

**CARLA ROLIM FERRARI**

**Avaliação de efeitos ambientais de efluentes radioativos de mineração de urânio sobre as características físicas, químicas e diversidade da Comunidade Zooplantônica na Unidade de Tratamento de Minérios, Represa das Antas e Represa Bortolan, Poços de Caldas (M.G)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/Instituto Butantan/IPT, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

São Paulo  
2010

**CARLA ROLIM FERRARI**

**Avaliação de efeitos ambientais de efluentes radioativos de mineração de urânio sobre as características físicas, químicas e diversidade da Comunidade Zooplantônica na Unidade de Tratamento de Minérios, Represa das Antas e Represa Bortolan, Poços de Caldas (M.G)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/Instituto Butantan/IPT, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Área de Concentração: Biotecnologia

Orientadora:  
Dra. Heliana de Azevedo

São Paulo  
2010

DADOS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
Serviço de Biblioteca e Informação Biomédica do  
Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo

© reprodução total

Ferrari, Carla Rolim.

Avaliação de efeitos ambientais de efluentes radioativos de mineração de urânio sobre as características físicas, químicas e diversidade da Comunidade Zooplancônica na Unidade de Tratamento de Minérios, Represa das Antas e Represa Bortolan, Poços de Caldas, (M.G) / Carla Rolim Ferrari. - São Paulo, 2010.

Orientador: Heliana de Azevedo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Ciências Biomédicas. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/IPT/Instituto Butantan. Área de concentração: Biotecnologia. Linha de pesquisa: Avaliação de impacto ambiental, ecologia da Comunidade Zooplancônica e ecossistemas aquáticos.

Versão do título para o inglês: Evaluation of environmental effects of uranium mining's radioactive effluents on physical and chemical characteristics and diversity of the Zooplanktonic Community in the Ore Treatment Unit, Antas Dam and Bortolan Dam, Poços de Caldas (MG).

Descritores: 1. Comunidade Zooplancônica 2. Mina de urânio 3. Efluentes ácidos 4. Variáveis físicas e químicas 5. Represa das Antas 6. Represa Bortolan I. Azevedo, Heliana de II. Universidade de São Paulo. Instituto de Ciências Biomédicas. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/IPT/Instituto Butantan III. Título.

ICB/SBIB0200/2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS

---

Candidato(a): Carla Rolim Ferrari.

Título da Dissertação: Avaliação de efeitos ambientais de efluentes radioativos de mineração de urânio sobre as características físicas, químicas e diversidade da Comunidade Zooplânctônica na Unidade de Tratamento de Minérios, Represa das Antas e Represa Bortolan, Poços de Caldas, (M.G).

Orientador(a): Heliana de Azevedo.

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa da **Dissertação de Mestrado,**  
em sessão pública realizada a ...../...../.....,

**Aprovado(a)**       **Reprovado(a)**

Examinador(a): Assinatura: .....  
Nome: .....  
Instituição: .....

Examinador(a): Assinatura: .....  
Nome: .....  
Instituição: .....

Presidente: Assinatura: .....  
Nome: .....  
Instituição: .....

*Dedico, a minha mãe Evany, pelo exemplo de vida me mostrando que tudo é possível com fé, perseverança e força de vontade, a tia Cecília, minha irmã Renata e meu namorado Gustavo, por fazerem parte da minha vida. Pessoas especiais que eu amo muito!!!*

## *Agradecimentos*

- Agradeço primeiro a Deus, pela vida.*
  - A Dra. Heliana de Azevedo pela orientação e oportunidade oferecida para o desenvolvimento desta dissertação e especialmente pela confiança, estímulo e auxílio na interpretação e discussão dos resultados.*
  - A Profa. Dra. Maria José dos Santos Wisniewski, primeiramente por ter me iniciado na pesquisa, pela amizade, atenção e auxílio na discussão dos resultados.*
  - Ao Prof. Dr. Célio Wisniewski pelo auxílio na geração dos dados referente à análise estatística deste trabalho.*
  - Aos técnicos, Cláudio Vitor Roque e Armando Luís Bruschi do Laboratório de Radioecologia da CNEN, por terem me auxiliado nas análises laboratoriais e na realização das coletas, sendo de suma importância para os resultados deste trabalho.*
  - As minhas colegas de laboratório Michelle Burato de Campos e Leilane Barbosa Ronqui pela ajuda nas coletas e nas análises laboratoriais.*
  - A minha colega e grande amiga Eva Mariano por me ajudar lavando e autoclavando todas as vidrarias utilizadas na pesquisa.*
  - Ao Dr. Marcos Roberto Lopes do Nascimento pela realização das análises químicas e a todos os técnicos de seu laboratório.*
  - Ao colega de trabalho Heber Luiz Caponi Alberti pela elaboração do mapa.*
- A todos os funcionários da CNEN que participaram deste trabalho pela colaboração e ajuda.*
- A minha querida mãe Evany que sempre acreditou e esteve ao meu lado em todos os momentos de nervosismo, incerteza, medo, insegurança me apoiando e me dando forças para seguir em frente.*

- *Agradeço ao meu namorado Gustavo pela paciência, apoio, carinho e compreensão.*

-*Agradeço a tia Cecília e a minha irmã Renata por estarem sempre presentes em todos os momentos da minha vida.*

-*Agradeço também a Dani, ao Renato e a querida Anna Clara.*

-*Agradeço a minha querida amiga Lúcia Domingues, por estar sempre ao meu lado, me confortando e incentivando a seguir sempre em frente, apesar de todos os obstáculos.*

- *A CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear pela infra-estrutura oferecida para realização deste trabalho.*

- *A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais-FAPEMIG, pelos recursos financeiros concedidos.*

*“Na vida tudo tem seu apogeu e seu declínio...É natural que seja assim; todavia, quando tudo parece convergir para o que supomos o fim, eis que a vida resurge triunfante e bela...Novas folhas, novas flores, na indefinida benção do recomeço!!!”*

*Chico Xavier*



## RESUMO

FERRARI, C. R. **Avaliação de efeitos ambientais de efluentes radioativos de mineração de urânio sobre as características físicas, químicas e diversidade da Comunidade Zooplancônica na Unidade de Tratamento de Minérios, Represa das Antas e Represa Bortolan, Poços de Caldas (M.G).** 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

A importância da mineração para a economia de um país é evidente. Além do impacto econômico e da geração de empregos, as atividades de mineração brasileira, tem contribuído também para o aumento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de alguns municípios, onde se situam importantes minas brasileiras. Entretanto, além da importância econômica e social, o processo de expansão e continuação dessas atividades no Brasil e no mundo, depende do incentivo e do compromisso das grandes empresas mineradoras com a preservação e recuperação do ambiente explorado. Em relação às preocupações frente aos impactos causados pela exploração mineral, a questão dos recursos hídricos é, com frequência, um dos pontos de conflitos mais óbvios no aspecto da mineração e da sociedade. Nesse contexto, insere-se o Planalto de Poços de Caldas caracterizado por apresentar anomalias radioativas naturais, associada a rochas vulcânicas e depósitos de minerais de urânio. Nesta região localiza-se a Mina de Urânio Osamu Utsumi, a qual se encontra nas dependências do Complexo Unidade de Tratamento de Minérios (UTM/INB), constituindo-se na primeira mina de extração e produção de concentrado de urânio a operar no Brasil. Na UTM/INB efluentes radioativos são gerados por drenagem ácida de mina, os quais são tratados por processos químicos e, posteriormente, lançados na represa das Antas situada a montante da Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas. A represa Bortolan também localizada nessa mesma Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas porém a jusante desta, recebe maior influência da malha urbana de Poços de Caldas. Assim, devido à falta de estudos científicos sobre a comunidade zooplancônica em regiões que sofrem influência de mineração de urânio, o objetivo geral do presente estudo foi analisar a diversidade da comunidade zooplancônica, bem como realizar a caracterização física e química da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, visando avaliar efeitos ambientais causados pelo lançamento de efluentes procedentes de mina de urânio. O

estudo dos organismos zooplanctônicos em ambientes extremos (UTM/INB), bem como em ambientes que sofrem influência de mineração de urânio (represa das Antas e Bortolan), é de grande importância na avaliação do efeito de efluentes radioativos na composição, riqueza e densidade de espécies dessa comunidade. Com base nos resultados obtidos, diferenças estatísticas foram verificadas em relação às condições físicas, químicas e a comunidade zooplanctônica na comparação entre os três ambientes estudados. A UTM/INB foi caracterizada como um ambiente extremo, uma vez que as condições químicas da água mostraram-se não favoráveis ao desenvolvimento das espécies zooplanctônicas. Já a represa das Antas apresentou condições ambientais intermediárias entre a UTM/INB e a represa Bortolan. Nessa represa, as condições químicas da água em outubro de 2008 e julho de 2009, estiveram relacionadas ao impacto da mineradora (UTM/INB), que provavelmente liberou o efluente tratado em condições inadequadas. Por outro lado, na represa Bortolan as maiores concentrações de nutrientes e clorofila *a* associadas a baixos valores de condutividade elétrica, dureza, sulfato, fluoreto explicaram a maior densidade e portanto, a maior diversidade de espécies zooplanctônicas nesse ambiente, quando comparado a UTM/INB e a represa das Antas.

**Palavras-chave:** Comunidade Zooplanctônica. Mina de urânio. Efluentes ácidos. Variáveis físicas e químicas. UTM/INB. Represa das Antas. Represa Bortolan.

## ABSTRACT

FERRARI, C. R. **Evaluation of environmental effects of uranium mining's radioactive effluents on physical and chemical characteristics and diversity of the Zooplanktonic Community in the Ore Treatment Unit, Antas Dam and Bortolan Dam, Poços de Caldas (MG).** 2010. 132 p. Master Thesis (Biotechnology) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

The importance of the mining industry on the country's economy is evident. In addition to the economic impact and job generation, Brazilian mining activities have contributed to the increase of the Human Development Index (HDI) in some municipalities, where important Brazilian mines are located. However, besides its economic and social importance, the process of expansion and continuity of these activities in Brazil and worldwide depends on large mining companies' incentives and commitment to preservation and restoration of explored environments. Related to concerns over the impacts caused by mineral exploration, the question of water resources is frequently one of the most obvious conflicts between mining and society's aspects. The Poços de Caldas Plateau can be introduced in this context, once it presents natural radioactive anomalies associated to volcanic rocks and uranium ore deposits. Situated in this region, the Osamu Utsumi Uranium Mine is located in the Ore Treatment Unit Complex properties (UTM/INB), being the first extraction and production mine of uranium concentrate to operate in Brazil. In the UTM/INB, radioactive effluents are generated by the mine's acid drainage, treated by chemical processes and, posteriorly, discharged on the Antas Dam, located upstream of the Ribeirão das Antas hydrographical sub-basin. The Bortolan Dam, located downstream of the Ribeirão das Antas hydrographical sub-basin, suffers greater influence from the urban area of Poços de Caldas. Due to the lack of scientific studies on zooplanktonic communities found in regions under uranium mining influence, the general objective of the current study was to analyse the zooplanktonic community's diversity, as well as to perform the physical and chemical characterizations of UTM/INB and Antas and Bortolan Dams, seeking to evaluate environmental effects caused by the discharge of effluents from the uranium mine. The study of zooplanktonic organisms in extreme environments (UTM/INB), as well as in environments under the influence of uranium mining (Antas and Bortolan Dams), is of great importance when evaluating the effects of radioactive effluents on the constitution,

richness and density of species of this community. Thus, based on the results obtained in the current study, statistical differences regarding the physical and chemical conditions and the zooplanktonic community were verified under comparison among the three environments studied. The UTM/IBM was characterized as an extreme environment, once the water's chemical conditions were not favorable to the development of zooplanktonic species, while the Antas Dam presented intermediate environmental conditions between UTM/INB and Bortolan Dam. In this dam, the water's chemical conditions in October 2008 and July 2009 were associated to the impact of the mining company (UTM/INB), which has probably discharged the treated effluent in inadequate conditions. On the other hand, the highest concentrations of nutrients and chlorophyll *a*, associated to low values of electric conductivity, hardness, sulphate and fluoride found in the Bortolan Dam have justified the higher density and thus, the greater diversity of zooplanktonic species in the environment, when compared to UTM/INB and Antas Dam.

**Key words:** Zooplanktonic Community. Uranium mine. Acid effluents. Physical and chemical variables. UTM/INB. Antas Dam. Bortolan Dam.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Localização dos pontos de coleta na represa das Antas (A1, A2, A3 e A4), represa Bortolan (B1e B2) e na UTM-INB (CM)..... 35
- Figura 2.** Índice pluviométrico (mm) registrados na estação meterológica localizada próximo a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, no período de julho de 2008 a julho de 2009... ..... 42
- Figura 3.** Valores de temperatura mínima e máxima do ar (°C) registrados na estação meterológica localizada próxima a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, no período de julho de 2008 a julho de 2009. .... 43
- Figura 4.** Variações da velocidade do vento ( $m.s^{-1}$ ) registradas na estação meterológica localizada próxima a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, no período de julho de 2008 a julho de 2009. .... 43
- Figura 5.** Variação dos valores de pH nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 45
- Figura 6.** Variação dos valores de temperatura da água (°C) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 46
- Figura 7.** Variação dos valores da concentração de condutividade elétrica ( $\mu S cm^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009..... 47
- Figura 8.** Variação da profundidade e transparência da água (secchi) em metros nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009..... 48
- Figura 9.** Variação dos valores da concentração de oxigênio dissolvido ( $mg L^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009..... 49
- Figura 10.** Variação dos valores de dureza da água ( $mg L^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 50
- Figura 11.** Variação dos valores de fluoreto ( $mg L^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 51
- Figura 12.** Variação dos valores de sulfato ( $mg L^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 52
- Figura 13.** Variação dos valores da concentração de sólidos em suspensão fração orgânica e inorgânica ( $mg L^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 53

<b>Figura 14.</b> Variação dos valores da concentração de fósforo total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.....	55
<b>Figura 15.</b> Valores da concentração de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.....	56
<b>Figura 16.</b> Valores da concentração de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.....	57
<b>Figura 17.</b> Valores da concentração de silicato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. ...	58
<b>Figura 18.</b> Valores da concentração de nitrogênio total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.....	59
<b>Figura 19.</b> Valores da concentração de nitrato ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. ...	60
<b>Figura 20.</b> Valores da concentração de nitrito ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. ....	61
<b>Figura 21.</b> Valores da concentração de amônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos CM: <b>a)</b> (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. ...	62
<b>Figura 22.</b> Valores da concentração de Fe Total, Fe+2, Fe+3 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.....	64
<b>Figura 23.</b> Média ponderada do índice de estado trófico calculada pela medida do disco de secchi, concentrações de fósforo total, fosfato inorgânico dissolvido e clorofila <i>a</i> , nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); <b>c)</b> B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009 .....	69
<b>Figura 24.</b> Valores da concentração de clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); <b>c)</b> B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. ....	71
<b>Figura 25.</b> Riqueza de espécies da comunidade zooplanctônica (Cladocera, Copepoda e Rotifera) nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); <b>c)</b> B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.....	77
<b>Figura 26.</b> Densidade total ( $\text{ind/m}^3$ ) dos grupos (Cladocera, Copepoda e Rotifera), nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); <b>c)</b> B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. ....	84
<b>Figura 27.</b> Abundância relativa média (%) dos grupos (Cladocera, Copepoda e Rotifera), nos pontos: <b>a)</b> CM (UTM/INB); <b>b)</b> A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); <b>c)</b> B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. ....	85

**Figura 28.** Média dos Índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e de Simpson (S) nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 86

**Figura 29.** Curva do componente de Dominância dos organismos pertencentes aos grupos Cladocera, Copepoda e Rotifera nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 87

