793	2,311	0,2105	1,487	0,5166	0,8840
Cyanobacteria	0,0007	40,01	0,0008	5,013	<0.0001	11,74
Dinophyceae	0,5698	0,301	0,009	3,356	0,1369	1,753
Euglenophyceae	0,0057	17,65	0,0283	2,710	0,0946	1,978
Zygnematophyceae	0,5525	0,395	0,5777	0,7982	0,0257	2,767

Considerando a potencial fonte de alimento ao zooplâncton, as algas foram divididas por classes de tamanho. Para isto o método escolhido foi o MDL (Máxima Distância Linear) onde a maior medida longitudinal é obtida. Assim, a presença de possíveis estruturas que impeçam a ingestão da célula, como projeções, espinhos ou mucilagem são consideradas, assim como a formação de colônias. Desta forma, as algas foram agrupadas em três classes de tamanho: com MDL até 20 μ m, com MDL entre 20 e 50 μ m e com MDL > 50 μ m. Os resultados do experimento sobre essas classes de tamanho são mostrados a seguir.

Biovolume de Algas com MDL até 20 μ m

O biovolume das algas de até 20 μ m foi significativamente diferente entre os controle e tratamentos e ao longo do tempo de experimento. A partir da 2^a semana de experimento, o biovolume destas algas nos mesocosmos em que foram adicionados nutrientes foi maior do que nos controles, permanecendo assim até a 5^a semana. Na 6^a e 7^a semanas de experimento os valores baixaram para níveis próximos aos da primeira semana, onde não havia adição de nutriente em nenhum dos mesocosmos. Os valores voltaram a subir na 11^a semana. (Figura 9 e Tabela X)

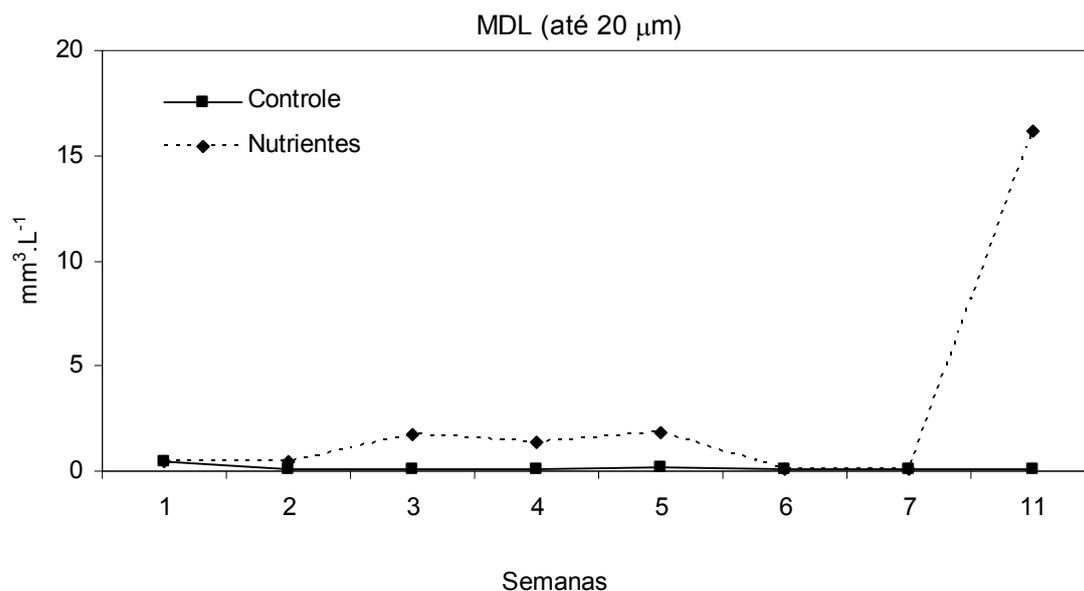


Figura 10: Variação do biovolume de algas com MDL até 20 μ m ao longo das semanas do experimento com mesocosmos na lagoa Cabiúnas.

Tabela X: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre o biovolume da comunidade fitoplanctônica com MDL até 20 μ m.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	37,22	1	11,73	75,39	0,0001
Tempo	30,35	6	9,564	22,31	<0.0001
Interação	21,30	6	6,714	15,66	<0.0001
Resíduo		36	2,572		

Biovolume de Algas com MDL entre 20 e 50 μm

As algas com MDL entre 20 e 50 μm responderam de maneira positiva e significativa ao tratamento de adição de nutrientes. Pode-se observar que a partir da primeira semana após a adição, o biovolume destas algas aumentou de maneira significativa, tendo em seguida uma queda, mas sempre maior que os valores encontrados para os controles. Ao longo do tempo, tanto nos controles quanto nos tratamentos de adição de nutrientes o biovolume destas algas mantiveram-se. Este fato demonstra que o efeito da adição de nutrientes aos mesocosmos foi determinante para o aumento do biovolume das algas nesta fração.

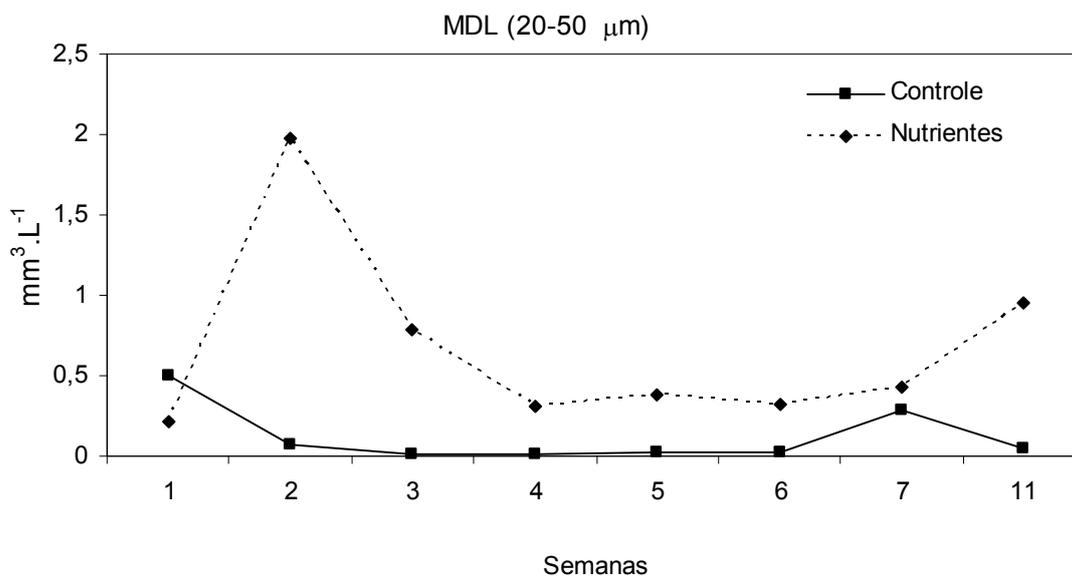


Figura 11: Variação do biovolume de algas com MDL entre 20-50 μm ao longo das semanas do experimento com mesocosmos na lagoa Cabiúnas.

Tabela XI: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre o biovolume da comunidade fitoplanctônica com MDL entre 20 e 50 μm

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	40,91	1	27,77	42,07	0,0006
Tempo	6,75	6	4,583	1,088	0,3883
Interação	9,26	6	6,284	1,491	0,2090
Resíduo		36	25,28		

Biovolume de Algas com MDL > 50 μm

O biovolume das algas > 50 μm não apresentou diferença estatística significativa nem com a adição de nutrientes, nem com o tempo e duração do experimento. No entanto, observa-se uma tendência de aumento do biovolume das algas nesta fração, nos controles, a partir da quarta semana de experimento, atingindo o máximo na sétima semana. Diatomáceas e euglenofíceas foram as algas que mais contribuíram para o aumento do biovolume nesta fração no período citado.

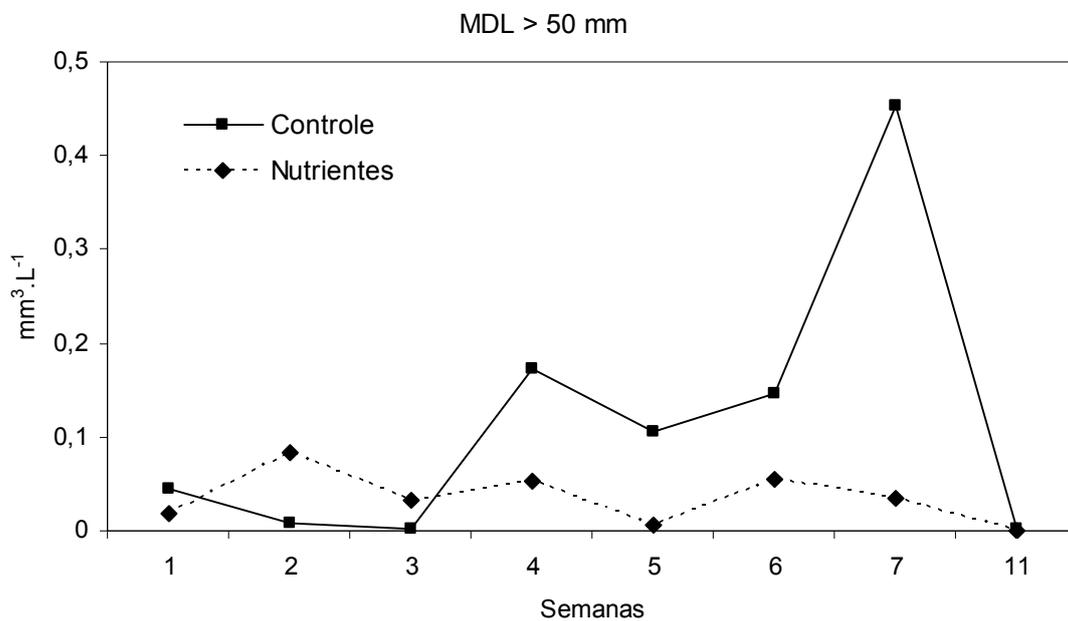


Figura 12: Variação do biovolume de algas com MDL > 50 μm ao longo das semanas do experimento com mesocosmos na lagoa Cabiúnas.

Tabela XII: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre o biovolume da comunidade fitoplanctônica com MDL maior que 50 μm

	Variação total				
	(%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	0,09	1	0,3039	0,06001	0,8162
Tempo	18,38	6	61,64	1,552	0,1825
Interação	13,72	6	46,01	1,158	0,3511
Resíduo		36	198,6		

Correlações Fitoplâncton-Zooplâncton

Foram realizadas correlações considerando as classes de tamanho das algas e a comunidade zooplanctônica, como também para os diferentes grupos do zooplâncton separadamente: rotíferos, cladóceros e copépodes (Tabela XIII).

Tabela XIII: Valores de r^2 e p das correlações realizadas entre as biomassas de zooplâncton (cladóceros, copépodes, rotíferos e biomassa total) e os biovolumes das diferentes classes de tamanho de algas. O asterisco indica diferença estatística significativa

	Algas MDL $\leq 20 \mu\text{m}$				Algas MDL entre 20 e 50 μm				Algas MDL $\geq 50 \mu\text{m}$			
	Controle		Nutrientes		Controle		Nutrientes		Controle		Nutrientes	
	r^2	p	r^2	p	r^2	p	r^2	p	r^2	p	r^2	p
Cladóceros	0,250	0,007*	0,140	0,050*	0,0002	0,948	0,076	0,156	0,003	0,772	0,007	0,666
Copépodes	0,122	0,068	0,053	0,236	0,038	0,322	0,072	0,168	0,027	0,405	0,009	0,621
Rotíferos	0,1351	0,054*	0,170	0,029*	0,103	0,097	0,005	0,719	0,011	0,592	0,003	0,782
Zoo total	0,164	0,032*	0,044	0,282	0,021	0,462	0,094	0,112	0,019	0,480	0,018	0,5

Considerando a biomassa total da comunidade zooplanctônica e o biovolume das algas com MDL de até 20 μm , observa-se uma correlação significativa e positiva no controle (Figura 12, $r^2 = 0,164$; $p < 0,05$), enquanto que no tratamento com adição de nutrientes não foi observada nenhuma correlação entre estes fatores. Não foram observadas correlações entre a biomassa total da comunidade zooplanctônica e as outras classes de tamanho consideradas.