**Figura 30.** Diagrama de ordenação da PCA nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 (1) e janeiro (2), abril (3) e julho (4) de 2009. P=fósforo total, POd=fosfato orgânico dissolvido, POi= fosfato inorganico, N=nitrogênio total, Ni=nitrito, NH<sub>4</sub>=amônia, NO= nitrato, Si=silicato, Fe+3=ferro forma oxidada, Fe+2=forma reduzida, Fe=Ferro total, SO<sub>4</sub>=sulfato, F=fluoreto, Cond=condutividade elétrica, Dur=dureza, U=urânio, T=thório, OD= oxigênio dissolvido, Temp= temperatura da água, Mo=molibdênio, pH, Cla=Clorofila *a*, MSI=material em suspensão inorganic, MSO=material em suspensão orgânico..... 88

**Figura 31.** Diagrama de ordenação da CCA da densidade das espécies da comunidade zooplancônica nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 (1) e janeiro (2), abril (3) e julho (4) de 2009. P=fósforo total, POd=fosfato orgânico dissolvido, POi= fosfato inorganico, N=nitrogênio total, Ni=nitrito, NH<sub>4</sub>=amônia, NO= nitrato, Si=silicato, Fe+3=ferro forma oxidada, Fe+2=forma reduzida, Fe=Ferro total, SO<sub>4</sub>=sulfato, F=fluoreto, Cond=condutividade elétrica, Dur=dureza, U=urânio, T=thório, OD= oxigênio dissolvido, Temp= temperatura da água, Mo=molibdênio, pH, Cla=Clorofila *a*, MSI=material em suspensão inorganic, MSO=material em suspensão orgânico. .... 90

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Localização geográficas e características morfométricas e hidrológicas da represa das Antas e Bortolan e localização geográfica da UTM/INB. .... 34
- Tabela 2** - Valores da concentração dos metais alumínio (Al), arsênio (As), chumbo (Pb), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn), nos pontos: CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses janeiro e julho de 2009. .... 66
- Tabela 3** - Valores de concentração em mg L<sup>-1</sup> para: molibdênio, urânio e tório nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 68
- Tabela 4** - Composição taxonômica da Comunidade de Rotifera registrada nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 73
- Tabela 5** - Composição taxonômica da Comunidade de Cladocera registrada nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 75
- Tabela 6** - Composição taxonômica da Comunidade de Copepoda registrada nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009. .... 75
- Tabela 7** - Frequência de ocorrência (%) das espécies da Comunidade Zooplancônica e classificação em raras (R), acessórias (A) e constantes (C), no ponto CM (UTM/INB) nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009 ..... 79
- Tabela 8** - Frequência de ocorrência (%) das espécies da Comunidade Zooplancônica e classificação em raras (R), acessórias (A) e ..... 80
- Tabela 9** - Frequência de ocorrência (%) das espécies da Comunidade Zooplancônica e classificação em raras (R), acessórias (A) e constantes (C), nos pontos B1 e B2 (represa Bortolan) nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009 ..... 81



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**Al** - alumínio

**As** - arsênio

**°C** - graus Celsius

**Ca** - cálcio

**Cd** - cádmio

**Cl** - clorofila

**Co** - cobalto

**Cr** - cromo

**Cu** - cobre

**F<sup>-</sup>** - fluoreto

**Fe** - ferro

**Fe<sup>+2</sup>** - ferro forma reduzida

**Fe<sup>+3</sup>** - ferro forma oxidada

**g** - grama

**H'** - índice de diversidade de Shannon-Wiener

**Hg** - mercúrio

**L** - litro

**Mg** - magnésio

**Mn** - manganês

**Mo** - molibdênio

**OD** - oxigênio dissolvido

**O<sub>2</sub>** - oxigênio

**PO<sub>4</sub>** - fosfato inorgânico

**P total** - fósforo total

**Pb** - chumbo

**Si** - silicato

**SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>** - sulfato

**SST** - sólidos em suspensão total

**SSO** - sólidos em suspensão orgânico

**SSI** - sólidos em suspensão inorgânico

**T** - temperatura

**T°C** - temperatura em graus Celsius

**Th** - tório

**U** - urânio

**µg** - microgramas

**µm** - micrometro

**Zn** - zinco

**UTM/INB** - Unidade de Tratamento de Minérios/Indústrias Nucleares do Brasil

**DAM** - Drenagem ácida de mina

**CM** - Cava da Mina

**RA** - represa das Antas

**RB** - represa Bortolan

## LISTA DE FÓRMULAS

**Equação 1:** Índice de Estado Trófico

$$\text{IET (médio)} = \text{IET (S)} + 2 [\text{IET (P)} + \text{IET (PO}_4) + \text{IET (Cl)}] / 7$$

**Equação 2:** Clorofila *a*

$$\text{Cl } a = 27,91 \cdot (\text{Eb} - \text{Ea}) \cdot v / V_f \cdot l \quad \text{onde:}$$

**Equação 3:** Densidade de organismos

$$D = (\pi \cdot r^2 \times h) \times \text{número de arrastos}$$

**Equação 4:** Frequência de Ocorrência das Espécies

$$F = 100 \cdot Pa / P$$

**Equação 5:** Índice de Shannon-Wiener

$$H = \sum_i P_i \log P_i$$

**Equação 6:** Índice de Simpson

$$c = \sum_i (n_i / N_i)^2$$

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	22
1.1 Contextualização sobre o estudo proposto .....	22
1.2 Reservatórios.....	23
1.3 Comunidade Zooplanctônica.....	25
<b>2 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	30
2.1 Complexo de Unidade de Tratamento de Minérios (UTM).....	30
2.2 Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas (represas das Antas e Bortolan) .....	31
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	32
3.1 Objetivo Geral.....	32
3.2 Objetivos Específicos .....	32
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	33
4.1 Local e época de amostragem .....	33
4.2 Variáveis Físicas e Químicas.....	36
4.2.1 <i>Dados Meteorológicos</i> .....	36
4.2.2 <i>Temperatura da água, concentração de oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica</i> .....	36
4.2.3 <i>Transparência da água</i> .....	36
4.2.4 <i>Concentração de material em suspensão</i> .....	36
4.2.5 <i>Dureza, fluoreto, sulfato, urânio, tório e metais totais (Fe, Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>, Mo, As, Pb, Co, Cr, Cu, Mn e Zn)</i> .....	37
4.2.1 <i>Concentração de Nutrientes</i> .....	38
4.3 Índice de Estado Trófico .....	38
4.4 Variáveis Biológicas.....	39
4.4.1 <i>Concentração de clorofila a</i> .....	39
4.4.2 <i>Comunidade Zooplanctônica</i> .....	39
4.4.2.1 <u><i>Índice de Frequência de Ocorrência</i></u> .....	40
4.4.2.2 <u><i>Índices de Diversidade</i></u> .....	41
4.5 Análise Estatística.....	41
<b>5 RESULTADOS</b> .....	42
5.1 Parâmetros Meteorológicos .....	42

<b>5.2 Variáveis Físicas e Químicas.....</b>	<b>44</b>
<i>5.2.1 pH, Temperatura, Condutividade Elétrica, Transparência da água (Secchi), Concentração de Oxigênio Dissolvido, Dureza, Fluoreto Sulfato e Sólidos em Suspensão. ....</i>	<i>44</i>
<i>5.2.2 Nutrientes- Formas Fosfatadas, Silicato e Formas Nitrogenadas .....</i>	<i>54</i>
<i>5.2.3 Fe total, Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup> .....</i>	<i>63</i>
<i>5.2.4 Al, As, Pb, Co, Cr, Cu, Mn, Zn.....</i>	<i>64</i>
<i>5.2.5 Mo, U e Th .....</i>	<i>67</i>
<b>5.3 Índice de Estado Trófico .....</b>	<b>69</b>
<b>5.4 Clorofila a .....</b>	<b>70</b>
<b>5.5 Comunidade Zooplancônica .....</b>	<b>71</b>
<i>5.5.1 Composição Taxonômica e Riqueza de espécies .....</i>	<i>71</i>
<i>5.5.2 Frequência de Ocorrência.....</i>	<i>78</i>
<i>5.5.3 Densidade e Abundância Relativa .....</i>	<i>82</i>
<i>5.5.4 Índices de Diversidade .....</i>	<i>85</i>
<b>5.6 Análise Estatística .....</b>	<b>88</b>
<b>6 DISCUSSÃO-REPRESAS DAS ANTAS E BORTOLAN.....</b>	<b>91</b>
<b>6.1 Variáveis Físicas e Químicas.....</b>	<b>91</b>
<b>6.2 Comunidade Zooplancônica .....</b>	<b>103</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>117</b>

## **1 INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.1 Contextualização sobre o estudo proposto**

As atividades de mineração tem contribuído significativamente para o crescimento e desenvolvimento de vários países. A importância deste setor para economia brasileira é significativa, com destaque para a produção de minério de ferro, nióbio, manganês, alumínio (bauxita) entre outros minérios (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2008). Além do impacto econômico e da geração de empregos, as atividades de mineração brasileira contribuem também para o aumento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de alguns municípios, onde se situam importantes minas brasileiras. Entretanto, o processo de expansão e continuação dessas atividades no Brasil e no mundo, depende do incentivo e do compromisso das grandes empresas mineradoras com a preservação e recuperação do ambiente explorado, em atendimento as exigências legais de diferentes órgãos de controle, tais como o IBAMA, ANA, órgãos estaduais e municipais pertinentes.

Em relação às preocupações frente aos impactos causados pela exploração mineral, a questão da água e dos recursos hídricos é, com frequência, um dos pontos de conflitos mais importantes que envolvem a mineração e a sociedade (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

De acordo com Antunes et al. (2007), atividades de mineração envolvem grandes modificações no contorno da paisagem promovendo alterações químicas e biológicas no ambiente.

De maneira geral, as atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, já que o desenvolvimento dessa atividade implica na maioria das vezes em: supressão de vegetação, exposição do solo a processos de erosão, alteração da qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar entre outros aspectos negativos associados a essas atividades (MECHI; SANCHES, 2010). Vale ressaltar, que além dos problemas citados acima dependendo do tipo de exploração mineral em questão, algumas atividades de mineração resultam ainda na ocorrência de drenagem ácida de mina, geração de rejeitos de mineração, aumento da turbidez, assoreamento de corpos d'água, podendo afetar de maneira direta os recursos hídricos da região de sua ocorrência.

Nesse contexto na região do Planalto de Poços de Caldas está localizada a primeira mina de extração de minério de urânio a ter sua jazida explorada no Brasil (Mina de Urânio Osamu Utsumi), a qual teve suas atividades de exploração mineral iniciadas em 1982 com produção total de 1.030 tU até 1995. (CIPRIANI, 2002).

Esta área mineradora localiza-se nas dependências do Complexo Unidade de Tratamento de Minérios das Indústrias Nucleares do Brasil (UTM/INB) e por estar situada em uma região caracterizada por apresentar anomalias de elevada radioatividade natural, associada a rochas vulcânicas e depósitos de minerais de urânio, tem despertado o interesse de pesquisadores, originando estudos principalmente nos campos da Física, Química, Geologia, Radiologia e Biologia.

Nesse complexo minerador efluentes radioativos são gerados por drenagem ácida de mina (DAM) os quais são tratados quimicamente com hidróxido de cálcio e floculantes, para serem posteriormente lançados em um corpo aquático situado na Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas, ou seja, na represa das Antas.

Em algumas áreas de mineração (minas de carvão, cobre entre outras) o processo de DAM constitui um dos problemas ambientais mais graves, devido ao grande volume de efluente gerado. De acordo com Lyew e Sheppard (2001), a DAM é um efluente que apresenta elevada acidez e altas concentrações de sulfatos e de alguns tipos comuns de metais tais como: Al, Cu e Zn. Esse efluente também é caracterizado por ser uma fonte difusa de poluição, que pode comprometer a qualidade dos recursos hídricos da região de sua ocorrência (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

Nas dependências da UTM/INB a ocorrência de DAM é explicada pela oxidação natural do sulfeto metálico pirita ( $\text{FeS}_2$ ) que ao entrar em contato com água e oxigênio, leva a formação de ácido sulfúrico, o qual ao diluir-se na água, promove a solubilização dos minerais presentes na rocha caracterizando um efluente com elevada acidez e metais solúveis. Cabe ressaltar que a composição do efluente (tipo de metais, presença ou não de radionuclídeos), depende diretamente da composição da rocha e do tipo de exploração mineral em questão (CAMPOS, et al., 2010; CAMPOS, 2006).

## **1.2 Reservatórios**

A construção de reservatórios para diversos fins no Brasil teve início à cerca de 100 anos. Assim, apesar desses sistemas artificiais serem considerados relativamente

novos na paisagem proporcionam inúmeros benefícios locais e regionais para população (HENRY, 2007).

Segundo Margalef (1983) os reservatórios são sistemas intermediários entre rios e lagos naturais. De acordo com Tundisi e Matsumura-Tundisi. (2008) esses sistemas são considerados ecologicamente complexos e heterogêneos, uma vez que consistem de muitos componentes e subsistemas que interagem e variam no tempo e no espaço.

Após a formação de um reservatório este é compartimentalizado em: zona litorânea que corresponde a área que está em contato direto com o ecossistema terrestre adjacente, onde ocorre luz suficiente para permitir o desenvolvimento de macrófitas aquáticas; e zona limnética que corresponde a região mais central do reservatório, na qual ocorre pouca influência do fundo, onde o plâncton e o nécton constituem suas comunidades características (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Devido ao fato dos reservatórios serem alterados pelo homem em função dos diferentes usos, seu estudo científico, aplicado ao desenvolvimento de técnicas e mecanismos de previsões são fundamentais para o aproveitamento econômico e sustentável desses sistemas, durante todo o período de seu funcionamento (HENRY, 2007).

Nesse contexto o avanço dos estudos limnológicos no século XX, permitiram o desenvolvimento conceitual da limnologia, aliada à aplicação de programas voltados ao manejo e recuperação dos sistemas aquáticos continentais (reservatórios, rios, lagos, açudes) (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Impactos positivos e negativos decorrentes da construção de reservatórios são apontados por alguns autores (BARBOSA et al., 2000; TUNDISI, 1984, 2003). Dentre os impactos negativos destaca-se o aumento das atividades antrópicas impactantes nos corpos hídricos, causadas principalmente pelo despejo de esgotos domésticos e efluentes industriais, que acabam promovendo alterações na qualidade da água dos reservatórios. Tais impactos podem influenciar a penetração de luz nos reservatórios alterando a produtividade primária e conseqüentemente a produtividade secundária do ambiente.

Um dos problemas decorrentes das atividades antrópicas é o processo de eutrofização dos corpos d'água, caracterizado principalmente pelo enriquecimento de nutrientes de forma acelerada e não equilibrada. Dentro de certos limites, a eutrofização é benéfica, pois aumenta a produtividade dos sistemas aquáticos, enquanto por outro lado, em níveis excessivos, torna-se prejudicial, já que altera o equilíbrio natural das



cadeias tróficas. Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) a eutrofização dos corpos aquáticos é decorrente principalmente do aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo, que atuam promovendo impactos qualitativos e quantitativos na qualidade da água, tais como: anoxia, florescimento de algas, produção de toxinas por algumas algas tóxicas, altas concentrações de matéria orgânica, alterações na composição de espécies entre outras conseqüências associadas a este processo.

De acordo com Toledo et al. (1983) a contribuição de nutrientes provenientes das atividades humanas como lançamentos de esgotos, efluentes industriais e resíduos provenientes da agricultura, constituem a maior parte das chamadas fontes pontuais. Já as resultantes de causas naturais, caracterizadas como fontes não pontuais, estão relacionadas principalmente aos processos de erosão, ao carreamento de material alóctone trazidos pelas chuvas e a matéria orgânica morta ou em decomposição.

Vários são os indicadores utilizados para avaliação do estado trófico em que se encontra um reservatório e os mais comumente utilizados são: transparência da água, concentração de clorofila *a*, de oxigênio dissolvido e de nutrientes (TOLEDO et al., 1983). De acordo com Tundisi, Matsumura-Tundisi e Rocha (2002), além do índice de estado trófico as comunidades biológicas também podem ser utilizadas na avaliação e detecção das mudanças que ocorrem nos reservatórios, uma vez que, respondem rapidamente às alterações ambientais. Assim, a utilização das comunidades aquáticas no monitoramento dos ecossistemas pode ser uma ferramenta eficaz e complementar no controle das influências antrópicas que ocorrem nesses sistemas.

### **1.3 Comunidade Zooplanctônica**

Os lagos e reservatórios, assim como os grandes rios, são habitados por inúmeros organismos planctônicos que representam as partículas vivas, ou o conjunto de organismos microscópicos que são levados passivamente pelo movimento das águas, podendo ser autótrofos (fitoplâncton) ou heterótrofos (zooplâncton) (MARGALEF, 1983).

A comunidade planctônica possui papel central na dinâmica de um ecossistema aquático em especial na ciclagem de nutrientes e fluxo de energia, já que atua direta ou indiretamente nos elementos químicos, promovendo a transferência de energia para os níveis tróficos mais altos (ESTEVES, 1998). Dentro desse contexto, insere-se a comunidade zooplanctônica de água doce composta predominantemente pelos grupos

taxonômicos Protozoa, Rotifera, Copepoda, Cladocera e ocasionalmente cnidários, ácaros e larvas de insetos (SIPAÚBA-TAVARES; ROCHA, 2001).

Em relação a heterogeneidade frequentemente observada na distribuição espacial e temporal do zooplâncton, verifica-se que esta é principalmente afetada e dependente das interações entre os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no ambiente. Devido a essas interações esses organismos podem exibir padrões diferentes de distribuição espacial. Alterações sazonais exibidas pelo zooplâncton em relação à composição de espécies e biomassa têm sido atribuídas a fatores, tais como: modificações na composição do fitoplâncton e na qualidade do alimento disponível (INFANTE; RIEHL, 1984).

De acordo com Matsumura-Tundisi e Tundisi (2003) os ecossistemas aquáticos estão sujeitos a freqüentes alterações no seu estado permanente. Como consequência dessas alterações, a composição de espécies da comunidade zooplanctônica também pode ser influenciada, podendo apresentar modificações temporárias por curtos períodos de tempo. Dessa maneira, algumas espécies podem desaparecer temporariamente do meio, retornando quando às condições tornam-se favoráveis ao seu desenvolvimento ou podem desaparecer totalmente, sendo substituídas por novas espécies.

Assim, o estudo da comunidade zooplanctônica nos ecossistemas aquáticos: rios, lagos, reservatórios, açudes e áreas alagadas, têm interesse principal no entendimento da dinâmica, funcionamento e estrutura desses ecossistemas. De acordo com González et al. (2002), a análise da composição dessa comunidade, constitui uma ferramenta importante que pode auxiliar no estabelecimento de medidas direcionadas ao manejo e ao uso sustentável dos recursos hídricos. Além disso cabe ressaltar que a diversidade dessa comunidade está diretamente relacionada com as características dos sistemas aquáticos tais como: origem dos lagos, aspectos geofísicos da bacia hidrográfica, estado de trofia e impactos antrópicos.

Vários estudos com zooplâncton têm evidenciado que os cladóceros, copépodos e rotíferos apresentam diferentes adaptações para captura e seleção dos alimentos. A acumulação da energia proveniente dessa alimentação depende diretamente da disponibilidade e qualidade dos alimentos e está relacionada com a permanência, crescimento e reprodução desses organismos (RÜCKERT; GIANI, 2008).

De acordo com Rocha, Sendacz e Matsumura-Tundisi (1995), entre os principais constituintes da comunidade zooplanctônica, destacam-se os rotíferos, que dominam o

zooplâncton da maioria dos lagos, tanques, reservatórios e rios do Brasil, em densidade e número de espécies. A maior representatividade desse grupo provavelmente está relacionada ao consumo por esses organismos, de uma variedade de espécies fitoplanctônicas, detritos e bactérias, com dietas intraespecíficas e interespecíficas (STARKWEATHER, 1980).

Os rotíferos ainda apresentam ampla distribuição ambiental, com cerca de 2000 espécies conhecidas, fato relacionado à grande variedade de formas e estruturas acessórias como cerdas, espinhos, projeções cuticulares e grandes pés adesivos. Ocorrem principalmente em água doce incluindo pequenas poças de chuva, no solo úmido e também se encontram em musgos e líquens que crescem em troncos de árvores e pedras. Alimentam-se principalmente de detritos, bactérias, algas ou podem ainda ser predadores (BARNES; CALOW; OLIVE, 1995), fato que permite com que esse grupo de organismos apresente uma dependência menor em relação à produção primária autotrófica (RÜTTNER-KOLISKO, 1974).

A maioria das espécies pertencentes a esse grupo é planctônica podendo contribuir com até 30% da biomassa total do plâncton. Em consequência disso, o conhecimento sobre a biologia dos rotíferos é baseado nas espécies planctônicas.

De acordo com Nogrady, Wallace e Snell (1993) os Rotifera são caracterizados também por apresentarem altas taxas de reprodução, fato que contribui com a disponibilização permanente de grande quantidade de alimento renovável para os consumidores. Além disso, muitas espécies apresentam papel depurador fundamental em ambientes submetidos à poluição orgânica, devido à sua função detritívora. Cabe ressaltar também que esse grupo de organismos apresentam características adaptativas oportunistas, uma vez que são capazes de colonizar vários habitats com diferentes composições biológicas, servindo de alimento para um grande número de espécies de invertebrados e, principalmente, para larvas de peixes planctívoros.

Em estudos realizados a ocorrência de algumas espécies parecem estar relacionadas com o grau de trofia, podendo ser utilizadas como indicadoras de poluição e qualidade da água, sendo potencialmente usadas no biomonitoramento dos corpos d'água (AKINBUWA; ADENIYI, 1991; BONECKER; LANSAC-TÔHA, 1996).

O subfilo Crustacea, o qual inclui Cladocera e Copepoda tem grande importância nos ecossistemas aquáticos, uma vez que também atuam na transferência de energia para os níveis tróficos mais altos. MacIssac e Gilbert (1991) e Fussmann (1996)

apontam evidências que os crustáceos zooplanctônicos interagem com os rotíferos planctônicos via predação e competição.

Os Cladocera são pequenos crustáceos da Classe Branchiopoda, conhecidos vulgarmente como “pulgas d’ água”. A maioria é de hábito rastejador ou bentônico, movendo-se entre os detritos na região litorânea de lagos e reservatórios, mas há famílias de hábito planctônico que se alimentam de algas, bactérias e partículas em suspensão (ROCHA; MATSUMURA-TUNDISI, 1976). Esse grupo de organismos é considerado tipicamente límnic, embora existam algumas espécies marinhas pertencentes aos gêneros *Penilia*, *Evadne* e *Podon*. A grande maioria das espécies pode ser encontrada entre a vegetação na margem de lagos e rios. Dentre as espécies da região litorânea, as de maior destaque são pertencentes às famílias Chydoridae e Macrothricidae, (ELMOOR-LOUREIRO, 1997). De acordo com Sipaúba-Tavares e Rocha (2001), são principalmente utilizados como alimento para larvas e alevinos de peixes, com destaque para espécies pertencentes aos gêneros *Moina* e *Daphnia*, devido ao seu alto valor nutricional. Segundo Repka (1997), *Daphnia* devido a sua alta taxa de alimentação e dieta variada é um gênero particularmente importante na transferência de energia.

Em relação a Copepoda essa subclasse é dividida em duas ordens (Cyclopoida e Calanoida), sendo a primeira mais cosmopolita do que a segunda. Dentro da comunidade zooplanctônica, os Copepoda contribuem com a maior biomassa. (ROCHA; MATSUMURA-TUNDISI, 1976). De acordo com Reid e Pinto-Coelho (1994) os Copepoda ocupam uma posição fundamental na cadeia alimentar aquática, sendo responsáveis pela transferência de energia diretamente para os herbívoros, ou indiretamente para os carnívoros ou filtradores de detritos.

A ordem Calanoida é caracterizada pela presença de espécies sensíveis em relação a pequenas variações ambientais, em especial a condutividade elétrica e à composição iônica. Os Calanoida apresentam, portanto, acentuado endemismo resultado de seu restrito limite de tolerância para muitos ambientes, particularmente em relação aos fatores físicos e químicos. Observações apontam que algumas espécies de Calanoida desenvolvem ovos de resistência, os quais permanecem no sedimento por longos períodos quando as condições ambientais (variáveis físicas e químicas) não são favoráveis ao seu desenvolvimento (MATSUMURA-TUNDISI; TUNDISI, 2003).

Juntamente com os Calanoida os Cyclopoida são encontrados em grande abundância no plâncton, sendo caracterizados pelo hábito alimentar do tipo capturador, enquanto que os Calanoida são filtradores. Devido ao fato de apresentarem espécies de menor tamanho, os Cyclopoida contribuem em termos de biomassa menos do que os Calanoida. A ordem Cyclopoida é caracterizada pela presença de um maior número de espécies cosmopolitas, quando comparado as espécies da ordem Calanoida, uma vez que muitos gêneros de regiões temperadas são encontrados também em regiões tropicais (JOLY; BICUDO, 1999).

Dessa forma, por ser considerada como ferramenta complementar nos estudos limnológicos, a comunidade zooplanctônica da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan foi estudada.

Vale ressaltar que alguns estudos em lagos ácidos impactos por mineração de carvão, na Lusatia, Alemanha, foram realizados com a comunidade zooplanctônica (NIXDORF; WOLLMANN; DENEKE, 1998; LESSMANN et al., 1999; DENEKE, 2000; WOLLMANN et al., 2000; BELYAEVA; DENEKE, 2007). Em um lago ácido formado após o fechamento de uma mina de urânio Kalin et al. (2001) estudaram a composição fitoplanctônica.

Assim, trata-se de um estudo pioneiro com a comunidade zooplanctônica em “lagos” ácidos impactados por mineração de urânio, bem como em corpos aquáticos sob influência de mina de urânio. Cabe ressaltar que somente em 2008, Ronqui realizou a primeira caracterização limnológica da represa das Antas, destacando a avaliação da comunidade de protozoários ciliados e variáveis físicas e químicas dessa represa.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Complexo de Unidade de Tratamento de Minérios (UTM)

O Complexo Unidade de Tratamento de Minério (UTM), situado no Planalto de Poços de Caldas-MG é o primeiro empreendimento de lavra e tratamento químico de minério de urânio a operar no Brasil, o qual pertence, atualmente, as Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Na área de influência dessa instalação há duas bacias hidrográficas: a Sub-Bacia do Ribeirão das Antas e a Sub-Bacia do Rio Verde. A usina foi projetada para tratar 2.500 t/dia de minério, mas teve seu funcionamento de modo descontínuo, devido a uma série de dificuldades atribuídas ao pouco conhecimento das características do minério e, em outubro de 1995, houve a paralisação definitiva das atividades de lavra (CIPRIANI, 2002).

Este complexo é constituído de uma mina “a céu aberto” (Mina de Urânio Osamu Utsumi) e suas áreas de rejeitos de mineração (bota-foras), instalações para tratamento físico do minério, usina de tratamento químico para extração de urânio por processos hidrometalúrgico, bacia de rejeitos da mina, instalações para fins administrativos e uma fábrica de ácido sulfúrico (GARCIA JR, 1989).

Na Cava da Mina (Mina Osamu Utsumi), ou seja, no “lago” que surgiu devido a mineração de urânio, efluentes ácidos radioativos procedentes de DAM ficam expostos a céu aberto. Tais efluentes são tratados por processos químicos com hidróxido e óxido de cálcio (cal hidratada), floculantes e em seguida conduzidos para bacia de decantação, para que ocorra a sedimentação dos metais pesados (NÓBREGA, LIMA; LEITE, 2008), antes de sua liberação para o meio ambiente, ou seja, na represa das Antas, localizada na Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas.

Apesar de encerradas as atividades de exploração mineral, o passivo ambiental é grande, representando a obrigação e responsabilidade social da empresa UTM/INB, frente aos impactos ambientais gerados. Atualmente, os trâmites legais para a remediação do local e descomissionamento dessa área mineradora estão em andamento, devendo a UTM/INB, cumprir as exigências e normas estabelecidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) (NÓBREGA, 2007).

Dessa maneira, a necessidade de um monitoramento contínuo nessa área no sentido de atender às normas e exigências estabelecidas pelos órgãos de controle pertinentes se faz necessário.

## **2.2 Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas (represas das Antas e Bortolan)**

A Sub-Bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas situa-se no Planalto de Poços de Caldas, constituindo a maior e principal rede hidrográfica estendendo-se por toda região centro-ocidental, abrangendo uma área total de 422,96 Km<sup>2</sup> (CHRISTOFOLETTI, 1970). Essa Sub-Bacia Hidrográfica faz parte da Bacia Hidrográfica do rio Paraná e inicia-se na região da represa das Antas, de onde suas águas fluem e recebem os córregos do Cercado, Pitangueiras, das Antas, Cachoeirinha e Aterrado, até a represa Bortolan, esta última influenciada pela área urbana do município de Poços de Caldas.

A represa das Antas, situada na região da cabeceira da Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas, foi construída em 1982 com a finalidade de fornecer água para o processo minero-industrial da usina de beneficiamento de minério de urânio da UTM/INB. Esta represa também recebe efluentes radioativos tratados dessa mineradora, que são provenientes de processos de drenagem ácida de mina, gerados a partir de pilhas de rejeitos de minério de baixo teor de urânio (< 0,02%). Esse corpo aquático apresenta uma área inundada ao nível máximo de água de  $1,9 \times 10^6 \text{ m}^2$ , volume de  $3,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ , comprimento máximo de 3500m, largura média de 250m e variação na profundidade de 1,0m a 8,0m (INB, 1999).

Já a represa Bortolan situada nessa mesma Sub-Bacia Hidrográfica, porém a jusante da represa das Antas, possui uma área de drenagem de 3.054 km<sup>2</sup>, volume de  $6,9 \times 10^6 \text{ m}^3$  e aproximadamente 5000 m<sup>2</sup> de extensão, sendo utilizada principalmente para geração de energia elétrica, atividades de recreação, navegação como passeios de barco, escunas, lanchas e práticas esportivas (SOUZA, 2010 (comunicação pessoal)<sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup>SOUZA, C. de. Poços de Caldas, MG, 2010.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Analisar a diversidade da comunidade zooplanctônica, bem como realizar a caracterização física e química da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, visando avaliar efeitos ambientais causados pelo lançamento de efluentes procedentes de mina de urânio.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar a composição e a densidade de espécies da comunidade zooplanctônica, bem como realizar a caracterização física e química comparando amostras da UTM/INB, represas das Antas e represa Bortolan;
2. Relacionar a distribuição espacial e temporal da comunidade zooplanctônica com as diferentes variáveis físicas e químicas analisadas na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan;

Avaliar se efluentes radioativos tratados lançados na Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas tem efeito na composição química da água e diversidade de espécies da comunidade zooplanctônica em amostras das represas das Antas e Bortolan.



## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Local e época de amostragem**

No presente estudo coletas trimestrais de amostras de água foram realizadas de outubro de 2008 a julho de 2009 nas represas das Antas e Bortolan (Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas) e na UTM/INB.

Na represa das Antas os pontos coletados foram: A1 que corresponde à região da cabeceira (ponto de controle); A2 que recebe o efluente tratado da UTM/INB e pontos A3-S, A3-F (litorânea); A4-S, A4-M e A4-F (limnética) todos situados a jusante dos pontos A1 e A2, próximos a barragem. Já na represa Bortolan os pontos B1-S, B1-F (litorânea); B2-S, B2-M e B2-F (limnética) todos situados próximos à região da barragem foram amostrados e na Unidade de Tratamento de Minérios das Indústrias Nucleares do Brasil (UTM/INB) o ponto Cava Mina (CM) na região da superfície próximo a margem.

Em todas as coletas foram realizadas análises das principais variáveis físicas e químicas e da comunidade zooplânctônica. A tabela 1 mostra as respectivas coordenadas geográficas e características morfométricas e hidrológicas dos pontos de amostragem localizados nas represas das Antas e Bortolan, bem como na UTM/INB. Na figura 1 estão apresentados todos os pontos de amostragem localizados em ambas as represas analisadas e na UTM/INB.