Ainda, pode-se observar que, nos controles, entre os cladóceros e as algas com MDL até 20 μm existe uma correlação positiva. Por outro lado, o inverso é observado para os tratamentos com adição de nutrientes, onde existe uma correlação negativa entre cladóceros e algas (figura 12). Com relação às algas com MDL entre 20 e 50 μm , a correlação foi negativa entre os cladóceros dos tratamentos. Nos controles, não houve correlação entre os cladóceros e algas desta classe de tamanho. Na classe de

tamanho de algas com MDL maior que 50 μm não houve nenhuma correlação significativa.

Os copépodes não mostraram correlações significativas entre sua biomassa e as diferentes classes de tamanho das algas. Os rotíferos apresentaram correlações positivas significativas com as algas com MDL até 20 μm , tanto nos controle quanto nos tratamentos. Nas demais classes de tamanho não houve nenhuma correlação entre a biomassa de rotíferos e o biovolume de algas (Figura 14b e c)

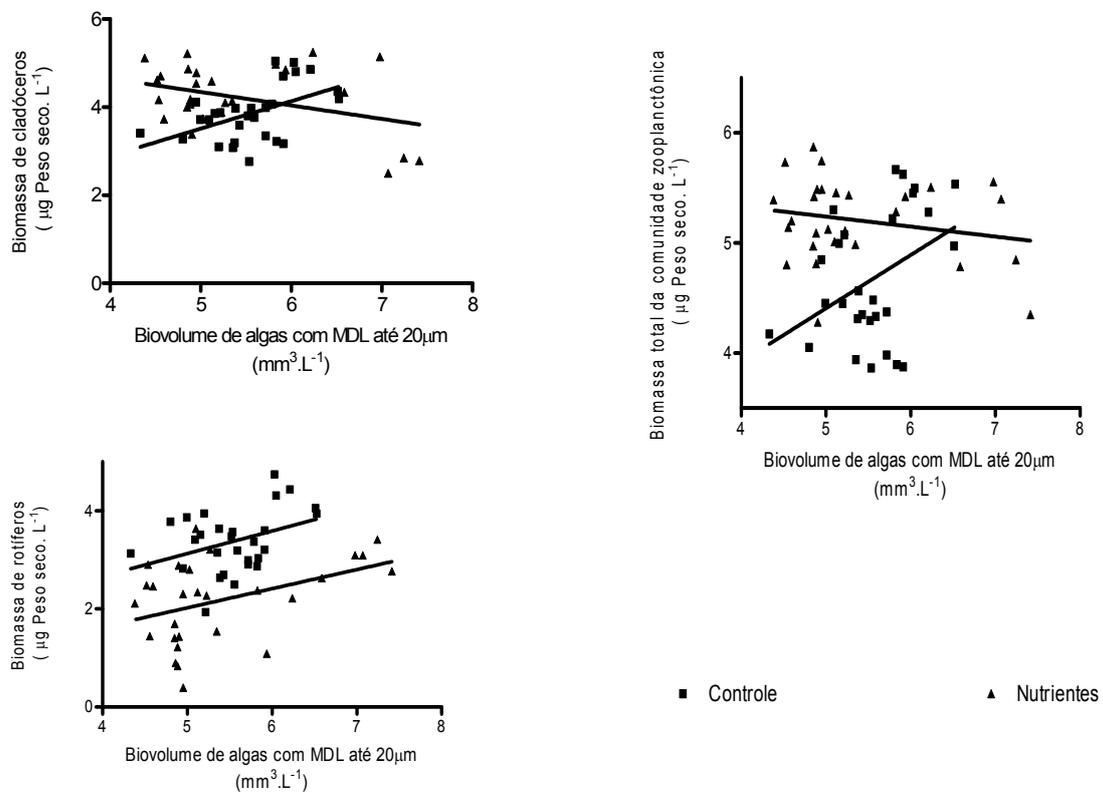


Figura 13: Correlação entre a biomassa total da comunidade zooplancônica e o biovolume das algas com MDL até 20 μm no controle e no tratamento com adição de nutrientes nos mesocosmos.

Discussão

O acompanhamento do experimento mostrou que nos mesocosmos sujeitos ao tratamento de adição de nutrientes, as concentrações de nitrogênio e fósforo mantiveram-se em níveis mais elevados que nos controles e a razão N:P manteve-se em 5:1. Assim, pode-se dizer que a manipulação do experimento foi eficiente e correspondeu ao proposto inicialmente.

O estudo das comunidades zooplanctônicas, relacionados à estrutura destas comunidades, tem indicado que há um aumento na densidade e biomassa da comunidade em ambientes eutrofizados (McCauley e Kalff, 1981; Canfield e Watkins, 1984, Hanson e Peters, 1984, Attayde & Bozelli, 1998, Rocha, 2002, Souza *et al*, 2008 entre outros). Observa-se ainda que com o aumento do estado trófico, haja diminuição na estrutura de tamanho da comunidade zooplanctônica, que passa a ser caracterizada pela presença mais expressiva de rotíferos, náuplios de copépodes e copépodes ciclopóides (Gannon & Stemberger, 1978, Bays e Crisman, 1983, Blancher, 1984 entre outros)

Neste estudo observou-se que as respostas da comunidade zooplanctônica, quando tratadas de forma geral, sem discriminar os grupos, não foram coerentes com o esperado em experimentos de enriquecimento. Isto pode ser constatado quando se observa a biomassa zooplanctônica total, em que o aumento deste parâmetro era esperado nos mesocosmos com adição de nutrientes. Contudo, observa-se que não houve diferença significativa entre os controles e os tratamentos com adição de nutrientes. No entanto, apesar de não ter sido estatisticamente diferente, pode-se observar uma tendência de maior biomassa zooplanctônica nos tratamentos com adição, principalmente a partir da segunda semana de experimento. Desta maneira pode-se sugerir que de maneira geral, o tempo de experimento foi o principal responsável pelas alterações observadas durante o experimento. Este fato é coerente com alguns parâmetros considerados para a comunidade zooplanctônica como riqueza e biomassa total.

Considerando os grupos zooplanctônicos isoladamente, observa-se que os efeitos da adição de nutrientes foram mais evidentes. Os cladóceros apresentaram diferenças estatísticas significativas em sua biomassa, nos tratamentos de adição de nutrientes. Ao longo do experimento, a presença do cladóceros *Simocephalus* parece ter sido o responsável pelo aumento na biomassa dos cladóceros. Este cladóceros característico de regiões litorâneas tem tamanho corporal maior que os cladóceros encontrados no início do experimento, o que pode ter contribuído para o aumento da biomassa do grupo. A presença mais acentuada de *Simocephalus* nos mesocosmos onde houve adição de nutrientes está relacionada à disponibilidade de algas de melhor qualidade nutricional, como as diatomáceas e as criptofíceas presentes também nos mesocosmos enriquecidos. Segundo Brett (1997), num ranking (0-1) que caracteriza as algas segundo seu valor nutritivo, sendo 0 a menos nutritiva e 1 a maior teor nutricional, duas classes de algas apresentam valores de 0,7 e 0,95, respectivamente. Num estudo realizado por Bec *et al.* (2003) com *Simocephalus vetulus* submetido a diferentes fontes de alimento de diferentes qualidades nutricionais, foi observado que as melhores respostas de crescimento, sobrevivência e reprodução foram obtidas quando esta espécie se alimentou de uma espécie de criptofíceas. A presença de *Moina micrura* ao longo do experimento também foi observada nos tratamentos com adição de nutrientes. A densidade da espécie não se manteve ao longo do tempo, no entanto ainda era possível observar a ocorrência de indivíduos nos mesocosmos, o que pode estar relacionado ao favorecimento desta espécie em ambientes com sólidos em suspensão (Hart, 1992; Bozelli, 1993). Em estudo realizado na lagoa Imboassica entre 2000-2001 (Rocha, 2002), em Macaé, uma lagoa costeira com eutrófica, a espécie *Moina minuta* foi a única a ser registrada em altas densidades, responsável por praticamente toda a biomassa de cladóceros da lagoa.

Os rotíferos não apresentaram diferenças significativas na biomassa entre controle e o tratamento com adição de nutrientes. No entanto, houve diferenças significativas deste grupo ao longo do tempo de experimento quando a biomassa de

rotíferos diminuiu ao longo das semanas. Este fato pode estar associado à competição com outros grupos como os cladóceros e copépodes calanóides que são reconhecidos por apresentarem altas taxas de filtração e potencial para o controle de florações de algas (Hansson 1992; Sarnelle 1993).

Os copépodes não apresentaram diferenças significativas entre os controles e o tratamento com adição de nutrientes. De fato, o aumento da concentração de nutrientes nos tratamentos não alterou a composição específica dos copépodes, nem as proporções entre as ordens Calanoida e Cyclopoida. Em ambientes de maior estado trófico é esperada a maior contribuição de densidade e biomassa dos copépodes ciclopoídes quando comparados aos calanóides (Bays & Crisman, 1983).

Com relação ao fitoplâncton observamos que este grupo respondeu de maneira positiva e significativa tanto à adição de nutrientes quanto ao tempo de experimento. A adição de nutrientes proporcionou o desenvolvimento de algas de diferentes classes, alterando a composição desta comunidade. As algas cianofíceas contribuíram de maneira mais expressiva nos tratamentos com adição de nutrientes a partir da quarta semana, como esperado, porém não foram dominantes até chegar a décima primeira semana, quando o biovolume de algas era composto quase que em sua totalidade por cianofíceas. Também a contribuição de classes de algas consideradas como de boa qualidade nutricional diferiu entre controles e nutrientes, e observamos o incremento de criptofíceas e euglenofíceas nos mesocosmos enriquecidos. Estudos mostraram que com relação à adequação nutricional do ponto de vista do conteúdo de ácidos graxos, as diatomáceas e criptofíceas apresentam altas proporções de EPA e DHA e as clorofíceas são ricas em ácido linolénico, o que lhes confere status de elevada qualidade nutricional, enquanto que as cianofíceas virtualmente não apresentam estes ácidos graxos caracterizando-as como de baixa qualidade nutricional (Ahlgren *et al.* 1992; Muller-Navarra, 1995; De Lange & Van Donk, 1997; Brett e Muller-Navarra, 1997; Muller-Navarra *et al.*, 2004).

Quando se considera o fitoplâncton levando em conta a faixa de tamanho das algas, observa-se que as algas menores (até 20µm) responderam significativamente ao tratamento com adição de nutrientes enquanto que as algas maiores, não apresentaram diferenças significativas entre os controles e os tratamentos com adição de nutrientes. Algas de menor tamanho garantem sua maior eficiência na absorção de nutrientes e tem a capacidade de reprodução mais rápida (Reynolds, 2006).

Considerando a correlação entre os grupos do zooplâncton com as diferentes frações de algas observamos que na faixa < 20µm as correlações positivas, quando foram observadas, aconteceram nos controles e não nos tratamentos e que na faixa maior que 50µm não houve correlação entre o zooplâncton e o fitoplâncton. Este fato pode sugerir que o desenvolvimento de algas menos palatáveis ou menos suscetíveis à herbivoria pelo zooplâncton tenham reduzido o consumo destas algas . Os cladóceros mostraram-se o grupo mais sensível a alterações na qualidade do alimento quando comparados aos copépodes e rotíferos. Quando observamos o grupo dos cladóceros nos mesocosmos enriquecidos, podemos observar que existe uma correlação negativa significativa entre este grupo e o biovolume das algas na menor faixa de tamanho. Este fato pode sugerir que exista um controle dos cladóceros sobre essa faixa de tamanho do fitoplâncton. Ainda considerando os cladóceros, a presença de *Simocephalus* nos mesocosmos enriquecidos indica que por seu maior tamanho corporal que as espécies registradas nos controles, o efeito da herbivoria desta espécie sobre as algas pode ter sido mais evidente e mais eficiente na remoção de biomassa fitoplanctônica. Estes resultados corroboram, os que foram encontrados por Vakkilainen *et al* (2004) em experimentos com mesocosmos e adição de nutrientes, em que grandes cladóceros como os dos gêneros *Simocephalus*, *Diaphanosoma*, *Sida*, *Daphnia*, foram eficientes no controle da biomassa total do fitoplâncton, mesmo em condições hipereutróficas. Com exceção de *Daphnia*, as outras espécies citadas, embora em baixas densidades, como *Sida*, estão presentes em nosso estudo.