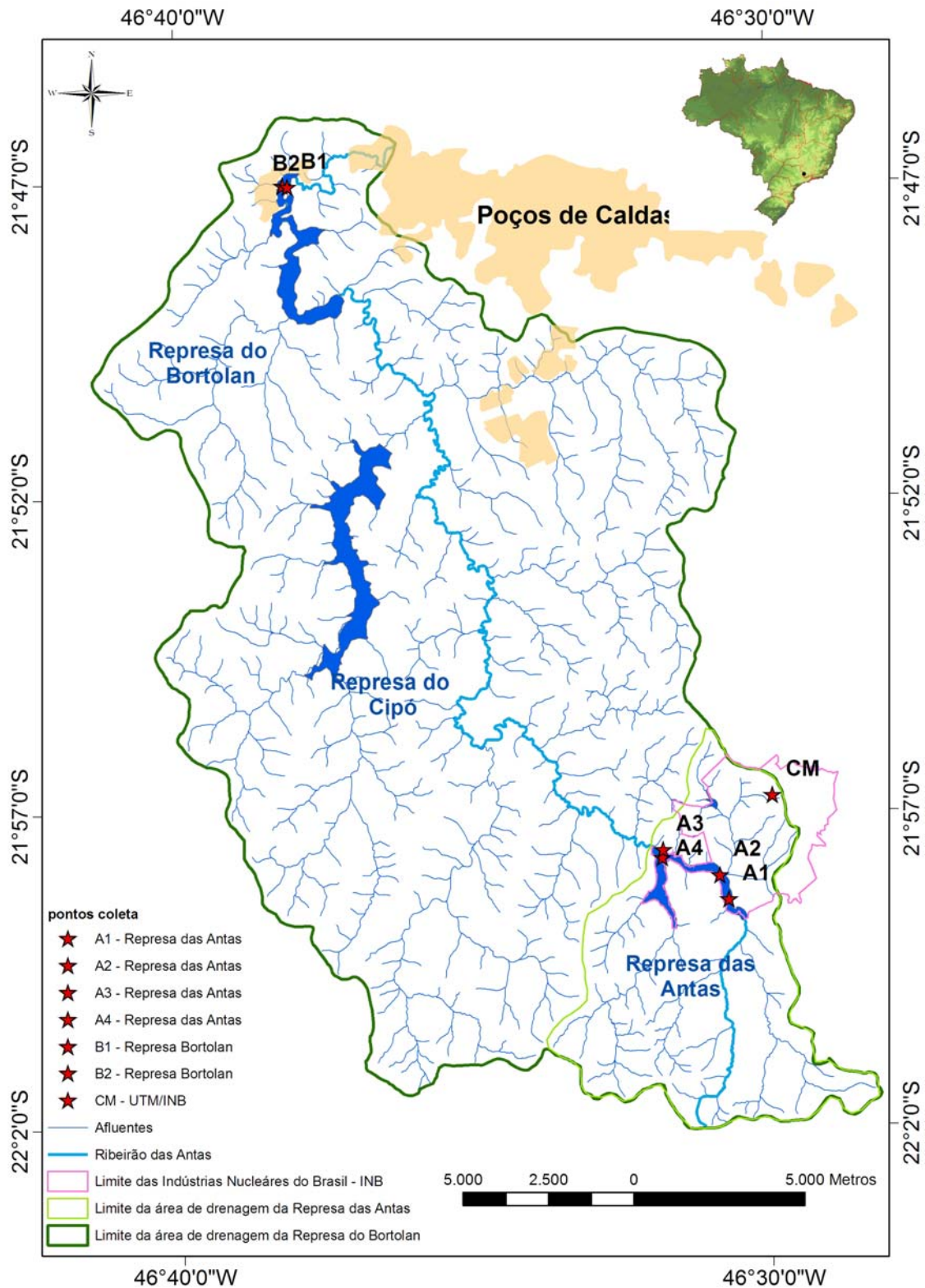
**Tabela 1** - Localização geográficas e características morfométricas e hidrológicas da represa das Antas e Bortolan e localização geográfica da UTM/INB.

	<b>represa das Antas</b>	<b>represa Bortolan</b>	<b>UTM/INB</b>
<b>Coordenadas</b>	A1= 21° 58' 23,5"S e 46° 30' 42,8" W A2= 21° 58' 3,8" S e 46° 30' 47,3"W A3= 21° 57' 43,1"S e 46° 31' 50,1"W A4=21° 57' 42,3" S e 46° 31' 44,8"W	B1= 21° 46,7' 5"S 46° 38' 5" W B2= 21° 46' 57,4"S 46 ° 38' 2,4"W	CM= 21° 56' 46,0''S 46° 30' 06,7'' W
<b>Data do represamento</b>	* 1982	** 1956	*1982
<b>Área de drenagem (Km<sup>2</sup>)</b>	* 51km <sup>2</sup>	** 3.054km <sup>2</sup>	-
<b>Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	* 9,515 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	** 3,6 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	-
<b>Tempo de residência (dias)</b>	*** 5 dias	-	-
<b>Volume (10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)</b>	* 3,9 x 10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup>	** 6,9 x 10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup>	-
<b>Comprimento Máximo (m)</b>	* 3.500 m	** 8.634 m	-
<b>Largura média (m)</b>	* 250m	-	-
<b>Largura máxima (m)</b>	-	** 676m	-
<b>Profundidade máxima (m)</b>	8m	** 11,5m	-
<b>Profundidade mínima (m)</b>	0,5m	** 2,5m	-

\* Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil - INB (1999)

\*\* Fonte: Comunicação Pessoal (SOUZA, C. de.-Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas)

\*\*\* Ronqui (2008)



**Figura 1.** Localização dos pontos de coleta na represa das Antas (A1, A2, A3 e A4), represa Bortolan (B1e B2) e na UTM-INB (CM).  
 Fonte: Imagem Heber Luiz Caponi Alberti.-CNEN/LAPOC.

## **4.2 Variáveis Físicas e Químicas**

### **4.2.1 Dados Meteorológicos**

Os dados referentes ao índice pluviométrico, temperatura do ar e velocidade do vento, para o período de julho de 2008 a julho de 2009 foram fornecidos pela Estação Meteorológica (Campell Scientific, Modelo CR10X, 815 W-1800N) instalada nas dependências do Laboratório de Poços de Caldas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (LAPOC/CNEN). A estação meteorológica coleta informações diariamente, a cada intervalo de 30 minutos, iniciando as medições às 0h 30min e encerrando às 0h. Localiza-se aproximadamente à 14 Km de distância da UTM/INB e da represa das Antas e a 20 Km da represa Bortolan.

### **4.2.2 Temperatura da água, concentração de oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica**

No campo, as determinações de temperatura da água foram realizadas com auxílio de um termistor modelo WTW-320 e a concentração de oxigênio dissolvido utilizando-se um oxímetro marca WTM, modelo Oxi 315i.

No laboratório foram realizadas as determinações dos valores de pH da água com o auxílio de um potenciômetro da marca Analion. Medidas dos valores da condutividade elétrica foram realizadas com auxílio de um condutivímetro marca Digimed.

### **4.2.3 Transparência da água**

A transparência da coluna d'água foi determinada pela leitura do valor da profundidade (m), através do desaparecimento e reaparecimento visual do Disco de Secchi, o qual foi abaixado verticalmente na coluna d'água. A média da profundidade em que o disco desaparece e reaparece foi utilizada como sendo a medida de transparência da água.

### **4.2.4 Concentração de material em suspensão**

Para as determinações da concentração de material em suspensão foi utilizado o método gravimétrico descrito em Teixeira, Tundisi e Kutner (1965). Após a coleta, um volume conhecido de amostra foi filtrado com auxílio de uma bomba de sucção a vácuo, utilizando-se microfiltros de fibra de vidro. Estes foram previamente calcinados em mufla a 450 °C, por 1/2 hora e pesados (P1). Em seguida os filtros foram secos em

estufa por 24 horas a 60 °C, até atingirem peso constante, sendo transferidos para um dessecador (uma hora) e depois pesados em balança analítica da marca Gehaka (modelo AG 200), determinando-se assim o peso (P2). Para obtenção da concentração de material em suspensão foi feita a diferença entre os pesos P2 e P1. Posteriormente os fitos foram novamente calcinados em mufla a 450 °C por 1/2 hora, transferidos para o dessecador (1 hora) e pesados novamente, o que correspondeu ao peso das cinzas (P3). A diferença entre os pesos P2 e P3 representa a quantidade de matéria orgânica. A matéria inorgânica foi calculada pela diferença de material em suspensão total e matéria orgânica.

#### **4.2.5 Dureza, fluoreto, sulfato, urânio, tório e metais totais (Fe, Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>, Mo, As, Pb, Co, Cr, Cu, Mn e Zn)**

A determinação dos valores de dureza (cálcio e magnésio) foi realizada por espectrometria de absorção atômica por plasma acoplado indutivamente (Varian - modelo Liberty RL Sequencial ICP-OES). A concentração de fluoreto foi estimada pelo método potenciométrico com base na metodologia descrita em Nascimento et al. (1988). As análises de sulfato foram realizadas por Espectrofotometria UV-Visível e segundo a metodologia descrita em ASTM (1980).

Em relação a urânio, tório e metais totais foram realizadas análises somente em no mês de janeiro de 2009. Para o elemento químico urânio, alíquotas da amostra na concentração de 2,5 a 12,5 mg L<sup>-1</sup> que se refere ao intervalo da curva padrão foram tratadas por extração utilizando-se solvente tributilfosfato como reagente, submetidas a uma reação com solução do reagente colorimétrico de Arsenazo III e medida no comprimento de onda de 650 nm em espectrofotômetro UV-Visível. A determinação das concentrações do elemento tório (Espectrofotometria UV-Visível), alíquotas da amostra na concentração de 1,6 a 8,0 mg L<sup>-1</sup> que se refere ao intervalo da curva padrão foram tratadas por extração utilizando-se solvente topotriocetilfosfina, submetidas a uma reação com solução do reagente colorimétrico de Arsenazo III, em seguida foram medidas no comprimento de onda de 665 nm em espectrofotômetro UV-Visível (FUKUMA et al., 2001).

Para a determinação dos metais totais (Fe, Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>, Mo, Ar, Pb, Co, Cr, Cu, Mn e Zn) amostras foram armazenadas em garrafas de poliestireno e fixadas com ácido nítrico ultrapuro a uma concentração final de 0,2 M. A digestão das amostras foi

realizada de acordo com metodologia descrita em APHA (1992), e a determinação das concentrações foram efetuadas em espectrofotômetro de absorção atômica.

#### 4.2.1 *Concentração de Nutrientes*

Para as determinações das concentrações de nutrientes amostras foram coletadas utilizando-se uma garrafa vertical, de cinco litros, do tipo Van Dorn para coleta na superfície, meio e fundo da coluna d'água com base nas seguintes metodologias: para nitrito e silicato a técnica descrita por Golterman, Clymo e Ohnstad (1978); para nitrato e nitrogênio total a metodologia descrita por Mackereth, Heron e Tailing (1978); para amônia o método descrito por Koroleff (1976); para fósforo total a técnica descrita por Valderrama (1981) e para fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico a metodologia descrita em Strickland e Parsons (1960).

#### 4.3 **Índice de Estado Trófico**

O índice de estado trófico foi calculado como proposto por Toledo et al. (1983), os quais modificaram o índice de Carlson (1977), elaborando um modelo mais simplificado e adaptado às condições climáticas das regiões tropicais e subtropicais. As relações propostas por Toledo et al. (1983) baseiam-se fundamentalmente em valores ponderados da transparência da água (S) e das concentrações de fósforo total (P), de fosfato inorgânico (PO<sub>4</sub>) e clorofila *a* (Cl).

- a)  $IET(S) = 10 \times \{6 - [(0,64 + \ln S) / \ln 2]\}$
- b)  $IET(P) = 10 \times \{6 - [\ln(80,32 / P) / \ln 2]\}$
- c)  $IET(PO_4) = 10 \times \{6 - [\ln(21,64 / PO_4) / \ln 2]\}$
- d)  $IET(Cl) = 10 \times \{6 - [(2,04 - 0,695 \ln Cl) / \ln 2]\}$

Onde:

S = leitura da transparência da água pelo disco de Secchi (m)

P = concentração de fósforo total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ).

PO<sub>4</sub> = concentração de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

Cl = concentração de clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

IET (médio) = uma ponderação adequada para os valores de transparências da água, os quais são afetados pela alta turbidez dos reservatórios.

$$e) \quad IET(\text{méd}) = IET(S) + 2 [ IET(P) + IET(PO_4) + IET(Cl) ] / 7$$

A partir dos valores obtidos para o IET médio, os critérios de classificação trófica são:

**Oligotrófico**, se  $IET \leq 44$

**Mesotrófico**, se  $44 < IET < 54$

**Eutrófico**, se  $IET \geq 54$

#### 4.4 Variáveis Biológicas

##### 4.4.1 Concentração de clorofila *a*

As concentrações de clorofila *a*, foram determinadas de acordo com metodologia descrita em Marker et al. (1980), utilizando-se etanol 90 % a quente como solvente para a extração. Posteriormente as concentrações de clorofila *a* foram calculadas através das equações descritas por Lorenzen (1967):

$Cl\ a = 27,91.(Eb-Ea).v/V_f.l$  onde:

$E_b$  = absorbância do extrato a 665 nm antes da acidificação menos a absorção a 750 nm;

$E_a$  = absorbância do extrato a 665 nm depois s da acidificação menos a absorção a 750nm;

$v$  = volume do solvente utilizado para extração ( $mL^{-1}$ );

$V_f$  = litro de água filtrada (L);

$l$  = percurso óptico da cubeta (cm);

27,91 = constante utilizada para etanol 90% (calculada a partir do coeficiente de absorção específico).

##### 4.4.2 Comunidade Zooplânctônica

Para a análise qualitativa dos organismos zooplânctônicos foram realizados arrastos horizontais com o auxílio de uma rede de plâncton de abertura de malha de 60 $\mu$ m. Em seguida, os organismos foram fixados com formol 4% (concentração final) e as amostras armazenadas em frascos de vidro para posterior triagem do material.

A identificação dos organismos foi realizada sob microscópio óptico (Zeiss-Axioplan-2) com aumento de até 1000X, com base em bibliografia especializada (BERNER, 1985; DE-MELO; HEBERT, 1994; DONNER, 1986; EDMONDSON, 1959; ELMOOR-LOUREIRO, 1997; INFANTE, 1980; KOSTE, 1978; KOSTE, SHIEL, 1989; KORINEK, 1981; KOROVCHINSKY, 1992; KOTOV; ISHIDA; TAYLOR, 2009; MATSUMURA-TUNDISI, 1986; ORLOVA-BIENKOWSKAJA,

2001; REID, 1985; SEGERS; MURUGAN; DUMONT, 1993; SEGERS, 1995; SHIEL; KOSTE; 1992; SHIEL; KOSTE, 1993; SMIRNOV, 1974).

Para a análise quantitativa foram realizados arrastos verticais conhecendo-se a profundidade do local e volume filtrado. Para determinação do volume coletado foi utilizado a fórmula do volume do cilindro ( $\pi.r^2 \times h$ ) x número de arrastos

onde:

$$\pi=3,14$$

$$r = 0,15 \text{ m (raio da rede)}$$

$$h=\text{profundidade}$$

As contagens de cladóceros e copépodos foram feitas em placas de acrílico quadriculada sob microscópio estereoscópio Zeiss-Stemi SV11, com aumento de até 66X, contando sub-amostras ou até a amostra inteira para os organismos raros. Para os rotíferos foram contadas sub-amostras de 1mL em câmara de Sedgewick-Rafter sob microscópio óptico com aumento de até 1000X.

#### **4.4.2.1 Índice de Frequência de Ocorrência**

A partir da frequência de ocorrência das espécies da comunidade zooplânctônica foram realizados os cálculos do Índice de Constância de Dájoz (LOBO; LEIGHTON, 1986), levando-se em consideração o número de amostras onde a espécie ocorreu, em relação ao número total das amostras coletadas (em porcentagem), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$F=100*Pa/P$$

onde:

**Pa = número de amostras contendo a espécie**

**P = número total de amostragens realizadas**

**F= frequência de ocorrência**

Em seguida as espécies foram classificadas em constantes, acessórias ou acidentais, de acordo com os seguintes critérios:

- 1. constantes** – ocorrência em mais de 50 % das amostragens;
- 2. acessórias** – ocorrência em mais de 25 % e menos de 50 % das amostragens;
- 3. acidentais ou raras** – ocorrência em menos de 25 % das amostragens.