Tanto no controle quanto no tratamento com adição de nutrientes pode-se observar classes de algas consideradas como de alto valor nutricional. No entanto, nos mesocosmos onde houve adição de nutrientes, as proporções entre essas classes diferiu daquela do controle, e, ao longo do tempo do experimento, houve a maior contribuição das cianofíceas, que como já discutido, são consideradas como de baixo valor nutricional para o zooplâncton. Desta forma pode-se afirmar que a adição de nutrientes aos mesocosmos proporcionou o desenvolvimento diferenciado de classes de algas de boa qualidade nutricional, mas também, com o decorrer das semanas, a qualidade do alimento para o zooplâncton passa a diminuir com a presença efetiva e contribuição mais significativa das cianofíceas. As comunidades fitoplanctônicas que são dominadas por cianofíceas, como ocorre principalmente na décima primeira semana de experimento, são caracterizadas por baixos valores de conteúdo de ácidos graxos polinsaturados, como o EPA e DHA, que são muito importantes no crescimento do zooplâncton e produção de ovos (Brett e Muller-Navarra, 1997; Muller-Navarra *et al.*, 2004).

Capítulo III

**Composição elementar do séston (C, N e P) e sua influência na
comunidade zooplanctônica.**

Introdução

A composição elementar do alimento do zooplâncton é um dos fatores que determina sua qualidade. As concentrações e razões destes elementos são determinantes para a estrutura de moléculas e de compostos vitais para o desenvolvimento dos organismos. Estes elementos são considerados como nutrientes, porque participam, entre outros processos da transformação da energia em biomassa. São elementos considerados essenciais e obtidos através da alimentação. São constituintes de proteínas e aminoácidos, como no caso do nitrogênio, de fosfolipídios e síntese de ácidos nucléicos no caso do fósforo.

Em ambientes aquáticos é sabido que a composição elementar e bioquímica das algas muda dependendo do regime de luz e suprimento de nutrientes. Assim, pode acontecer que dependendo do balanço existente entre estes elementos as algas sejam mais ou menos “nutritivas”. Desta forma, variações na qualidade do alimento pode determinar diferentes respostas do zooplâncton, como por exemplo, a produção de ovos. Quando o zooplâncton alimenta-se de algas com limitação de P, por exemplo, pode-se esperar que haja uma redução no seu crescimento somático.

Neste capítulo será abordada, principalmente, a composição elementar do alimento para o zooplâncton, através da análise da composição elementar do séston de uma faixa de tamanho adequada ao consumo do zooplâncton.

Foram coletadas amostras de água e de zooplâncton dos mesocosmos na primeira, na quarta e sétima semanas de experimento. Estes períodos de coleta foram estabelecidos para que não houvesse uma perturbação muito intensa pela retirada de

organismos dos mesocosmos além das amostras semanais, que pudessem comprometer a integridade do experimento.

A metodologia de coleta e o tratamento das amostras estão descritos detalhadamente no item no item 4 (Métodos).

Resultados

Foram determinadas as razões estequiométricas do séston < 20 μ m, que inclui a faixa de alimento capturada pelo zooplâncton. A fim de se determinar a influência da qualidade do alimento, foram também determinadas as densidades de cladóceros ovados nos mesocosmos. Estas medidas podem dar informações sobre a reprodução destes organismos. Os cladóceros foram escolhidos como grupo indicador pela mais fácil integridade dos ovos na câmara incubadora, tendo perdas menores nas amostras fixadas.

Composição fitoplanctônica do séston < 20 μ m

Tomando como base as classes de tamanho obtidas por MDL, observamos que na fração selecionada do séston houve diferenças nas contribuições relativas das classes fitoplanctônicas encontradas nos mesocosmos comparando-se controle e nutrientes. As classes fitoplanctônicas encontradas nos controles foram: Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Crysophyceae, Cyanobacteria, Euglenophyceae, Zygnematophyceae e Xanthophyceae. Foi observado nos controles que ao longo das semanas do experimento, a contribuição relativa do biovolume de Chlorophyceae aumentou e houve uma leve diminuição da contribuição de Euglenophyceae (Figura 1).

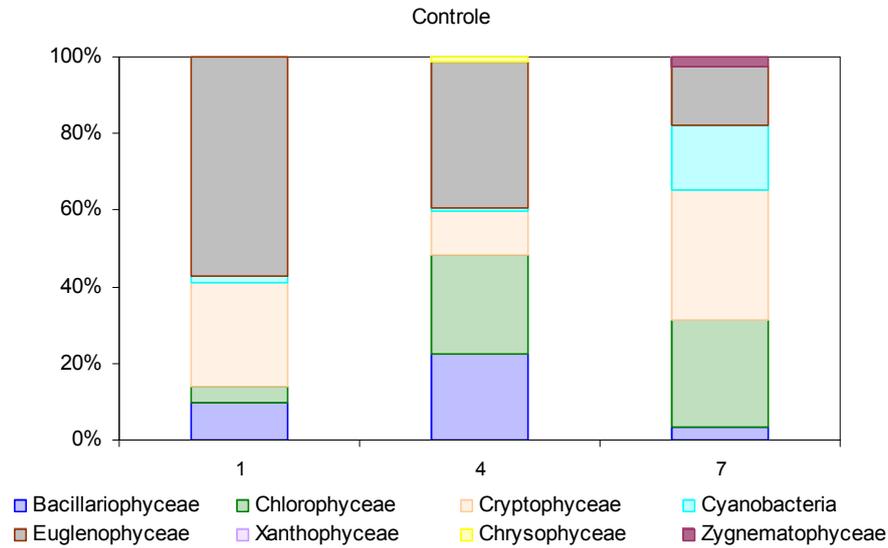


Figura 1: Contribuição relativa das classes fitoplanctônicas com MDL < 20µm encontradas nos controles.

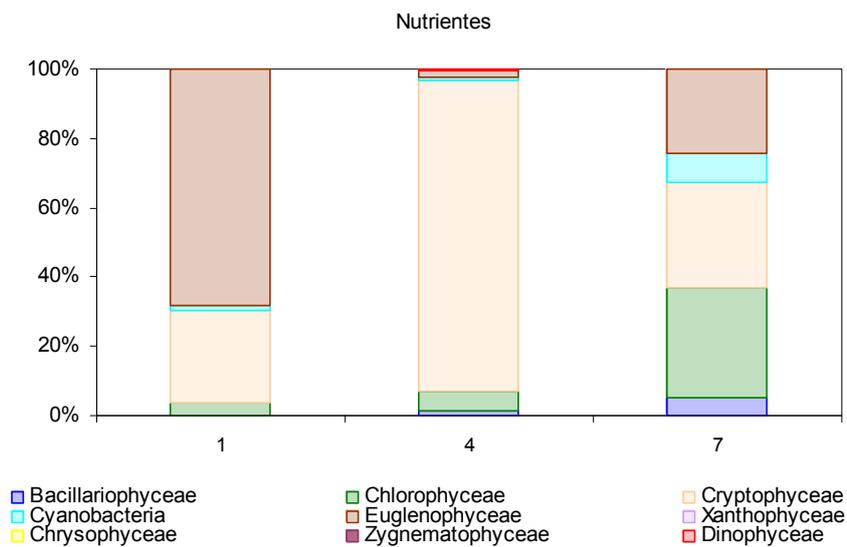


Figura 2: Contribuição relativa das classes fitoplanctônicas com MDL < 20µm encontradas nos tratamentos.

Nos tratamentos com adição de nutrientes, além das classes encontradas nos controles, Dinophyceae também esteve presente após a adição de nutrientes. Podemos observar que após a adição de nutrientes, houve um incremento considerável na proporção de Cryptophyceae, principalmente na quarta semana estudada, quando esta classe de algas é dominante na comunidade fitoplanctônica (Figura 2). Na sétima semana de experimento observa-se a contribuição de três

principais classes de algas, com atenção para o desenvolvimento mais expressivo de clorofíceas e cianofíceas.

Razões Estequiométricas do séston

Razão C:N

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os controles e os tratamentos de adição de nutrientes. No entanto, foram observadas diferenças significativas ao longo do tempo de duração do experimento (figura 3, Tabela I).

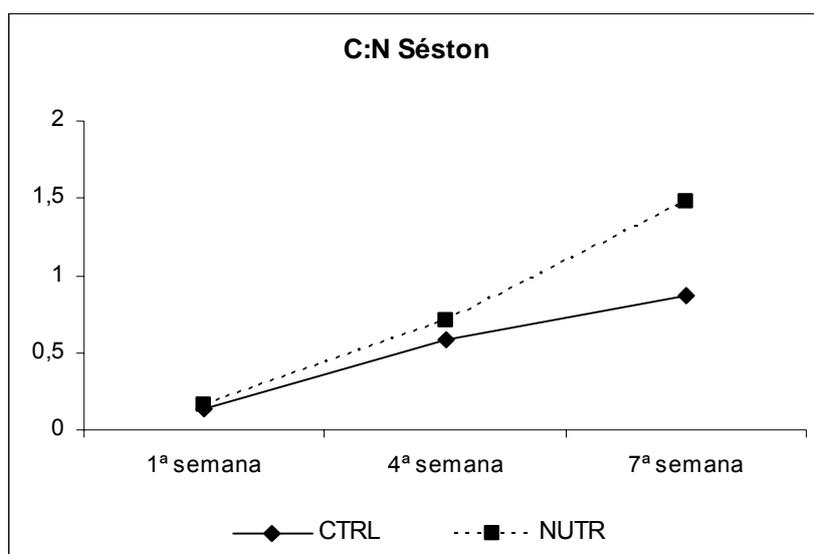


Figura 3: Variação da razão C:N do séston ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas

Tabela I: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a razão C:N do séston

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	2,75	1	0,001	1,285	0,300
Tempo	52,66	2	0,02	22,62	<0.0001
Interação	17,79	2	0,006	7,642	0,072
Resíduo		12	0,005	1,838	

Razão C:P

Não foram observadas diferenças significativas na razão C:P do séston entre os controles e tratamentos de adição de nutrientes. No entanto a razão respondeu significativamente e negativamente com relação ao tempo de duração do experimento.

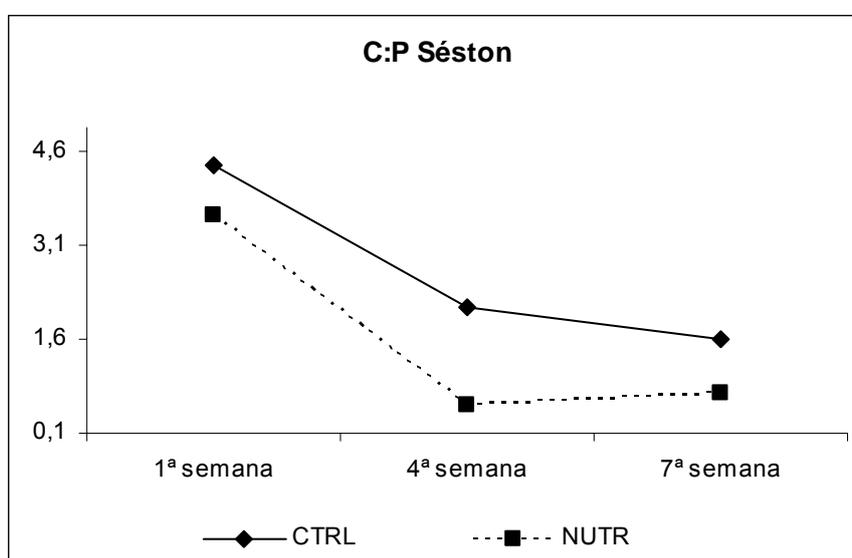


Figura 4: Variação da razão C:P do séston ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas

Tabela II: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a razão C:P do séston

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	0,50	1	0,0001	0,146	0,716
Tempo	10,53	2	0,003	1,607	0,241
Interação	29,13	2	0,007	4,447	0,036
Resíduo		12	0,009		

Razão N:P

Foram observadas diferenças significativas tanto em relação aos tratamentos e controles quanto ao tempo de experimento. Observa-se que há uma diminuição acentuada no valor da razão N:P ao longo do tempo de experimento (Figura 5, Tabela III).

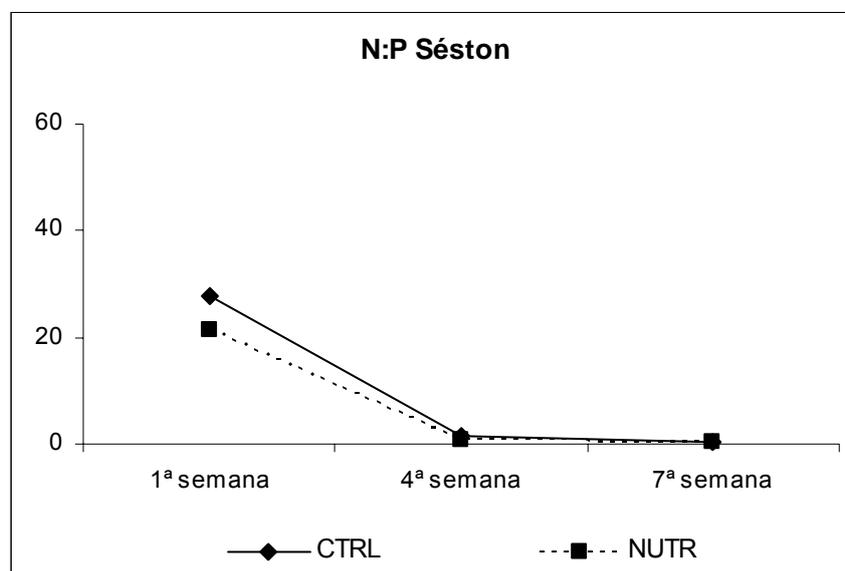


Figura 5: Variação da razão N:P do séston dos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas

Tabela III: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a razão N:P do séston

	Varição total (%)	gl	SQ	P	F
Nutrientes	3,87	1	0,1823	0,0028	142,7
Tempo	90,25	2	4,255	< 0.0001	645,0
Interação	2,93	2	0,1379	0,0043	8,827
Resíduo		12	0,09305		

Zooplâncton

A densidade total do zooplâncton respondeu significativamente com o tempo de experimento e não com a adição de nutrientes (Figura 6, Tabela IV)

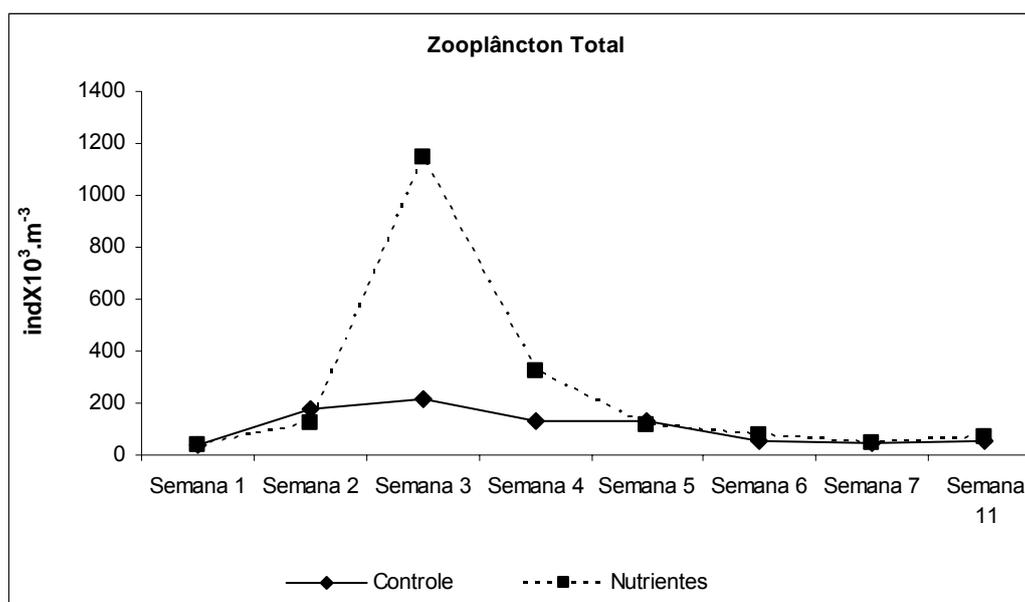


Figura 6: Variação da densidade Total da comunidade zooplanctônica nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas.

Tabela IV: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a densidade total da comunidade zooplanctônica.

	variação total (%)	gl	SQ	P	F
Nutrientes	4,56	1	0,5045	0,1070	3,589
Tempo	57,17	6	6,324	<0.0001	16,34
Interação	9,65	6	1,068	0,0261	2,759
Resíduo		36	2,322		

A densidade dos cladóceros apresentou diferenças significativas ao longo das semanas de experimento e com relação à adição de nutrientes. Porém, o tempo de experimento foi o principal fator determinante na resposta desta comunidade (Figura 7, Tabela V).

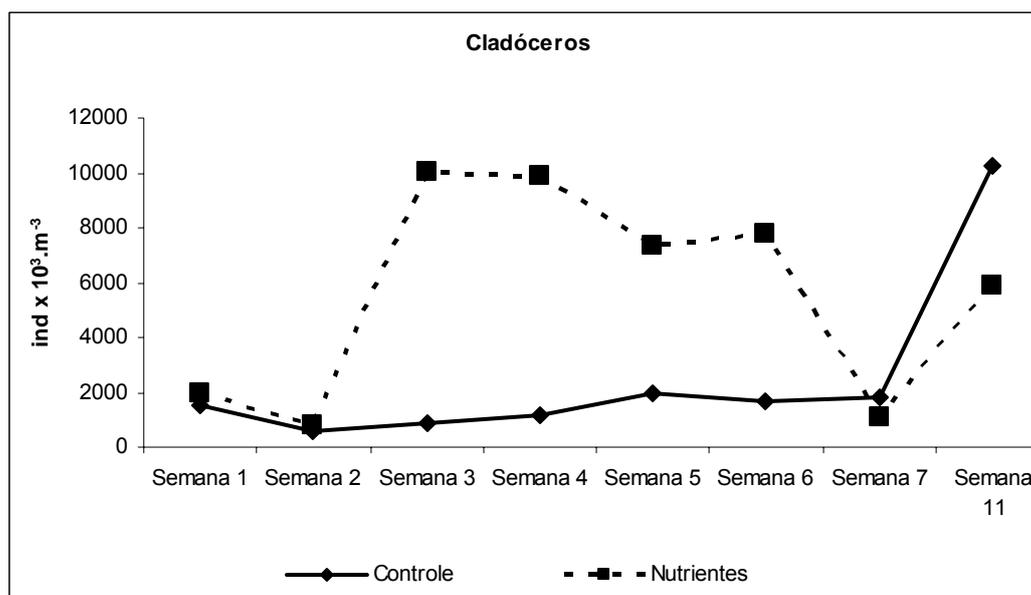


Figura 7: Variação da densidade de cladóceros nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas.

Tabela V: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a densidade de cladóceros

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	22,89	1	3,156	18,06	0,0054
Tempo	27,36	6	3,772	8,117	<0,0001
Interação	21,92	6	3,022	6,502	0.0003
Resíduo		36	7,367		

A densidade de cladóceros ovados respondeu significativamente tanto ao tempo de experimento quanto a adição e nutrientes. Até a 5ª semana de experimento as densidades de cladóceros ovados nos tratamentos com adição de nutrientes foi maior do que nos controles (Figura 8, Tabela VI).

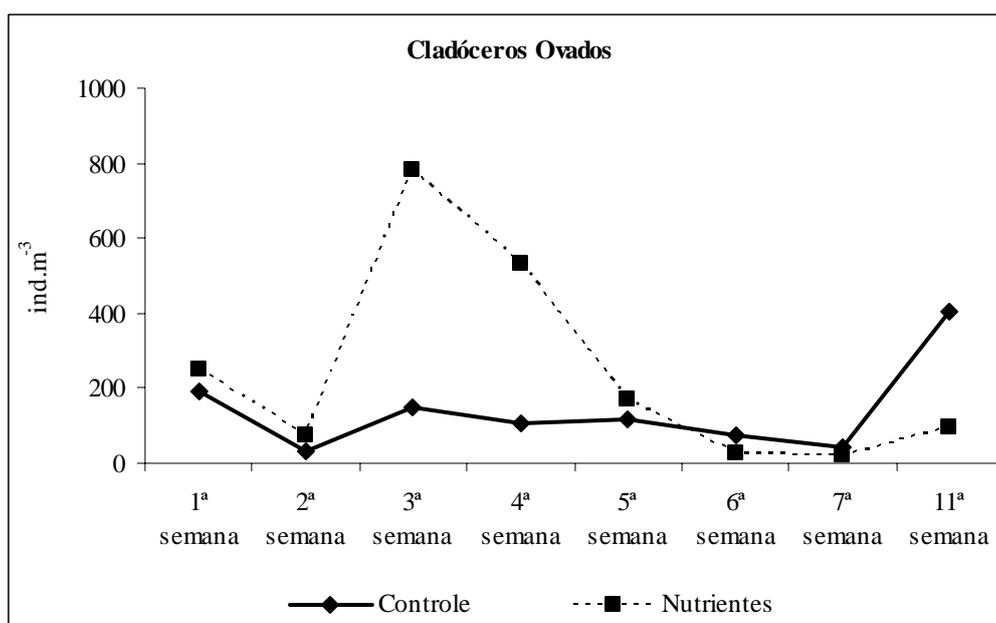


Figura 8: Variação da densidade de cladóceros nos mesocosmos ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas

Tabela VI: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a densidade de cladóceros ovados

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	15,21	1	10,04	9,909	0,0199
Tempo	20,45	6	13,49	2,892	0,0210
Interação	12,71	6	8,388	1,798	0,1272
Resíduo		36	27,99		

Razões Estequiométricas do zooplâncton

As análises de concentração de carbono e de fósforo no zooplâncton foram realizadas nas espécies presentes em maior abundância nas amostras. Entre os cladóceros foram selecionadas as espécies *Moina micrura* e *Simocephalus* sp. e dentre os copépodes foram selecionados os calanóides *Diaptomus azureus* e *Notodiaptomus cearensis*.

A composição elementar dos cladóceros não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, a partir da quarta semana observa-se uma diminuição na razão C:P deste grupo. O que significa maiores concentrações de P nos cladóceros presentes nas amostras (Figura 9, Tabela VII). Deve-se ressaltar que na quarta e na sétima semana de amostragem, *Simocephalus* sp eram os cladóceros mais abundantes.

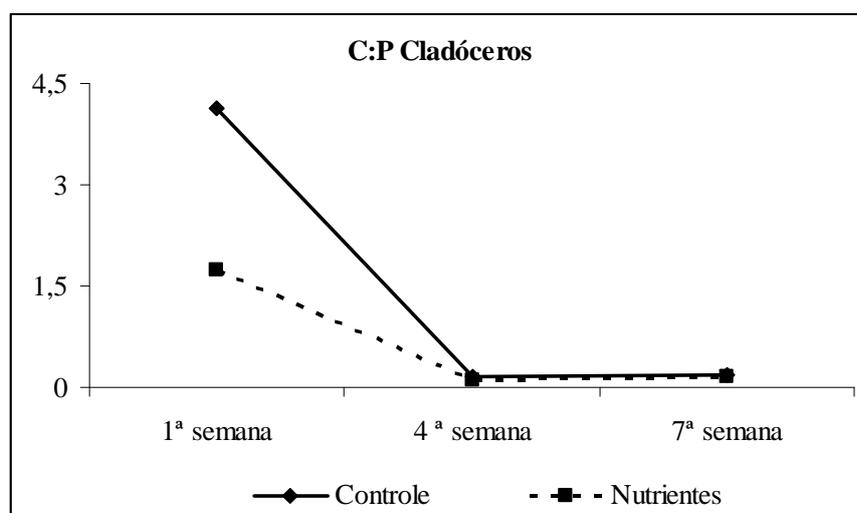


Figura 9: Variação da razão C:P dos cladóceros ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas.

Tabela VII: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a razão C:P dos cladóceros

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	3,47	1	0,055	22,12	0,0033
Tempo	89,12	2	1,416	447,0	<0.0001
Interação	5,28	2	0,084	26,46	<0.0001
Resíduo		12	0,019		

No caso dos copépodes, não houve diferença significativa na razão C:P entre os tratamentos e controles. Este grupo mostrou diminuição da razão C:P em relação ao tempo de experimento. Estes valores foram maiores na 4ª semana de experimento e apresentaram uma leve tendência a queda na 7ª semana, porém os valores ainda significativamente superiores que os da primeira semana. Durante todo o experimento estiveram presentes as duas espécies de copépodes (Figura 10, tabela VIII).