#### **4.4.2.2 Índices de Diversidade**

Para a comparação da diversidade de espécies entre as represas e os diferentes meses amostrados foram calculados os índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ), de Simpson e a Curva do Componente Dominância de Diversidade (ODUM, 1988), com base nas seguintes fórmulas:

##### **1.Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ )**

$$H = \sum_i P_i \log P_i \quad \text{onde,}$$

$P_i$  (probabilidade de importância de cada espécie)  $P_i = n_i / N$

##### **2.Índice de Simpson (Dominância)**

$$c = \sum_i (n_i / N_i)^2 \quad \text{onde,}$$

$n_i$  = valor de importância de cada espécie (números, biomassa etc)

$N_i$  = total dos valores de importância

#### **4.5 Análise Estatística**

A análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada para comparar a distribuição dos parâmetros ambientais, ou seja, variáveis físicas, químicas e a variável biológica clorofila *a* na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan.

Já a análise de Correspondência Canônica (CCA) foi aplicada para verificar a existência de correspondência entre os parâmetros ambientais e a densidade da comunidade zooplanctônica.

Para verificar o nível de significância dos parâmetros ambientais e a densidade da comunidade zooplanctônica foi aplicado o Teste de Monte Carlo, com 999 permutações randômicas, com valor de  $p$  menor ou igual a 0,5 ( $p \leq 0,5$ ). As análises de Componentes Principais (PCA) e Correspondência Canônica (CCA) foram realizadas com o auxílio do programa CANOCO 3.12 (TER BRAAK; ŠMILAUER, 2000).

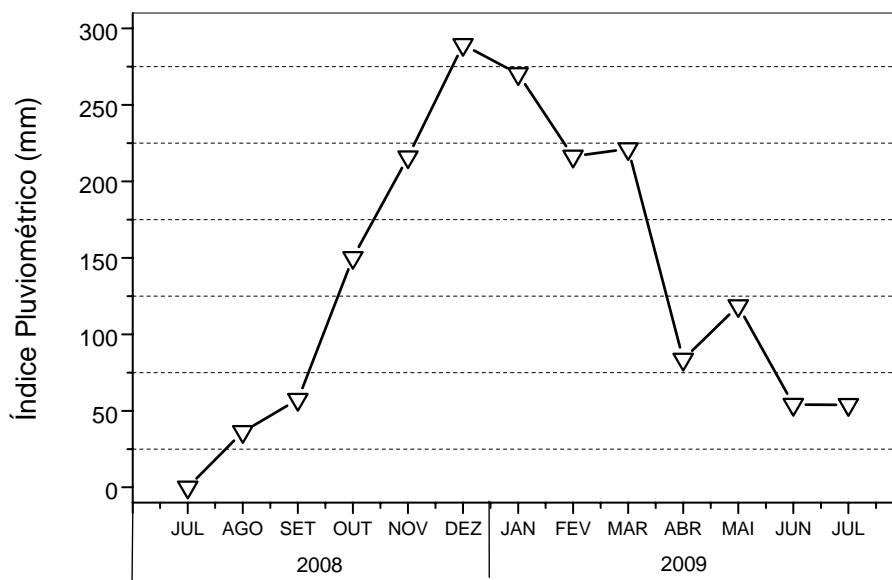
## 5 RESULTADOS

### 5.1 Parâmetros Meteorológicos

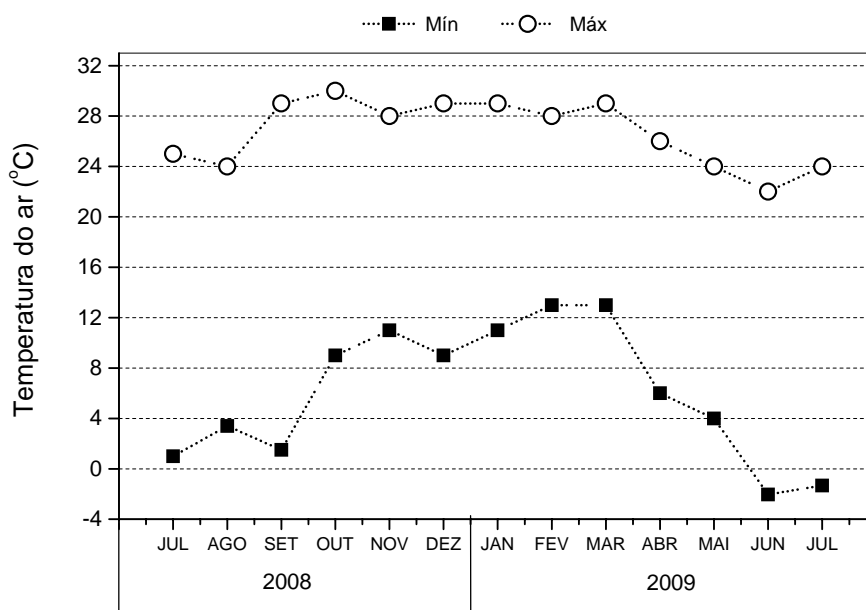
Os parâmetros meteorológicos referentes ao índice pluviométrico, temperatura do ar e velocidade do vento registrados no período de julho de 2008 a julho de 2009 estão apresentados nas figuras 2, 3 e 4.

Os valores referentes à precipitação pluviométrica e temperatura do ar comprovam a existência de duas estações bem definidas, uma seca e fria (abril a julho) e uma estação quente e chuvosa (outubro a março).

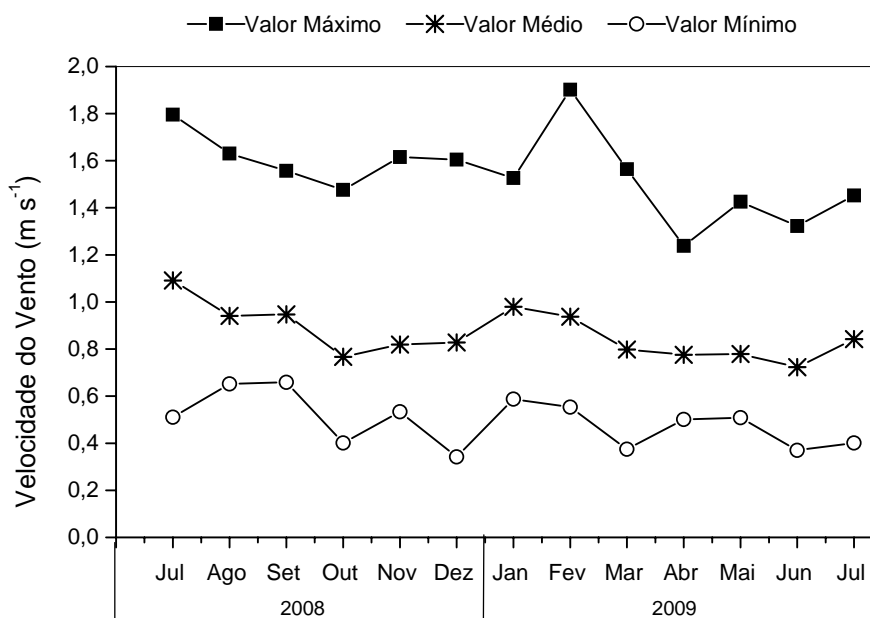
De uma maneira geral, os dados de velocidade do vento apresentaram-se relativamente constantes ao longo de todo período avaliado. Foram observados registro de maiores valores nos meses de julho de 2008 ( $1,79 \text{ m. s}^{-1}$ ) e fevereiro de 2009 ( $1,90 \text{ m. s}^{-1}$ ). Já os meses de dezembro de 2008 ( $0,34 \text{ m. s}^{-1}$ ), março e junho de 2009 ( $0,37 \text{ m. s}^{-1}$ ) foram caracterizados pelos menores valores de velocidade do vento.



**Figura 2.** Índice pluviométrico (mm) registrados na estação meteorológica localizada próximo a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, no período de julho de 2008 a julho de 2009.



**Figura 3.** Valores de temperatura mínima e máxima do ar (°C) registrados na estação meteorológica localizada próxima a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, no período de julho de 2008 a julho de 2009.



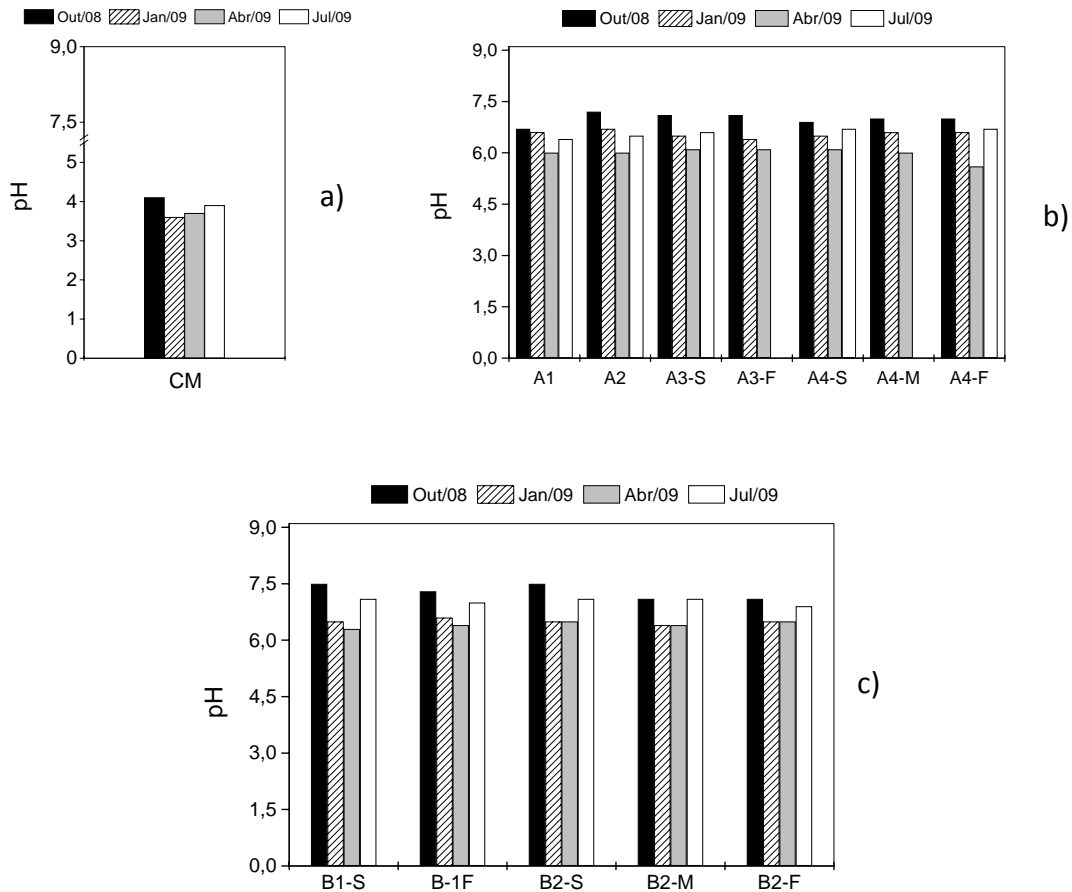
**Figura 4.** Variações da velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>) registradas na estação meteorológica localizada próxima a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, no período de julho de 2008 a julho de 2009.

## 5.2 Variáveis Físicas e Químicas

### 5.2.1 *pH, Temperatura, Condutividade Elétrica, Transparência da água (Secchi), Concentração de Oxigênio Dissolvido, Dureza, Fluoreto Sulfato e Sólidos em Suspensão.*

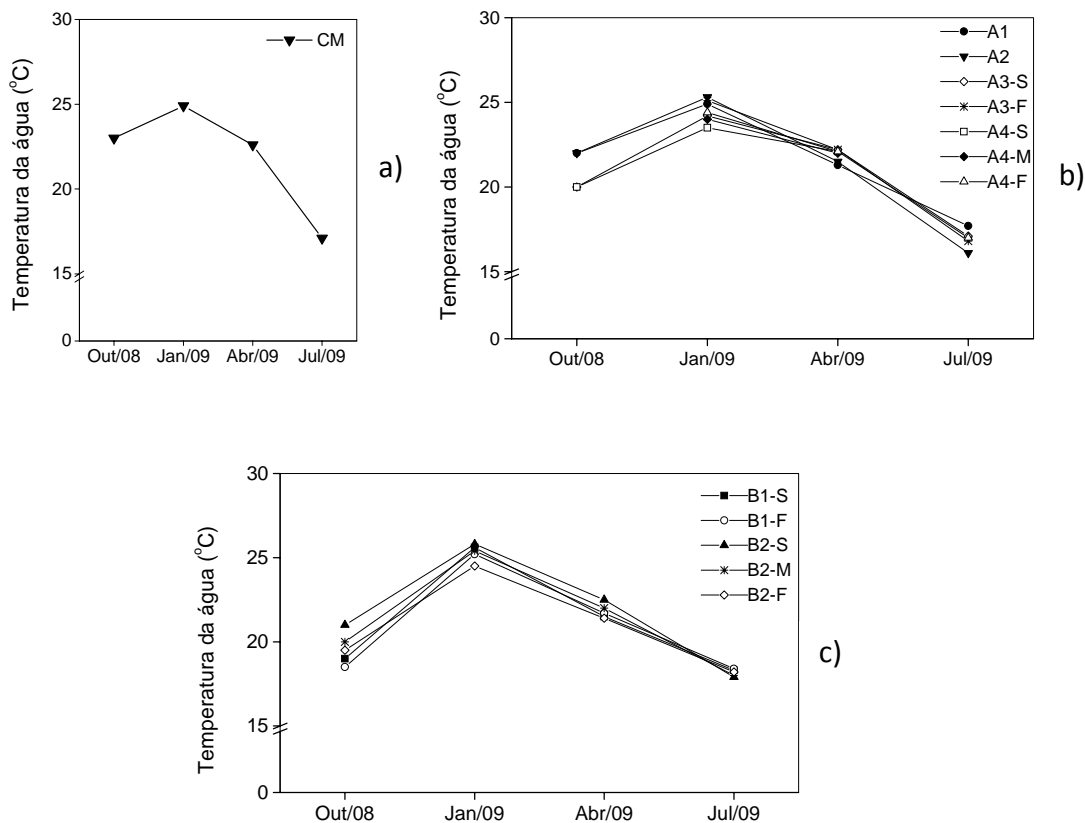
Os valores de pH, temperatura, condutividade elétrica, transparência da água, concentração de oxigênio dissolvido, dureza, fluoreto e sólidos em suspensão determinados em amostras da UTM/INB, represas das Antas e Bortolan estão apresentados nas figuras de 5 a 13.

Durante todo período de estudo os valores de pH evidenciaram condições ácidas na UTM/INB, por outro lado, na represa das Antas e represa Bortolan o pH manteve-se próximo à neutralidade. Os valores de pH variaram de 3,6 no ponto CM (janeiro de 2009) a 7,5 nos pontos B1 e B2 (outubro de 2008), ambos localizados na superfície da represa Bortolan. Na represa das Antas somente no mês de abril de 2009 no ponto A4-F foi observado registro de pH levemente ácido no valor de 5,4 (Figura 5).



**Figura 5.** Variação dos valores de pH nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

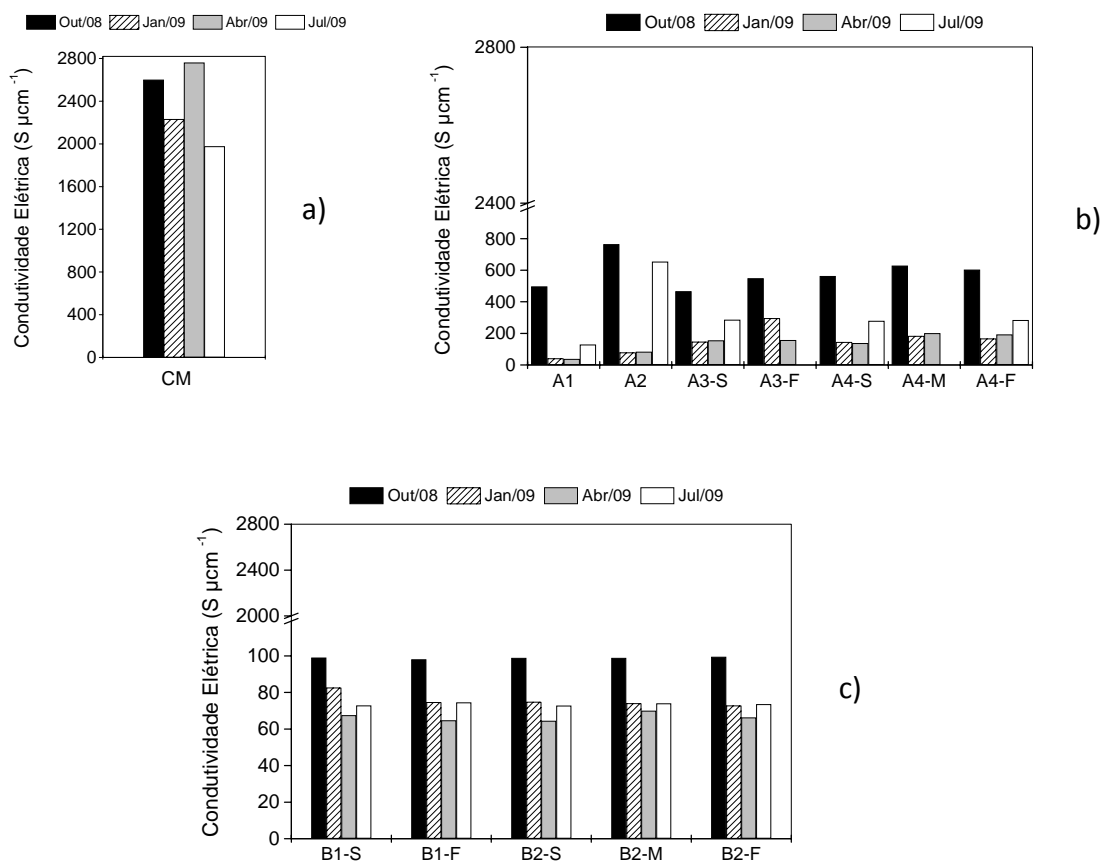
Em relação a temperatura da água na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, houve registro de variações temporais com maiores valores sendo registrados em janeiro de 2009 (estação quente), já os menores valores foram detectados no mês de julho de 2009 (estação fria) (Figura 6). Para os três ambientes analisados as temperaturas máxima e mínima registradas foram de 27 °C no ponto CM e 16,1°C no ponto A2.



**Figura 6.** Variação dos valores de temperatura da água (°C) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Os resultados obtidos para a condutividade elétrica da água na UTM/INB, represas das Antas e Bortolan estão apresentados na figura 7. No decorrer do presente estudo verificou-se que nas amostras da UTM/INB houve registros de elevados valores de condutividade elétrica durante todo período de estudo, uma vez que os valores variaram de 1976 a 2760  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

Em relação a represa das Antas houve registro de elevada amplitude de variação dos valores de condutividade elétrica, cujos valores mínimo e máximo detectados foram respectivamente 37,8  $\mu\text{S cm}^{-1}$  no ponto A1 em abril de 2009 e 765,0  $\mu\text{S cm}^{-1}$  no ponto A2 em outubro de 2008. Na represa Bortolan os valores de condutividade elétrica da água foram considerados menores quando comparados aos valores registrados na UTM/INB e represa das Antas, variando de 64,5  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (ponto B2-S em abril de 2009) a 99,5  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (ponto B2-F em janeiro de 2009).



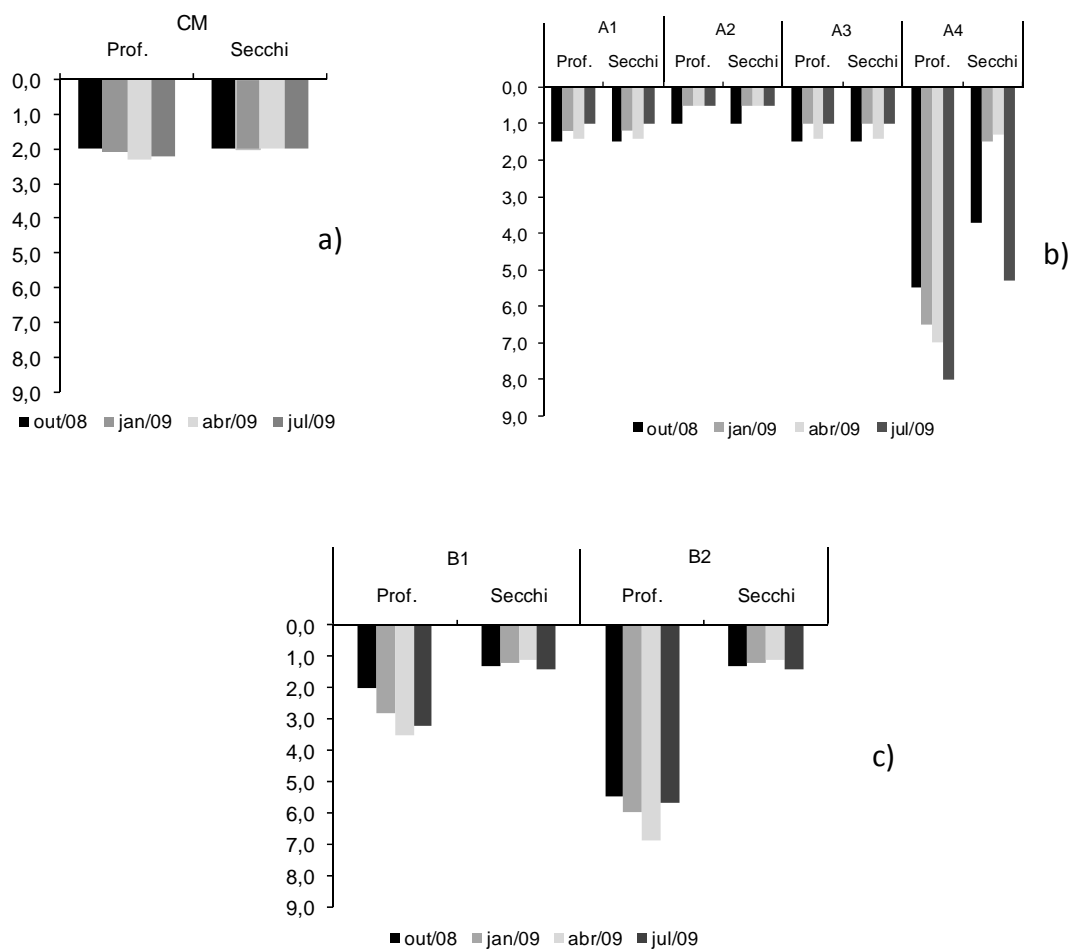
**Figura 7.** Variação dos valores da concentração de condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Os valores de profundidade e transparência da água para a UTM/INB, represas das Antas e Bortolan estão apresentados na figura 8.

Para os três ambientes analisados os valores de transparência variaram de 0,5 a 5,3m ao longo de todo período avaliado.

O maior valor de transparência registrado ou seja, 5,3m foi em julho de 2009 (período seco) no ponto A4, correspondente a região limnética da represa das Antas, já os pontos A1, A2, A3 apresentaram transparência total em todo o período de estudo, devido à baixa profundidade registrada nesses locais que variou de 0,5 a 1,5m.

Na represa Botolan também houve registros de baixos valores de transparência, mesmo no ponto B2, situado na região limnética, cujo valor máximo de transparência registrado foi de apenas 1,4m.



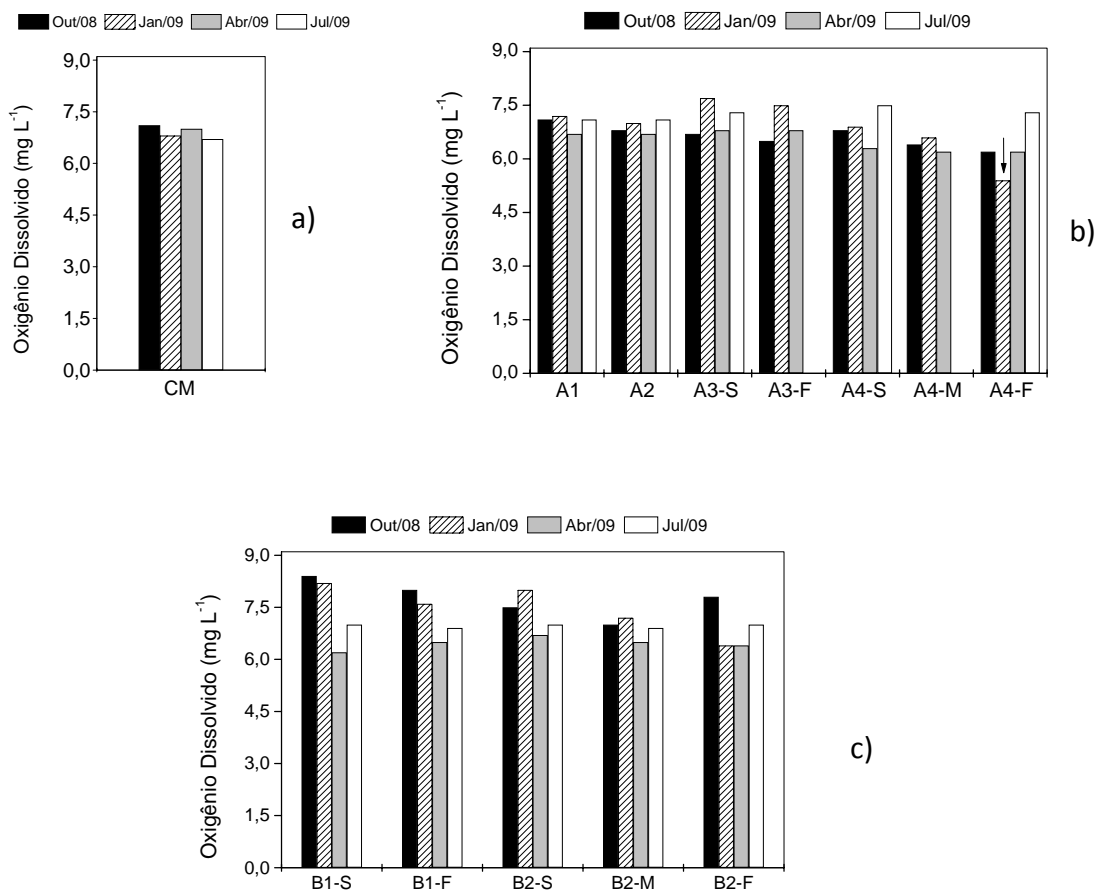
**Figura 8.** Variação da profundidade e transparência da água (secchi) em metros nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Os resultados obtidos para a concentração de oxigênio dissolvido na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 9.

Durante todo período amostral os valores referentes a concentração de oxigênio dissolvido nos três ambientes analisados variaram de  $5,4 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto A4-F em janeiro de 2009) a  $8,4 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto B1-S em outubro de 2008).

As maiores concentrações de oxigênio dissolvido ocorreram na represa Bortolan, seguido da represa das Antas e UTM/INB.

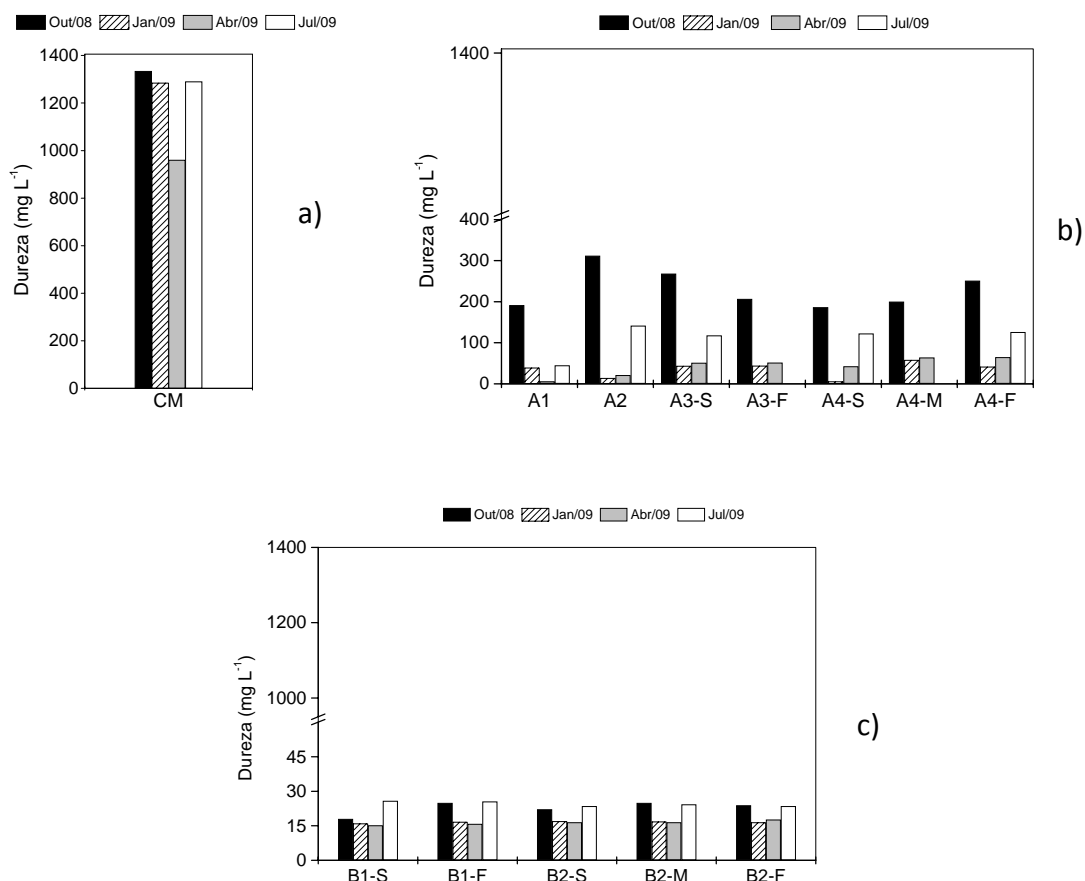




**Figura 9.** Variação dos valores da concentração de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Os resultados referentes a variável dureza da água na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 10.