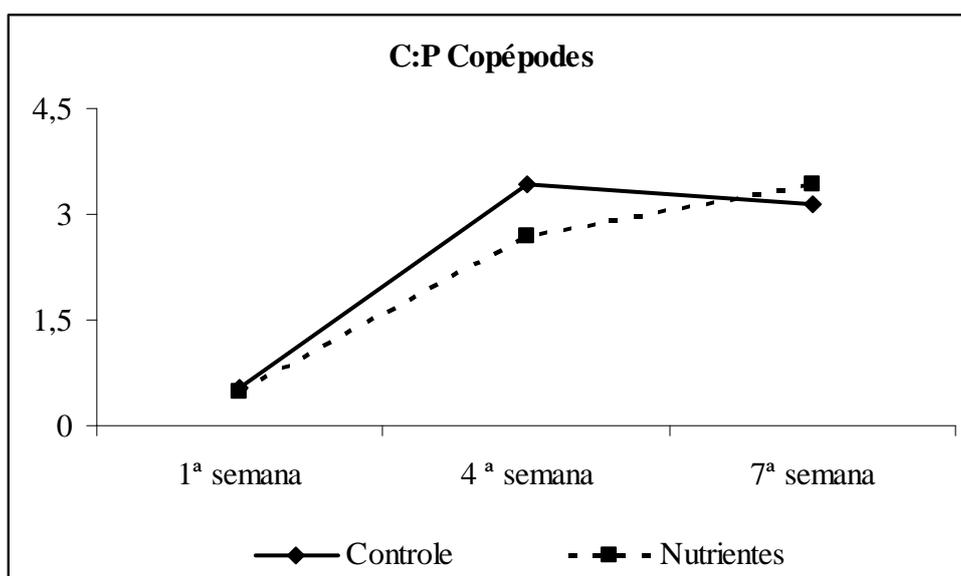


Figura 10: Variação da razão C:P dos copépodes ao longo das semanas de experimento na lagoa Cabiúnas

Tabela VIII: Resultados da RM-ANOVA mostrando os resultados independentes e interativos do tempo e da adição de nutrientes sobre a razão C:P dos copépodes.

	Varição total (%)	gl	SQ	F	P
Nutrientes	0,27	1	0,003	0,491	0,510
Tempo	87,41	2	1,017	64,42	<0,0001
Interação	0,82	2	0,009	0,605	0,562
Resíduo		12	0,095		

Discussão

A adição de nutrientes aos mesocosmos resultou em incorporação destes nutrientes na biomassa do séston. Isto pode ser confirmado através das razões estequiométricas. A razão C:P apresentou uma queda acentuada nos mesocosmos onde houve adição de nutrientes. Apesar da razão C:N também ter diminuído, essa queda não foi tão acentuada quanto na razão C:P.

É ainda possível constatar que nos mesocosmos onde houve adição de nutrientes, o desempenho do grupo dos cladóceros foi melhor, uma vez que a densidade deste grupo foi significativamente maior. No entanto, deve-se salientar que a composição específica foi alterada, com a presença expressiva de *Simocephalus* sp. Esta espécie apresenta tamanho corporal maior e maior produção de ovos que a espécie *Moina micrura*. Em média eram observados de 6 a 8 ovos por fêmea de *Simocephalus* contrastando com a média de 4 ovos de *M. micrura*. O aumento da produção de ovos nos cladóceros corrobora o observado em estudos com *Daphnia* que foram alimentadas com algas de alta razão C:P ou C:N (Sterner, 1993; Sterner et

al, 1993, Schulz & Sterner, 1999) e que tiveram a produção de ovos diminuída. Lurling & Van Donk (1997) em experimentos realizados com *Daphnia* observaram que as taxas de reprodução foram maiores naqueles indivíduos que foram alimentados com algas sem limitação de nutriente, sendo N ou P.

Considerando a adequação do alimento para o zooplâncton, além da quantidade, tamanho, forma e digestibilidade das algas, outro fator a ser considerado é a limitação por P. Altas razões C:P (>300) podem ser indicadoras de que exista limitação por P (Sterner & Hessen, 1994). Para cladóceros esta faixa também é considerada limite para o desenvolvimento de *Daphnia* (Urabe & Watanabe, 1992).

Na fração do séston selecionada neste estudo, as razões C:P sempre estiveram abaixo do limite (>300), o que sugere que nesta fração não há limitação de P. Após a adição de nutrientes houve incremento tanto da produção de ovos quanto da densidade total de cladóceros. Com a adição de nutrientes aos mesocosmos, houve um aumento na contribuição de biomassa das classes Cryptophyceae e Euglenophyceae que podem contribuir para o aumento da qualidade do alimento para o zooplâncton. Segundo Brett & Muller-Navarra (1997), as algas destas classes tem altas proporções de EPA e DHA, ácidos graxos essenciais que conferem a estes grupos maior qualidade nutricional. Além disso, houve também uma redução na já baixa contribuição de Dynophyceae, que apesar de rica nos compostos acima mencionados, não tem tamanho favorável para a alimentação do zooplâncton, o que de maneira geral, pode estar contribuindo para a adequação das algas como alimento para o zooplâncton.

Outro ponto a ser considerado é que a lagoa Cabiúnas, por ser um ambiente húmico, apresenta altas concentrações de carbono (COD), em torno de 12,6 mg.L⁻¹ (Farjalla, 2001) e levando em conta os baixos valores de clorofila a (4 mg.L⁻¹) sugere-se que haja pouca contribuição fitoplanctônica para o pool de carbono autóctone. Em ambiente húmicos, os detritos podem representar mais que 75% do carbono orgânico e é, quantitativamente, uma fonte importante de carbono para o zooplâncton (Hessen,

Andersen & Lyche, 1989, 1990). No entanto, os detritos são pobres em minerais essenciais e compostos bioquímicos que são importantes para o crescimento e reprodução do zooplâncton (Hessen, 1998). Portanto, mesmo em casos onde a contribuição do fitoplâncton para o pool de carbono seja pequena, o seu papel na nutrição do zooplâncton pode ser crucial (Hessen, 1998).

Nossos resultados relacionados à estequiometria do séston, mostraram que houve diminuição significativa da razão C:P em função da adição de nutrientes e estes resultados são consistentes com os observados na literatura que descrevem que as razões estequiométricas dos produtores é mais variável em função de alterações nos regimes de luz e suprimento de nutrientes (Dodds, 2002; Sterner & Elser, 2002). Ao contrário, a composição elementar das espécies de herbívoros planctônicos é menos variável que as de espécies de algas, independente das condições ambientais (Andersen & Hessen 1991; Elser & Urabe 1999). No entanto, os resultados obtidos para os cladóceros apresentaram também grande variação, contrariando o que é observado na literatura. Neste caso podemos sugerir que a alteração na composição dos cladóceros parece ter sido responsável por esses resultados uma vez que, nas primeiras semanas o cladóceros mais abundante era *Moina micrura*. Já na quarta e sétima semanas, no entanto, *Simocephalus* apresentava-se mais abundante nas amostras. A manutenção das razões é mais estável intra-especificamente do que inter-especificamente e as espécies de cladóceros diferem no conteúdo de P (Schulz & Sterner 1999). É possível, portanto que os requerimentos de *Moina micrura* e *Simocephalus* sejam diferentes, e assim, as espécies tenham diferentes respostas à adição de nutrientes. Como exemplo, podemos citar os resultados encontrados por Ferrão-Filho e colaboradores (2003) quando em experimentos de alimentação com séston natural do lago Monte Alegre e deste suplementado com P, as respostas dos cladóceros diferiram entre as espécies: *Daphnia gessneri* mostrou-se mais sensível aos recursos alimentares do que *Ceriodaphnia cornuta*. Assim é possível que entre os cladóceros da lagoa Cabiúnas, *Simocephalus* tenha sido beneficiado pela alteração na

razão do alimento em função da adição de nutrientes e se destacou competitivamente com relação a *Moina micrura*. Outro ponto a ser considerado é que *Simocephalus* é considerado com sendo um organismo com elevada concentração de P, às vezes de maior conteúdo que *Daphnia*, com concentrações em torno de 1,5% de peso seco (Hall *et al*, 2004). Assim, a redução da razão C:P no grupo dos cladóceros é resultado da mudança na abundância das espécies, quando *Simocephalus* passou a ser a mais abundante.

Considerando os copépodes, no entanto, os resultados observados estão dentro o esperado na literatura uma vez que sua razão C:P não foi alterada em função da adição de nutrientes que, por sua vez, alterou o recurso alimentar. Copépodes são considerados como menos suscetíveis a limitação por P devido ao seu relativamente baixo conteúdo de P, enquanto que podem ser mais vulneráveis à limitação por N devido ao seu relativamente alto conteúdo de N.

A adição de nutrientes aos mesocosmos afetou de forma considerável os biovolumes das diferentes classes de algas. Desta forma podemos afirmar que a alteração na composição do fitoplâncton após a adição de nutrientes, proporcionou alterações na qualidade do alimento para o zooplâncton, permitindo o desenvolvimento de algas com qualidade nutricional superior, permitindo o maior desenvolvimento da comunidade zooplanctônica.

Discussão Geral

Tudo que é necessário a um organismo heterotrófico para seu perfeito funcionamento que não é por ele sintetizado, deve ser obtido através de sua dieta. Um animal é, portanto dependente do suprimento destas substâncias que são conhecidas como essenciais, e ainda, a concentração destas substâncias irá determinar a qualidade do alimento.

Em ambientes aquáticos é sabido que a qualidade nutricional do alimento, em muito influencia o zooplâncton (Hessen 1992; Gulati & DeMott 1997). Alguns fatores são os responsáveis por interferir na qualidade do alimento para o zooplâncton: a digestibilidade (Porter 1975), toxicidade (Lampert 1981), formação de colônias (Lüring & Van Donk 1996), conteúdo de P (Hessen 1992; Gulati & DeMott 1997), conteúdo de ácidos graxos polinsaturados - PUFA (Brett & Muller-Navarra 1997). Dentre os potenciais parâmetros para a qualidade do alimento, o conteúdo de P e de determinados ácidos graxos, tem sido apontados como essenciais para a nutrição do zooplâncton.

Em muitos ambientes aquáticos é conhecida a limitação por algum elemento, geralmente nitrogênio ou fósforo (Elser & Hassett, 1994), que são por definição, elementos essenciais e só podem ser obtidos através da alimentação e não sintetizados. Este é um fato crucial porque a limitação por nutrientes pode interferir, por exemplo, na produção primária do ambiente. Outra questão a ser lembrada é que a obtenção de nutrientes pelos organismos também vai ser dependente desta disponibilidade de nutrientes no meio, e isto pode interferir de maneira direta sobre a estrutura das comunidades.

A disponibilidade de nutrientes no meio interfere nas proporções relativas destes nos organismos. Os produtores, por exemplo, apresentam maior variabilidade em sua composição estequiométrica quando comparados aos consumidores. Esta adaptação está relacionada à absorção diferenciada e estoque de nutrientes quando não há

limitação (Dodds, 2002). Sendo assim, o consumo destes produtores, mais ou menos nutritivos, tem interferências sobre os parâmetros do ciclo de vida dos consumidores. A relação entre o zooplâncton e o fitoplâncton neste contexto é fundamental, já que a transferência de energia para níveis tróficos superiores pode ser afetada pela qualidade do alimento que é consumido.

A questão da limitação bioquímica (ácidos graxos) não foi tratada de maneira direta, porém algumas observações com base na literatura existente foram possíveis e contribuíram para a análise da qualidade do alimento. Observou-se que as classes de algas desenvolveram-se de maneira diferente após a adição de nutrientes. O incremento de nutrientes provocou o aumento da qualidade do alimento, através do desenvolvimento de grupos de algas que são considerados como de boa qualidade nutricional, como as diatomáceas e as criptofíceas (Brett, 1997).

Foram também avaliadas as alterações nas comunidades zooplanctônicas fitoplanctônicas em função da adição de nutrientes. Os resultados obtidos nessa pesquisa mostraram que as principais alterações foram observadas na comunidade fitoplanctônica que apresentou um incremento no biovolume total nos mesocosmos enriquecidos.

O zooplâncton apresentou diferentes respostas nos grupos estudados. As densidades de rotíferos e copépodes não responderam significativamente ao enriquecimento dos mesocosmos. Enquanto que a densidade de cladóceros aumentou significativamente com a adição de nutrientes. Uma das razões relacionadas a estas respostas está na composição específica dos cladóceros. A dominância de espécies de filtradores maiores como *Simocephalus* e *Diaphanosoma* contribuiu para o incremento da biomassa deste grupo. Pudemos observar que quando correlacionada com a biomassa das algas, a biomassa dos cladóceros apresentou correlação negativa, o que indica que este grupo pode estar controlando o fitoplâncton, sendo eficiente na sua remoção. Assim, pode-se sugerir que a presença das espécies de cladóceros tenha sido favorecida e estes foram competitivamente mais bem

sucedidos. Segundo Urabe *et al.* (1997) a composição mineral do séston, através das microalgas, constitui num aspecto importante para sua qualidade nutricional. Estes autores observaram que conteúdo de P muito baixo no séston, leva a um baixo crescimento de cladóceros. Após a adição de nutrientes nos mesocosmos no presente estudo, as concentrações de P no séston foram elevadas, contribuindo para o crescimento dos cladóceros.

O desenvolvimento diferenciado de classes de algas após a adição de nutrientes é um fator importante a ser considerado. Apesar de não apresentarem limitação por P, na faixa do séston avaliada, as contribuições relativas de classes de algas consideradas de melhor qualidade nutricional foram observadas. A criptofíceas e euglenofíceas apresentaram maior contribuição relativa na fração 20 μm . Estas algas são conhecidas por apresentarem elevadas concentrações de ácidos graxos essenciais (DHA e EPA) que conferem a elas maior qualidade nutricional (Brett e Muller-Navarra, 1997; Muller-Navarra *et al.*, 2004). Assim, podemos dizer que a manipulação das concentrações de nutrientes e suas razões contribuíram para a qualidade do alimento para o zooplâncton, por possibilitarem o desenvolvimento destas algas. Os resultados da maior densidade e produção de ovos nos cladóceros é um indício deste aumento na qualidade nutricional (Sterner, 1993; Sterner *et al.*, 1993, Lurling & Van Donk, 1997; Schulz & Sterner, 1999).

Os resultados obtidos neste estudo mostram que a hipótese formulada foi rejeitada, uma vez que o aumento do estado trófico dos mesocosmos onde houve adição de nutrientes, não respondeu da maneira esperada. O aumento do estado trófico em ambientes aquáticos tende a favorecer o desenvolvimento, no zooplâncton, de organismos de pequeno porte, como ciclopóides e rotíferos, e, no fitoplâncton, o desenvolvimento de cianofíceas. Este aumento do biovolume de cianofíceas representaria uma queda na qualidade nutricional do alimento para o zooplâncton e seria responsável por alterações também na composição da comunidade zooplanctônica e na sua estrutura de tamanho. O desenvolvimento de cianofíceas foi

observado nos mesocosmos enriquecidos nas últimas semanas de experimento, mas ainda assim, não foi suficiente para que sobrepujasse a contribuição relativa das classes de algas que são consideradas de maior valor nutricional. Assim, de maneira geral, o aumento do estado trófico nos mesocosmos enriquecidos contribuiu de maneira significativa para o aumento da qualidade do alimento para o zooplâncton na lagoa Cabiúnas.

Conclusões

- A adição de nutrientes e a manipulação dos mesocosmos foi eficiente na manutenção das concentrações de N e P mais elevadas nos tratamentos e na manutenção da razão 5:1;
- A comunidade fitoplanctônica foi diretamente afetada pela adição de nutrientes, apresentando biovolume significativamente maior nos mesocosmos enriquecidos;
- Nos mesocosmos onde houve adição de nutrientes houve o desenvolvimento de classes de algas consideradas de maior valor nutritivo (Criptofíceas e Euglenofíceas);
- A comunidade zooplanctônica, no geral, não respondeu ao incremento de nutrientes. Exceto pelos cladóceros que mostram ser o grupo mais sensível ao enriquecimento;
- A biomassa de cladóceros e a produção de ovos foram significativamente maiores nos mesocosmos enriquecidos;
- A presença de cladóceros herbívoros grandes proporcionou maior habilidade deste grupo em controlar a comunidade fitoplanctônica;

- A razão C:P da fração do séston estudada mostrou-se abaixo do valor considerado limitante indicando que não houve limitação por P como era esperado;
- Apesar de não terem sido quantificados, a adição de nutrientes proporcionou o desenvolvimento de algas com maiores concentrações de EPA e DHA;
- O uso de mesocosmos mostrou-se uma ferramenta eficaz na manipulação de nutrientes e para o entendimento de processos que influenciam a qualidade do alimento para o zooplâncton;
- O estudo da qualidade do alimento para o zooplâncton requer uma abordagem onde sejam considerados os diferentes fatores que a rege, uma vez que estes são complementares e de complexa dissociação. Desta forma a investigação dos teores de PUFAs (Ácidos graxos polinsaturados) como indicadores da qualidade do alimento para o zooplâncton em conjunto com as concentrações de C, N e P deve ser considerada em estudos futuros.

Referências Bibliográficas

- Ahlgren, G., Gustafsson, I-B. & Boberg, M., 1992, Fatty-acid content and chemical composition of freshwater microalgae. *J. Phycol.*, 28: 37-50
- Ahlgren, G., Lundstedt, L., Brett, M. & Forsberg, C., 1990, Lipid composition and food quality of some freshwater phytoplankton for cladoceran zooplankters. *J. Plankton Res.*, 12: 809-818.
- Amarasinghe, P.B., Boersma, M. & Vijverberg, J. 1997. The effect of temperature, and food quantity and quality on the growth and development rates in laboratory-cultured copepods and cladocerans from Sri Lankan reservoir. *Hydrobiologia* 350:131-144.

- Andersen, T. & D. O. Hessen, 1991. Carbon, nitrogen and phosphorus content of freshwater zooplankton. *Limnology and Oceanography* 36: 807–814.
- Andersson, G.; Granéli, W.; Stenson, J. 1988. The influence of animals on phosphorus cycling in lakes ecosystems. *Hydrobiologia*, v. 170, p. 267-284.
- Arcifa, M. S. 1984. Zooplankton composition of ten reservoirs in Southern Brazil.. *Hydrobiologia*, v. 113, p. 137-145
- Attayde, J.L. & Bozelli, R.L. 1998. Limnology of Carapebus lagoon and the structure of its zooplankton community. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26:1397-1401.
- Bays, J.S. Crisman, T.L. 1983. Zooplankton and trophic state relationships in Florida lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1813-1819.
- Bec, A., Desvillettes C., Véra, A., Fontvieille, D. e Bourdier, G. 2003. Nutritional value of different food sources for the benthic Daphnidae *Simocephalus vetulus*: role of fatty acids. *Arch. Hydrobiol.* 156 2 145–163
- Becker, C. and M. Boersma. 2005. Differential effects of phosphorus and fatty acids on *Daphnia magna* growth and reproduction. *Limnology & Oceanography* 50(1): 388-397.
- Bini, L.M., Thomaz, S.M., Murphy, K.J. & Camargo, A.F.M. 1999. Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu reservoir, Brazil. *Hydrobiologia* 415:147-154.
- Blancher, E.C. 1984. Zooplankton trophic relationship in some north and central Florida lakes. *Hydrobiologia* 109: 251-263.
- Boersma, M., Shops, C. & Mccauley, E., 2001, Nutritional quality of seston for the freshwater herbivore *Daphnia galeata x hyalina*: biochemical versus mineral limitations. *Oecologia*, 129: 342-348.
- Bonecker, C.C.; Bonecker, S.L.C.; Bozelli, R.L.; Lansac-Tôha, F.A.; Machado Velho, L.F. 1996. Zooplankton composition under the influence of liquid wastes from a pulp mill in middle Doce River (Belo Oriente, MG, Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology (Arquivos de Biologia e Tecnologia)*, 39 (4):893-901.

- Bozelli, R. L. 1994. Zooplankton community density in relation to water fluctuation and inorganica turbidity in an Amazonian lake, Lago Batata, State of Pará, Brazil. *Amazoniana* (Kiel), Kiel, v. 13, n. 1/2, p. 17-32, 1994.
- Bozelli, R. L., 1998. The influence of bauxite tailings on the functional response of carbon incorporation rates of three species of tropical cladocerans. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 26: 1894-1897.
- Branco, C.W.C. & Senna, P.A.C. 1996. Phytoplankton composition, community structure and seasonal changes in a tropical reservoir (Paranoá Reservoir, Brazil). *Archiv fur Hydrobiologie* 81: 69-84.
- Branco, C.W.C.; Suzuki, B.K. & Attayde, J.L. 1998. Zooplankton community of a coastal lagoon subjected to antropogenic influences (Lagoa Imboacica, Macaé, RJ, Brazil). *Vehr Internat Verein Limnologie* 26 (3):1426-1429.
- Brett MT and Müller-Navarra DC. 1997. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic food web processes. *Freshwater Biology* 38: 483–500
- Brooks, J.L. 1969. Eutrophication and changes in the composition of the zooplankton. In G.A. Rohlich [ed] *Eutrophication: causes, consequences, correctives*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Burns, C. W., 1968, The relationship between body size of filter-feeding Cladocera and the maximum size of particles ingested. *Limnol. Oceanogr.*, 13: 675-678
- Burns, C. W. e Xu, Z. 1990. Utilization of colonial cyanobacterial and algae by freshwater calanoid copepods: survivorship and reproduction of adult *Boeckella* spp. *Arch. Hygrobiol.* 117: (3) 257-270.
- Canfield, D.E., Jr. and C.E. Watkins II. 1984. Relationships between zooplankton abundance and chlorophyll a concentrations in Florida lakes. *Journal of Freshwater Ecology* 2:335-344
- Carneiro, L.S.; Attayde, J.L. & Bozelli, R.L. 2005. Experimentos em mesocosmos: O caminho do meio. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, 34, 4-6.

- Carneiro, L.S. 2008. Efeito de peixes onívoros sobre a estrutura e estabilidade de cadeias tróficas aquáticas. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro Departamento de Ecologia, UFRJ, 143 p.
- Castilho, M. S. M.; Arcifa, M. S. 2007. Mesocosm experiment on the impact of invertebrate predation on zooplankton of a tropical lake. *Aquatic Ecology*, v. 41, p. 587-598.
- Conde-Porcuna J.M. (2000) Relative importance of competition with *Daphnia* (Cladocera) and nutrient limitation on *Anuraeopsis* (Rotifera) population dynamics in a laboratory study. *Freshwater Biology*, 44, 423–430.
- Cottigham, K.L.; Knight, S.; Carpenter, S.R.; Cole, J.J.; Pace, M.L.; Wagner, A.E. 1997. Response of phytoplankton and bacteria to nutrients and zooplankton: a mesocosm experiment. *Journal of Plankton Research*, v. 19, n. 8, p. 995-1010.
- Crossetti, L. O. ; Bicudo, C. E. M. 2005a. Effects of nutrient impoverishment on phytoplankton biomass: a mesocosms experimental approach in a shallow eutrophic reservoir (Garças Pond), São Paulo, southeast Brazil.. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 95-108.
- Crossetti, L. O. ; Bicudo, C. E. M. 2005b. Structural and functional phytoplankton responses to nutrient impoverishment in mesocosms laced in a shallow eutrophic reservoir (Garças Pond), São Paulo, Brasil. *Hydrobiologia*, Holanda, v. 541, p. 71-85.
- Dawidowicz, P. 1990. Effectiveness of phytoplankton control by large-bodied and small-bodied zooplankton. *Hydrobiologia* 200/201: 43-47.
- DeBernardi R. and Giussani G. 1990. Are blue-green algae a suitable food for zooplankton? An overview. *Hydrobiologia* 200/201: 29–41.
- De Lange, H. & Van Donk, E. 1997. Effects of UVB-irradiated algae on life history traits of *Daphnia pulex* *Freshwater Biology* Volume 38 Issue 3, Pages 711 - 720

- DeMott, W. R., and R. D. Gulati. 1999. Phosphorus limitation in *Daphnia*: evidence from a long term study of three hypereutrophic Dutch lakes. *Limnology and Oceanography* 44:1557–1564.
- DeMott, W. R. & Tessier, A. J. Stoichiometric constraints vs. algal defenses: Testing mechanisms of zooplankton food limitation. *Ecology* 83, 3426–3433 (2002).
- Dodds, W.K., Smith, V. H. and Lohman, K. 2002. Nitrogen and phosphorus relationships to benthic algal biomass in temperate streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59(5): 865–874
- Downing, J.A. 1997. Marine nitrogen:phosphorus stoichiometry and the global N:P cycle. *Biogeochemistry*, 37, 237–252.
- Elser J.J., Elser M.M., MacKay N.A. & Carpenter S.R. 1988. Zooplankton-mediated transitions between N- and P-limited algal growth. *Limnology and Oceanography*, 33, 1–14.
- Elser J.J., Carney H.J. and Goldman C.R. 1990. The zooplankton phytoplankton interface in lakes of contrasting trophic status – an experimental comparison. *Hydrobiologia* 200: 69–82.
- Elser, J.J. & Hasset, R.P. 1994. A stoichiometric analysis of the zooplankton-phytoplankton interaction in marine and freshwater ecosystems. *Nature*, 370 211-213.
- Elser JJ, Dobberfuhl D, MacKay NA and Schampel JH 1996. Organism size, life history, and N:P stoichiometry: towards unification of cellular and ecosystem processes. *Bioscience* 46:674–684
- Elser J.J. & Urabe J. 1999. The stoichiometry of consumer-driven nutrient recycling: Theory, observations, and consequences. *Ecology*, 80, 735–751.
- Elser, J. J., K. Hayakawa, and J. Urabe. 2001. Nutrient limitation reduced food quality for zooplankton: *Daphnia* response to seston phosphorus enrichment. *Ecology* 82:898–903