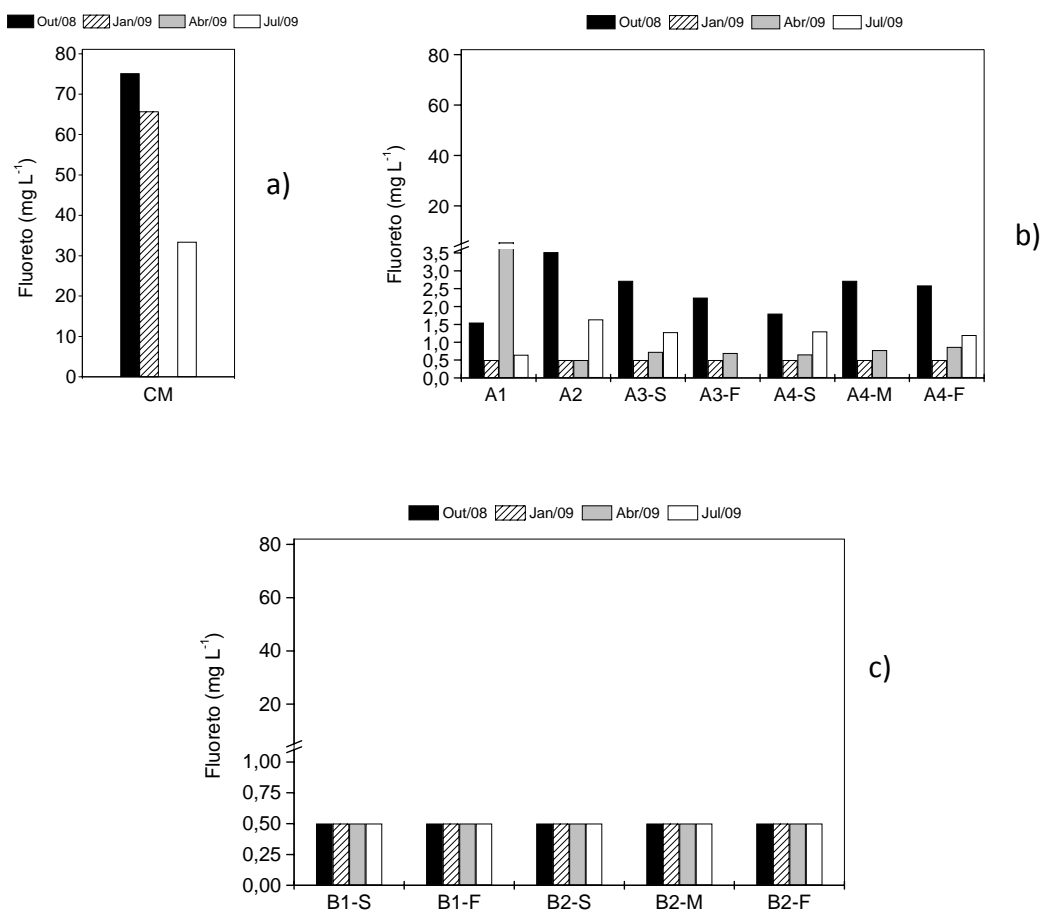
Os valores da concentração de dureza variaram de  $6,4 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto A1 em abril de 2009) a  $1333,9 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto CM em outubro de 2008). Na comparação entre os três ambientes analisados variações espaciais foram observadas, com registros de valores mais elevados na UTM/INB ( $960,3$  a  $1333,9 \text{ mg L}^{-1}$ ). Na represa das Antas maiores concentrações de dureza foram registradas em outubro de 2008, cujo maior valor foi  $311,9 \text{ mg L}^{-1}$  no ponto A2. Já na represa Bortolan durante todo período de estudo baixas concentrações dessa variável foram registradas, com valores variando de  $15,2$  a  $25,8 \text{ mg L}^{-1}$ .



**Figura 10.** Variação dos valores de dureza da água ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Os valores da concentração de fluoreto para amostras coletadas na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 11.

Em relação às concentrações de fluoreto verificou-se registros de elevadas concentrações na UTM/INB (ponto CM), durante todo período de estudo cujos valores variaram de 33,4 a 75,1  $\text{mg L}^{-1}$ . Já na represa das Antas as concentrações desse elemento variaram de  $< 0,5$  a 5,47  $\text{mg L}^{-1}$ , com maiores valores sendo detectados em de outubro de 2008 e abril de 2009. Na represa Bortolan concentração  $< 0,5 \text{ mg L}^{-1}$  foram registradas durante todo o período amostral.



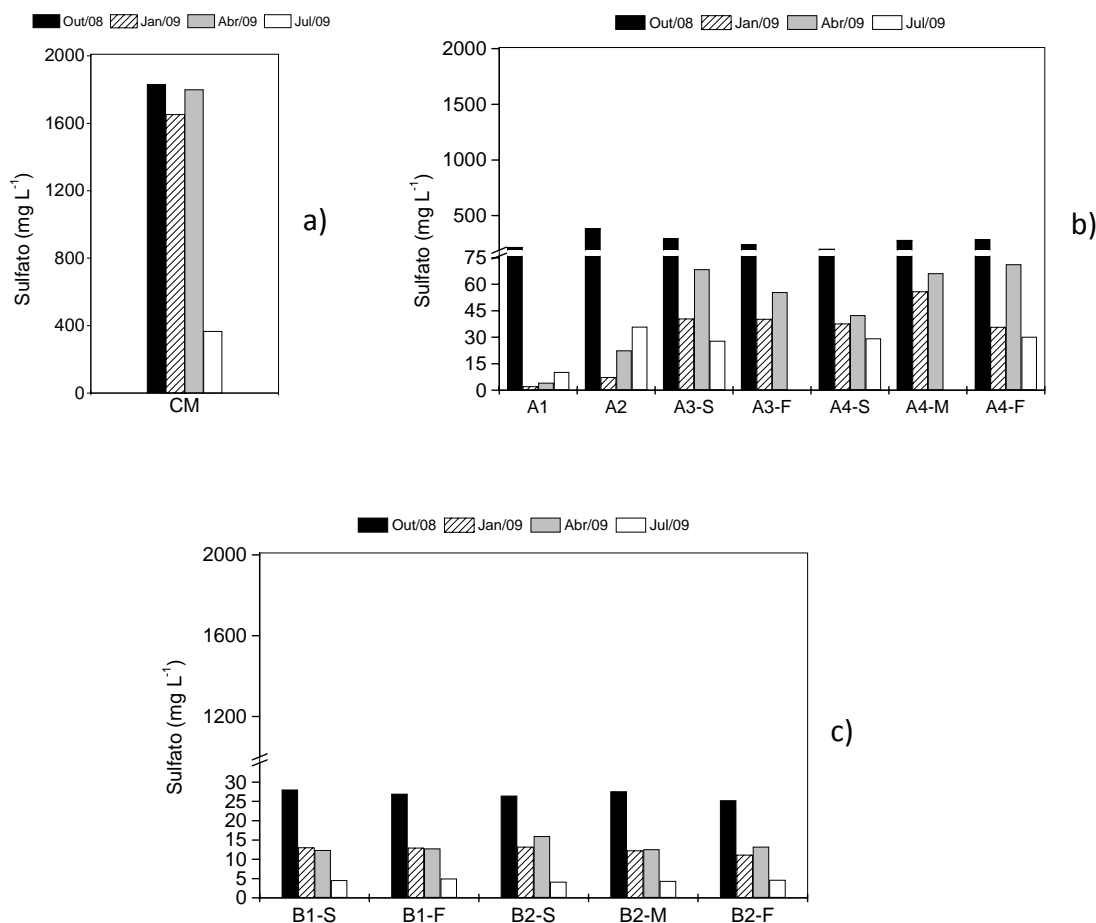
**Figura 11.** Variação dos valores de fluoreto ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Para o íon sulfato foram observadas variações sazonais, com maiores concentrações detectadas em outubro de 2008 e abril de 2009 na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan. (Figura 12).

Durante todo período de estudo as concentrações de sulfato variaram de  $4,2 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto B2-S em julho de 2009) a  $1832,0 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto CM em outubro de 2008).

Na comparação entre amostras dos três ambientes analisados, elevadas concentrações de sulfato foram registradas na UTM/INB, durante todo período de estudo. Já na represa das Antas as maiores concentrações desse elemento foram obtidas em outubro de 2008, com maior valor sendo registrado no ponto A2 ( $386,7 \text{ mg L}^{-1}$ ). Por outro lado, na represa Bortolan, baixas concentrações de sulfato ao longo de todo período avaliado foram verificadas, com valores máximo e mínimo sendo registrados

respectivamente, nos pontos B1-S ( $28,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) em outubro de 2008 e B2-S ( $4,2 \text{ mg L}^{-1}$ ) em julho de 2009.



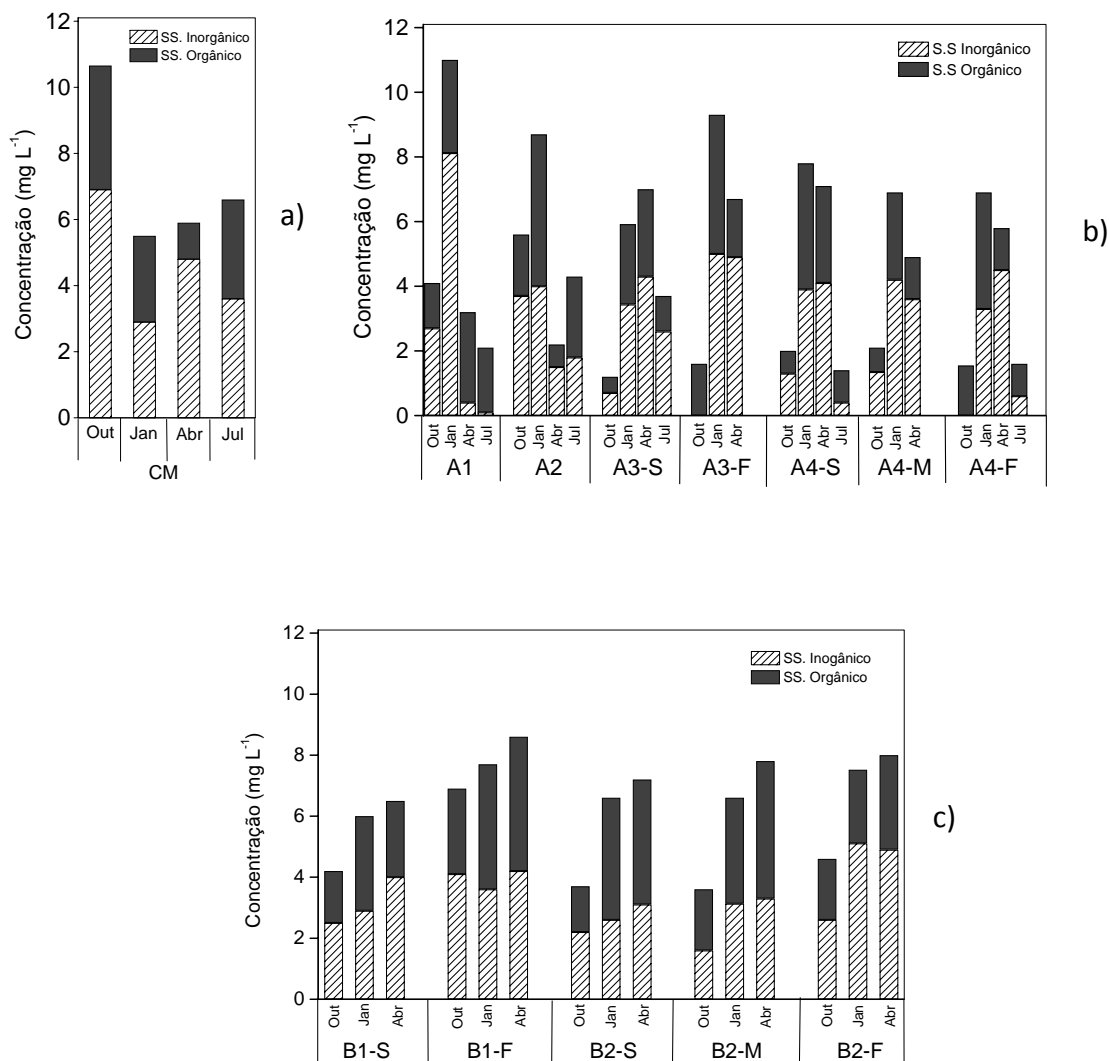
**Figura 12.** Variação dos valores de sulfato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Na figura 13 estão apresentados os valores de sólidos em suspensão total (material orgânico e inorgânico) da UTM/INB e represas das Antas e Bortolan.

Durante o período de estudo as concentrações de sólidos em suspensão total para a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan variaram de  $0,8 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto B1-S em julho de 2009) a  $11,0 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto A1 em janeiro de 2009).

Verificou-se que na UTM/INB e na represa das Antas a fração inorgânica representou uma parcela maior da parte total dos sólidos, quando comparada à fração orgânica em quase todos os pontos de amostragem e período sazonal, com registro de

maiores concentrações nos pontos CM (6,9 mg L<sup>-1</sup>) e A1 (8,12 mg L<sup>-1</sup>) nos meses de outubro de 2008 e janeiro de 2009, respectivamente. Por outro lado, na represa Bortolan, às frações inorgânicas e orgânicas tiveram representatividade semelhante na parcela total dos sólidos, com maiores concentrações registradas no ponto B2 no fundo (5,11 mg L<sup>-1</sup>) e na superfície (4,5 mg L<sup>-1</sup>), respectivamente.



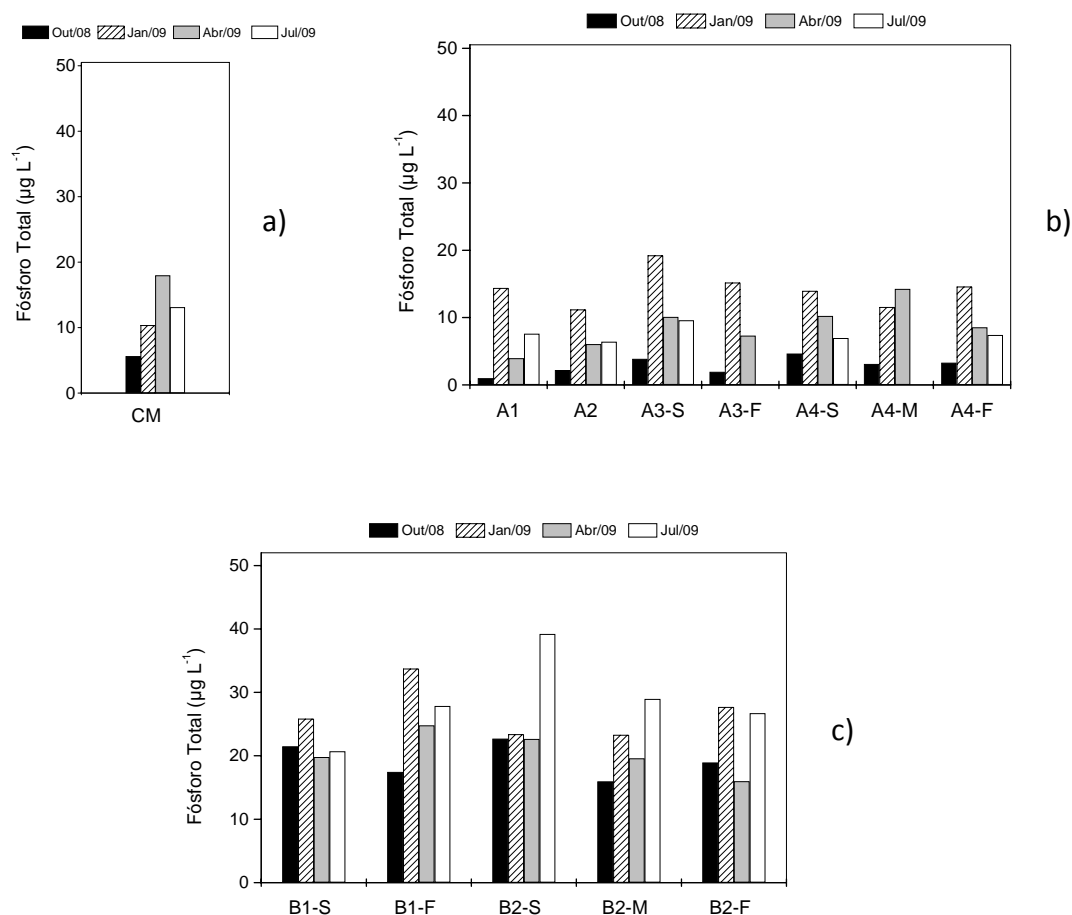
**Figura 13.** Variação dos valores da concentração de sólidos em suspensão fração orgânica e inorgânica (mg L<sup>-1</sup>) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

### ***5.2.2 Nutrientes- Formas Fosfatadas, Silicato e Formas Nitrogenadas***

Na figura 14 estão apresentados os dados referentes às concentrações de fósforo total nos pontos de amostragem localizados na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan.

As concentrações de fósforo total para os três ambientes variaram de  $1,0 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto A1 em outubro de 2008) a  $39,20 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto B2-S em julho de 2009). Excetuando-se amostras do ponto CM, foram verificadas variações temporais com registros de maiores concentrações dessa forma fosfatada em janeiro de 2009, em quase todos os pontos de amostragem.