- Enrich-Prast A., Bozelli R.L., Esteves F.A. & Meirelles F.P. 2004. Lagoas costeiras da restinga de jurubatiba: descrição de suas variáveis limnológicas. In: Pesquisas de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação (eds. Rocha CFD, Esteves FA & Scarano FR). Rima Editora Rio de Janeiro, p. 376.
- Esteves, F.A. 1998. Fundamentos de Limnologia. 2a. ed. Interciência/Finep. 602 p
- Farjalla, V. F. ; Esteves, F. A. ; Faria, B. M. 2002. The relationship between DOC and planktonic bacteria in tropical coastal lagoons. Archiv fur Hydrobiologie, Stuttgart, v. 156, n. 1, p. 97-119,.
- Ferrão-Filho, A. S., Azevedo, S. M. F. O. & Demott, W. R. 2000. Effects of toxic and non-toxic cyanobacteria on the life history of tropical and temperate cladocerans. Freshwater Biol., 43: 1-19.
- Ferrão-Filho, A.S.; Fileto, C.; Lopes, N.P. e Arcifa, M.S. 2003 (a). Essential fatty acids and N and P-limited algae on the growth rate of tropical cladocerans. Freshwater Biology 48:759-767.
- Ferrão-Filho, A. S., Arcifa, M.S. e Fileto, C. 2003 (b). Resource limitation and food quality for cladocerans in a tropical Brazilian lake. Hydrobiologia 491: 201-210.
- Ferrão-Filho, A. e Azevedo, S.M.F.O. 2003. Effect of unicellular and colonial forms of toxic *Microcystis aeruginosa* from laboratory cultures and natural population on tropical cladocerans. Aquatic Ecology 37: 23-35.
- Fileto, C. ; Arcifa, M. S. ; Ferrão-Filho, A. S. ; Silva, L. H. S. 2004. Influence of phytoplankton fractions on growth and reproduction of tropical cladocerans. Aquatic Ecology, Holanda, v. 38, p. 503-514.
- Frost, P.C., Evans-White, M.A., Finkel, Z.V., Jensen, T.C. & Matzek, V. 2005. Are you what you eat? Physiological constraints on organismal stoichiometry in an elementally imbalanced world. Oikos, 109, 18–28.
- Fussman, G. 1996. The importance of crustacean zooplankton in structuring rotifer and

- phytoplankton communities: an enclosure study. *Journal of Plankton Research*, v. 18, n. 10, p. 1897-1915.
- Gaedke U. 1992. The size distribution of plankton biomass in a large lake and its seasonal variability. *Limnol. Oceanogr.* 37: 1202–1220.
- Gannon, J. E. & R. S. Stemberger. 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. *Trans. American. Microsc. Soc.*, v. 97, n. 1, pp. 16-35.
- Giani, A.; Boechat, I.G. 2000. Factors affecting biochemical composition of seston in an eutrophic reservoir (Pampulha Reservoir, Belo Horizonte, MG). *Revista Brasileira de Biologia*, v. 60, p. 63-71.
- Gliwicz ZM. 1990. Food thresholds and body size in cladocerans. *Nature* 343: 638–640
- Gliwicz, Z.M. & Guisande, C. 1992. Family planning in *Daphnia*: resistance to starvation in offspring born to mothers grown at different food levels. *Oecologia* 91: 463-468.
- Golterman, H. L., Climo, R.S. & Ohnstad, M.A.M. 1978. Methods for Physical and Chemical Analysis of Freshwaters. I.B.P. Handbook (8). Blackwell Scientifica Publications, Oxford.
- Goulden, C.E., Henry, L & Berrigan, D. 1987. Egg size, postembryonic yolk and survival ability. *Oecologia* 72: 28-31.
- Guariento R.D. (2008). Efeito da adição de recursos e da configuração da teia trófica na biomassa e estequiometria (C:N:P) da comunidade periférica de uma lagoa costeira tropical, Lagoa Cabiúnas – Macaé, RJ. In: Departamento de Ecologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 43p.
- Gulati, R. D. 1983. Zooplankton and its grazing as indicators of trophic status in Dutch lakes. *Environmental Monitoring and Assessment* 3: 343-354.
- Gulati, R. D., and W. R. DeMott. 1997. The role of food quality for zooplankton: remarks on the state-of-art, perspectives and priorities. *Freshwater Biology* 38:753–768.

- Hall, S.R.; Leibold, M.A.; Lytle D.A. & Smith, V.H. 2004. Stoichiometry and planktonic grazer composition over gradients of light, nutrients and predation risk. *Ecology*, 85(8), 2291–2301.
- Hanson, J. M. e Peters, R.H. 1984. Empirical prediction of zooplankton and profundal macrobenthos biomass in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 439-445.
- Hansson L.A. 1992. The role of food-chain composition and nutrient availability in shaping algal biomass development. *Ecology*, 73, 241-247.
- Hassett RP, Cardinale B, Stabler LB and Elser JJ. 1997. Ecological stoichiometry of N and P in pelagic ecosystems: comparison of lakes and oceans with emphasis on the zooplankton phytoplankton interaction. *Limnol Oceanogr* 42: 648–662
- Harrison, P. J., Thompson, P. A., Calderwood, G. S., 1990. Effects of nutrient and light limitation on the biochemical composition of phytoplankton. *Journal of Applied Phycology* 2: 45–56.
- Hart, R.C. 1992. Experimental studies on food and suspended sediment effects on growth and reproduction of six planktonic cladocerans. *Journal of Plankton Research* 14, 1425-1448.
- Hayes, F. R. 1957. On the variation in bottom fauna and fish yield in relation to trophic levels and dimensions. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 14: 1-32.
- Hecky, R.E., Campbell, P. & Hendzel, L.L. 1993. The stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorus in particulate matter of lakes and oceans. *Limnology and Oceanography*, 39:709-724.
- Hessen, D.O., Andersen, T. and Lyche, A. 1989. Differential grazing and resource utilisation of zooplankton in a humic lake. *Environ. Int.* 20: 67-76.
- Hessen D.O. 1990. Carbon, nitrogen and phosphorus status in *Daphnia* at varying food conditions. *J Plankton Res* 12: 1239–1249

- Hessen, D.O., Andersen, T. and Lyche, A. 1990. Carbon metabolism in a humic lake; pool sizes and cycling through zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 34: 84-99.
- Hessen D.O. 1992. Nutrient element limitation of zooplankton production. *Am. Nat.* 140: 799–814.
- Hessen, D.O. e Van Donk E. 1993 Morphological changes in *Scenedesmus* induced by substances released from *Daphnia*. *Arch. Hydrobiol.*, 127, 129-140.
- Hessen, D.O. Food webs and carbon cycling in humic lakes. 1998. In: Hessen, D.O. and Tranvik, L. (Eds.): *Aquatic Humic Substances; Ecology and Biogeochemistry*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Hillebrand, H., DuÈrselen, C.D., Kischtel, D., Pollingher, U. & Zohary, T. 1999. Biovolume calculations for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.*, 35, 403-424.
- Infante, A. & Abella, S.E.B. 1985. Inhibition of *Daphnia* by *Oscillatoria* i Lake Washington. *Limnol. Oceanogr.* 30(5): 1046-1052.
- Jeffrey, S.W. 2001. Looking South: Managing Technology, Opportunities and the Global Environment Australian Academy of Technological Sciences and Engineering Academy Symposium.
- Jürgens, K.; Jeppesen, E. 2000. The impact of metazooplankton on the structure of the microbial food web in a shallow, hypertrophic lake. *Journal of Plankton Research*, v. 22, n. 6, p. 1047-1070.
- Kozłowsky-Suzuki, B.; Branco, C. W. C.; Bozelli, R. L. 1998. Comparison of the composition and the temporal variation of the zooplanktonic community of two Brazilian coastal lagoons. *Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology*, v. 26, p. 1487-1490.
- Kozłowsky-Suzuki, B.; Bozelli, R. L. 2002. Experimental evidence of the effect of nutrient enrichment on the zooplankton in a Brazilian coastal lagoon. *Brazilian Journal of Biology*, v. 62, n. 4, p. 835-846.

- Lampert, W. 1981. Inhibitory and Toxic Effects of Blue-green Algae on *Daphnia*. Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. 66: 285-298.
- Lampert W 1987. Feeding and nutrition in *Daphnia*. In: Peters RH and De Bernardi R (ed.) *Daphnia*. Istituto Italiano di Idrobiologia, Verbania Pallanza, pp. 143–192
- Lampert, W., Rothhaupt, K. O.; von Elert, E. 1994. Chemical Induction of Colony Formation in a Green Alga (*Scenedesmus acutus*) by Grazers (*Daphnia*). Limnology & Oceanography, 39 (7) 1543-1550.
- Lürling, M. & Van Donk, E. 1996. Zooplankton-induced unicell-colony transformation in *Scenedesmus acutus* and its effect on growth of herbivore *Daphnia*. Oecologia 108: 432-437.
- Lürling, M. & E. Van Donk, 1997. Morphological changes in *Scenedesmus* induced by infochemicals released in situ from zooplankton grazers. Limnology & Oceanography 42: 783– 788.
- Lürling, M. e Van Donk, E. 2000. Grazer-induced colony formation in *Scenedesmus*: are there costs being colonial? Oikos 88: 111-118.
- Lyche A.; Andersen, T.; Christoffersen, K.; Hessen, D.O.; Hansen, P.H.B; Klysner, A. 1996a. Mesocosm tracer studies. 1. Zooplankton as sources and sinks in the pelagic phosphorus cycle of a mesotrophic lake. Limnology and Oceanography, v. 41, n. 3, p. 460-474.
- Lyche A.; Andersen, T.; Christoffersen, K.; Hessen, D.O.; Hansen, P.H.B; Klysner, A. 1996b. Mesocosm tracer studies. 2. The fate of primary production and the role of consumers in the pelagic carbon cycle of mesotrophic lake. Limnology and Oceanography, v. 41, n. 3, p. 475-487.
- Macedo, C. F. ; Pinto-Coelho, R.M. 2001. Nutritional status response of *Daphnia laevis* and *Moina micrura* from a tropical reservoir to different algal diets: *Scenedesmus quadricauda* and *Ankistrodemsus gracilis*. Revista Brasileira de Biologia, São Carlos, v. 61, n. 4, p. 555-562.

- Main T, Dobberfuhl D and Elser JJ. 1997. N:P stoichiometry and ontogeny in crustacean zooplankton: a test of the growth rate hypothesis. *Limnol Oceanogr* 42: 1474–1478
- Margalef, R. 1983. *Limnologia*. Barcelona. Omega (Ed) 1009p.
- Martinez, G. 2000. Conducta alimentaria de *Daphnia ambigua* Scourfield 1947, *Moina micrura* Kurz 1874 y *Ceriodaphnia dubia* Richard 1895 (Cladocera) frente a un gradiente de concentración de alimento. *Rev. Chil. Hist. Nat*, 2000
- Matsumura-Tundisi, T., Leitão, S. N., Aghena, L. S. & Miyahara, J., 1990, Eutrofização da represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de Rotifera. *Rev. Brasil. Biol.*, 50(4): 923-935.
- McCauley E, Kalff J. 1981. Empirical relationships between phytoplankton and zooplankton biomass in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 458-463.
- Medina-Sánchez, J.M; Villar-Argaiz, M.; Carrilo, P. 2004. Neither with nor without you: a complex algal control on bacterioplankton in a high mountain lake. *Limnology and Oceanography*, v. 49, n. 5, p. 1722-1733,
- Melo, S. 2001. Fitoplâncton da Lagoa Imboassica (Marcaé-RJ, Brasil): flora, estrutura de comunidade e variações espaciais e temporais. Tese de Doutorado. UFRJ/PPGE. 153pp.
- Müller-Navarra D. 1995. Evidence that a highly unsaturated fatty acid limits *Daphnia* growth in nature. *Arch Hydrobiol* 132: 297– 307
- Müller-Navarra, D. C., M. T. Brett, A. M. Liston & C. R. Goldman, 2000. A highly unsaturated fatty acid predicts carbon transfer between primary producers and consumers, *Nature* 403: 74–77.
- Müller-Navarra, D. C., Brett, M. T., Park, S., Chandra¹, S., Ballantyne, A. P. Zorita E. & Goldman, C. R. 2004. Unsaturated fatty acid content in seston and trophodynamic coupling in lakes. *Nature* 427: 69-72.

- Naselli Flores, L. & Barone, R. 1994. Relationship between trophic state and plankton community structure in 21 Sicilian dam reservoirs. *Hydrobiologia* 275/276: 197-205.
- Odum, E.P. The mesocosm. *BioScience*, v. 34, n. 9, p. 558-562, 1984.
- Odum, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988
- Olsen, Y., Jensen A., Reinertsen H., Bdrsheim, K.Y. & Heldal, M.. 1986. Dependence of the rate of release of phosphorus by zooplankton on the P: C ratio in the food supply, as calculated by a recycling model. *Limnology and Oceanography*. 31: 34-44
- Panosso R.F., Attayde J.L. & Muehe D. 1998. Morfometria das lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus: implicações para seu funcionamento e manejo. In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. (ed. Esteves FA). Nupem/UFRJ Rio de Janeiro, p. 464.
- Panosso, R., Carlsson, P., Kozlowsky-Suzuki, B. Azevedo, S.M.F.O, e Granéli, E. 2003. Effect of grazing by a neotropical copepod, *Notodiaptomus*, on a natural cyanobacterial assemblage and on toxic and non-toxic cyanobacterial strains. *Journal of Plankton Research* 25: 1169-1175.
- Petrucio M.M. 1998. Caracterização das lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus a partir da temperatura, salinidade, condutividade, alcalinidade, O₂ dissolvido, pH, transparência e material em suspensão. In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. (ed. Esteves FA). Nupem/UFRJ Rio de Janeiro, p. 464.
- Pinto-Coelho, R.M. 1998. Effects of eutrophication on seasonal patterns of mesozooplankton in a tropical reservoir: a 4-year study in Pampulha Lake, Brazil. *Freshwater Biology* 40: 159-173.
- Pinto-Coelho, R.M.; Bezerra Neto, J. F. ; Giani, A.; Macedo, C. F. ; Figueredo, C. C. 2003 . The collapse of a *Daphnia laevis* (Birge, 1878) population in Pampulha reservoir, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 53-70.

- Pinto-Coelho, R.M; Giani, A.; Bezerra Neto, J. F.; Morais Jr, C.A. 2005. The nutritional status of zooplankton in a tropical reservoir: effects of food quality and community structure. *Revista Brasileira de Biologia*, Sao Paulo, v. 65, n. 2, p. 313-324.
- Pitta, P.; Giannakourou, A.; Divanach, P.; Kentouri, M. 1998. Planktonic food web in marine mesocosms in the Eastern Mediterranean: bottom-up or top-down regulation? *Hydrobiologia*, v. 363, p. 97-105.
- Porter, K.G., 1975. Viable gut passage of gelatinous green algae ingested by *Daphnia*. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19:2840-2850.
- Porter, K.G. e Orcutt, J.D.Jr. 1980. Nutritional adequacy, manageability and toxicity as factors that determine the food quality of green and blue-green algae for *Daphnia*. *Evolution and Ecology of Zooplankton communities* (ed C. Kerfoot), pp 268-281. University of New England Press, New Hampshire.
- Ravet, J. L., Brett, M. T. & Muñler-Navarra, D. C. 2003. A test of the role of polyunsaturated fatty acids in phytoplankton food quality for *Daphnia* using liposome supplementation. *Limnol. Oceanogr.* 48, 1938–1947.
- Ravet, J.L. & Brett, M.T. 2006. Phytoplankton essential fatty acid and phosphorus content constraints on *Daphnia* somatic growth and reproduction. *Limnology and Oceanography*, 51, 2438–2452.
- Reynolds, C.S. 1996. Phosphorus recycling in lakes: evidence from large limnetic enclosures for the importance of shallow sediments. *Freshwater Biology*, v. 35, p. 623-645.
- Reynolds, C.S. 2006. *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press. 535 p.
- Rocha, A.M. 2002. Composição, abundância e estrutura da comunidade zooplanctônica de uma lagoa costeira do Norte-Fluminense (lagoa Imboassica, Macaé). *Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro*.

- Roche, K.F.; Sampaio, E.V.; Teixeira, D.; Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J.G.; Dumont, H.J. 1993. Impact of *Holoshestes heterodon* Eigenmann (Pisces: Characidae) on the plankton community of a subtropical reservoir: the importance of predation by Chaoborus larvae. *Hydrobiologia*, v. 254, p. 7-20.
- Roche, K.F.; Rocha, O.; Espíndola, E.L.G. 2005. Impacto do Acará, *Geophagus brasiliensis* (Cichlidae), no plâncton da Represa do Broa: um experimento usando mesocosmos. In: ROCHE, K.F.; ROCHA, O. (Org.). *Ecologia trófica de peixes (com ênfase na planctivoria em ambientes lênticos de água doce no Brasil)*. RiMa, São Carlos, p. 93-105.
- Romanowsky, Y.E. 1985. Food limitation and life-history strategies in cladoceran crustaceans. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 21: 363-372.
- Sarnelle, O. 1993. Herbivore effects on phytoplankton succession in a eutrophic lake. *Ecological Monographs* 63:129-149.
- Schindler, J. E. 1971. Food quality and zooplankton nutrition. *The Journal of Animal Ecology*. Vol. 40 (3): 589-595.
- Schindler, D. W. 1987. Detecting ecosystem response to anthropogenic stress. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44,6-25
- Schulz, K.L. and R.W. Sterner. 1999. Phytoplankton phosphorus limitation and food quality for *Bosmina*. *Limnology and Oceanography* 44(6): 1549-1556
- Sendacz, S. 1985. *Limnologia de Reservatórios do Sudeste do Estado de São Paulo*. VIII. Zooplâncton. *Boletim do Instituto de Pesca* 12 (1): 187-207.
- Sommer, U.; Sommer, F.; Santer, B.; Jamieson, C.; Boersma, M.; Becker, C.; Hansen, T. 2001. Complementary impact of copepods and cladocerans on phytoplankton. *Ecology Letters*, v. 4, p. 545-550.
- Steltzer, R.S. & Lamberti, G.A. 2002. Ecological Stoichiometry in Running Waters: Periphyton Chemical Composition and Snail Growth. *Ecology*, 83 (4) 1039-1051.

- Sterza, J. M. ; Suzuki, M. S. ; Taouil, A. 2002. Resposta do zooplâncton a adição de nutrientes inorgânicos (N e P) em mesocosmos na lagoa do Açú, Campos dos Goytacazes/São João da Barra, RJ.. *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 14, n. 2, p. 87-94.
- Stephen D., Balayla D.M., Becares E., Collings S.E., Fernandez-Alaez C., Fernandez-Alaez M., Ferriol C., Garcia P., Goma J., Gyllstrom M., Hansson L.A., Hietala J., Kairesalo T., Miracle M.R., Romo S., Rueda J., Stahl-Delbanco A., Svensson M., Vakkilainen K., Valentin M., Van de Bund W.J., Van Donk E., Vicente E., Villena M.J. & Moss B. (2004). Continental-scale patterns of nutrient and fish effects on shallow lakes: introduction to a pan-European mesocosm experiment. *Freshwater Biology*, 49, 1517-1524
- Sterner, RW. 1993. *Daphnia* growth on varying quality of *Scenedesmus*: Mineral limitation of zooplankton. *Ecology* 74: 2351–2360
- Sterner, RW, Hagemeier DD, Smith WL and Smith RF. 1993. Phytoplankton nutrient limitation and food quality for *Daphnia*. *Limnology and Oceanography* 38: 857–871
- Sterner, R. W. & D. O. Hessen, 1994. Algal nutrient limitation and the nutrition of aquatic herbivores. *Annual Review of Ecology and Systematics* 25: 1–29.
- Sterner RW, Elser JJ, Fee EJ, Guildford SJ and Chrzanowski TH. 1997. The light:nutrient ratio in lakes: the balance of energy and materials affects ecosystem structure and process. *American Naturalist* 150: 663–684
- Sterner, R. & Schulz, K.L. 1998. Zooplankton nutrition: recent progress and a reality check. *Aquatic Ecology* 32:261-279.
- Sterner, R.W., and J. J. Elser. 2002. *Ecological stoichiometry*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Souza, W., Attayde, J. L.; Rocha, E.; Eskinazi-Sant'Anna. 2008. The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made

lakes in semi-arid northeastern Brazil. *Journal of Plankton Research*, v. 30, p. 699-708.

Tessier, A.J., Henry, L.L., Goulden, C.E. & Durand, M. W. 1983. Starvation in *Daphnia*: Energy Reserves and Reproductive Allocation. *Limnology and Oceanography*, 28 (4): 667-676.

Thomaz, S.M. & Esteves, F.A. 1997. Bacterial dynamics in periphyton from different regions of a tropical coastal lagoon. *Arch. Hydrobiol.* 139 (4):495-507.

Torres-Orozco, R. E. & Zanatta, S.A. 1998. Species composition, abundance and distribution of zooplankton in a tropical eutrophic lake: Lake Catemaco, México. *Rev. Biol. Trop.*, 46 (2): 285-296.

Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. 1992. Eutrophication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives. In: *Algae and environment: a general approach*. Marino, M.C. (ed) São Paulo. Sociedade Brasileira de Ficologia. São Paulo, 1 – 33p.

Twombly, S., Clancy N. & Burns, C.W 1998. . Life history consequences of food quality in the freshwater copepod *Boeckella triarticulata*. *Ecology* 79: 1711-1724.

Urabe J and Watanabe Y. 1992. Possibility of N or P limitation for planktonic cladocerans: an experimental test. *Limnology and Oceanography* 37: 244–251

Urabe J. and Sterner R.W. 1996. Regulation of herbivore growth by the balance of light and nutrients. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93: 8465–8469.

Urabe, J., J. Clasen, and R. W. Sterner. 1997. Phosphorus limitation of *Daphnia* growth: is it real? *Limnol.Oceanogr.*, 42: 4136-1443.

Urabe, J., J. J. Elser, M. Kyle, T. Sekino and Z. Kawabata. 2002. Herbivorous animals can mitigate unfavourable ratios of energy and material supplies by enhancing nutrient cycling. *Ecology Letters*, 5:177-185.

Utermohl, H., 1958, Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.*, 9: 1-38.

- Vakkilainen K., Kairesalo T., Hietala J., Balayla D.M., Becares E., Van de Bund W.J., Van Donk E., Fernandez-Alaez M., Gyllstrom M., Hansson L.A., Miracle M.R., Moss B., Romo S., Rueda J. & Stephen D. 2004. Response of zooplankton to nutrient enrichment and fish in shallow lakes: a pan-European mesocosm experiment. *Freshwater Biology*, 49,1619-1632.
- Von Elert, E. 2002. Determination of limiting polyunsaturated fatty acids in *Daphnia galeata* using a new method of enrich food algae with single fatty acids *Limnology and Oceanography* 47 (6) 1764-1773.
- Wacker A. and von Elert E. 2001. Polyunsaturated fatty acids: evidence for non-substitutable biochemical resources in *Daphnia galeata*. *Ecology* 82: 2507–2520.
- Weithoff, G.; Lorke, A.; Walz, N. 2000. Effects of water-column mixing on bacteria, phytoplankton, and rotifers under different levels of herbivory in a shallow eutrophic lake. *Oecologia*, v. 125, p. 91-100.
- Wetzel, R. & Likens, G. E., 1991, *Limnological analyses*. Springer Verlag, 391p.
- Wetzel, R.G. 1993. *Limnologia*. 919p
- White, T. C. R. 1993. *The inadequate environment: nitrogen and the abundance of animals*. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- Yang, Z.; Konh, F.; Shi, X. e Cao H. 2006. Morphological response of *Microcystis aeruginosa* to grazing by different sources of zooplankton. *Hydrobiologia* 563:225-230.

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](#)