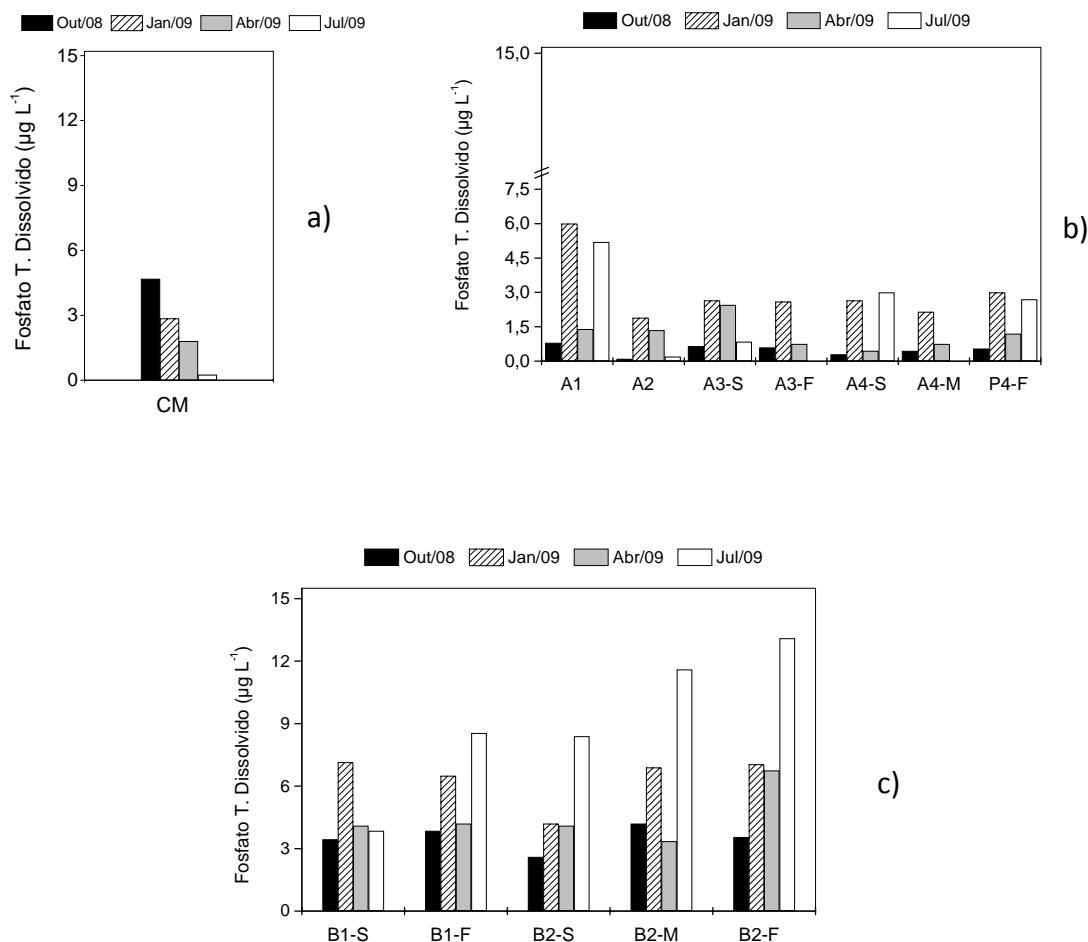
Na comparação entre os três sistemas analisados verificou-se que os pontos de amostragem da represa Bortolan apresentaram maiores concentrações de fósforo total quando comparada às concentrações registradas nos pontos da represa das Antas e UTM/INB.



**Figura 14.** Variação dos valores da concentração de fósforo total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Na figura 15 estão apresentados os resultados obtidos para as concentrações de fosfato total dissolvido. As concentrações de fosfato total dissolvido variaram de  $0,10 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto A1) a  $13,1 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto B2-F), registradas nos meses de outubro de 2008 e julho de 2009, respectivamente.

No decorrer do presente estudo variações espaciais e temporais foram observadas entre os resultados obtidos para UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan. Maiores concentrações dessa forma fosfatada foram verificadas na represa Bortolan durante todo período amostral, cujas concentrações variaram de  $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto B2-S em outubro de 2008) a  $13,1 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto B2-F em julho de 2009).



**Figura 15.** Valores da concentração de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

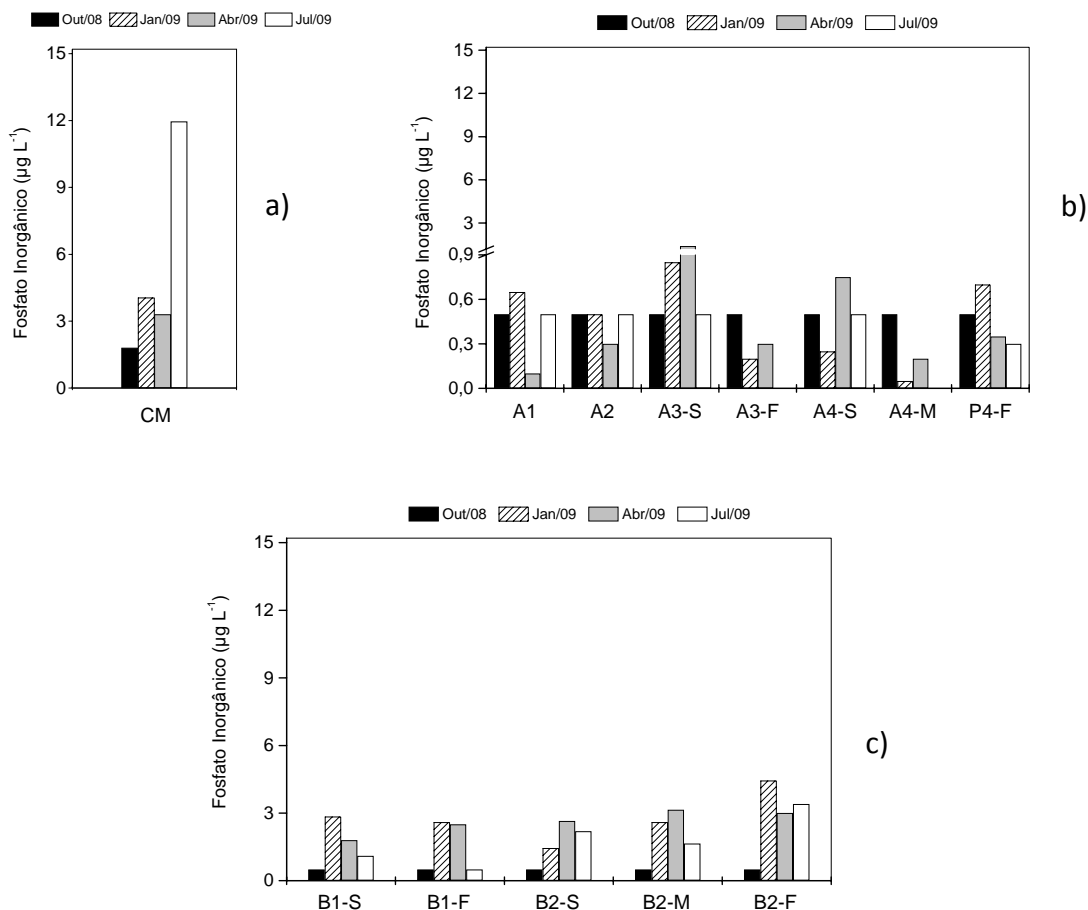
As concentrações de fosfato inorgânico registradas na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, estão apresentadas na figura 16.

Variações espaciais de fosfato inorgânico foram detectadas, com maior concentrações na UTM/INB, seguido da represa Bortolan e represa das Antas. No presente estudo os valores de fosfato inorgânico variaram de 0,5 a 11,95  $\mu\text{g L}^{-1}$  ao longo do período de amostragem.

Na UTM/INB houve registros de concentrações mais elevadas desse nutriente em julho de 2009 (11,95  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), sendo verificado diferenças sazonais. Por outro lado, na represa das Antas as concentrações de fosfato inorgânico apresentaram baixa amplitude de variação sazonal, com maior valor sendo registrado no ponto A3-S em



abril de 2009 (1,40  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Na represa Bortolan a maior concentração foi obtida no mês de janeiro de 2009 no ponto B2-F (4,45  $\mu\text{g L}^{-1}$ ).



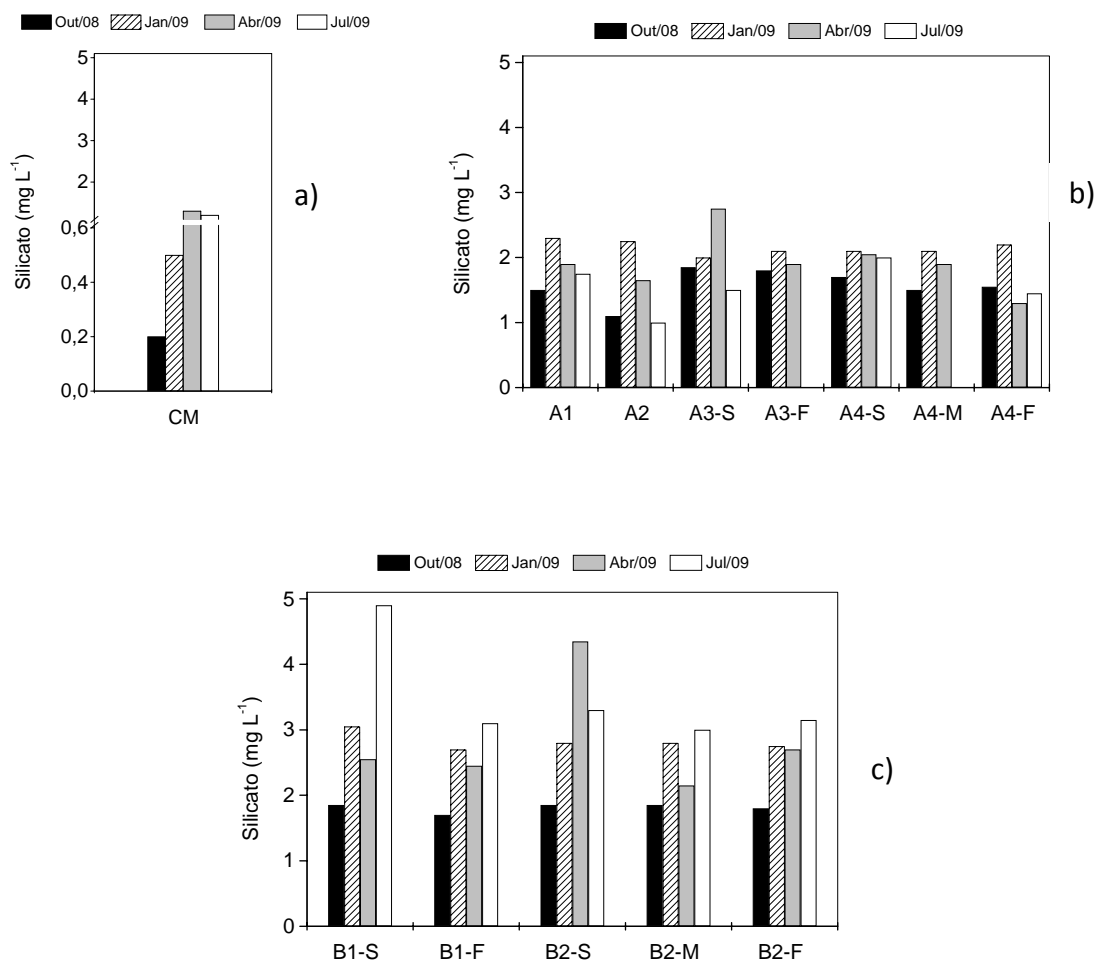
**Figura 16.** Valores da concentração de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Os valores referentes as concentrações de silicato para a UTM/INB, represas das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 17.

Durante todo o período de estudo as concentrações desse nutriente variaram de 0,20  $\text{mg L}^{-1}$  (ponto CM) a 4,9  $\text{mg L}^{-1}$  (ponto B1-S).

Na comparação entre os três ambientes analisados verificou-se maiores concentrações de silicato na represa Bortolan, cujo maior valor detectado foi 4,9  $\text{mg L}^{-1}$  em julho de 2009 no ponto B1-S. Na represa das Antas e na UTM/INB as maiores

concentrações de silicato foram registradas em abril de 2009, nos pontos A3-S (2,75 mg L<sup>-1</sup>) e CM (1,30 mg L<sup>-1</sup>).

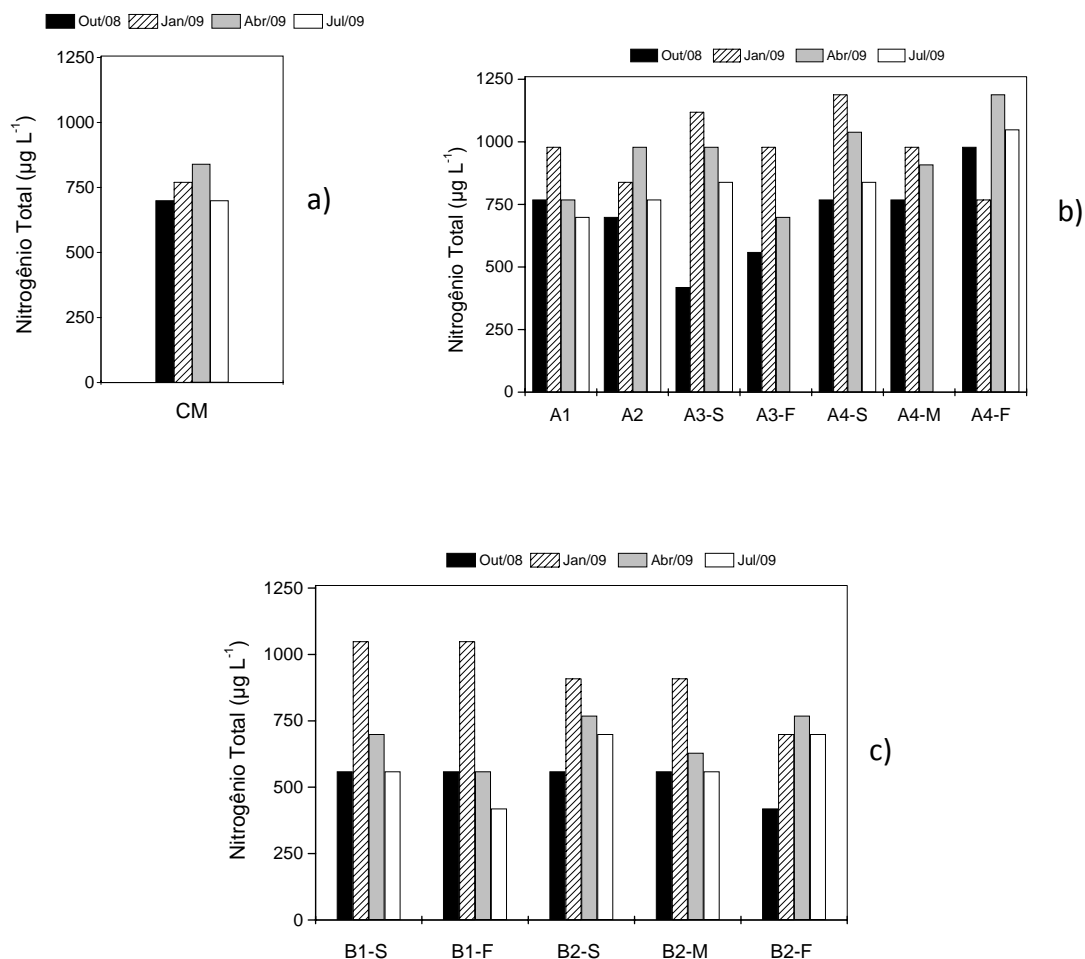


**Figura 17.** Valores da concentração de silicato (mg L<sup>-1</sup>) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Os resultados das concentrações de nitrogênio total da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 18 a), b) c). Para os três ambientes analisados elevadas concentrações de nitrogênio total foram registradas, com valores variando de 420,0 µg L<sup>-1</sup> a 1190,0 µg L<sup>-1</sup>.

Variações espaciais na concentração dessa forma nitrogenada foram detectadas ao longo do período avaliado, com registros de maiores concentrações na represa das Antas, seguido da represa Bortolan e da UTM/INB.

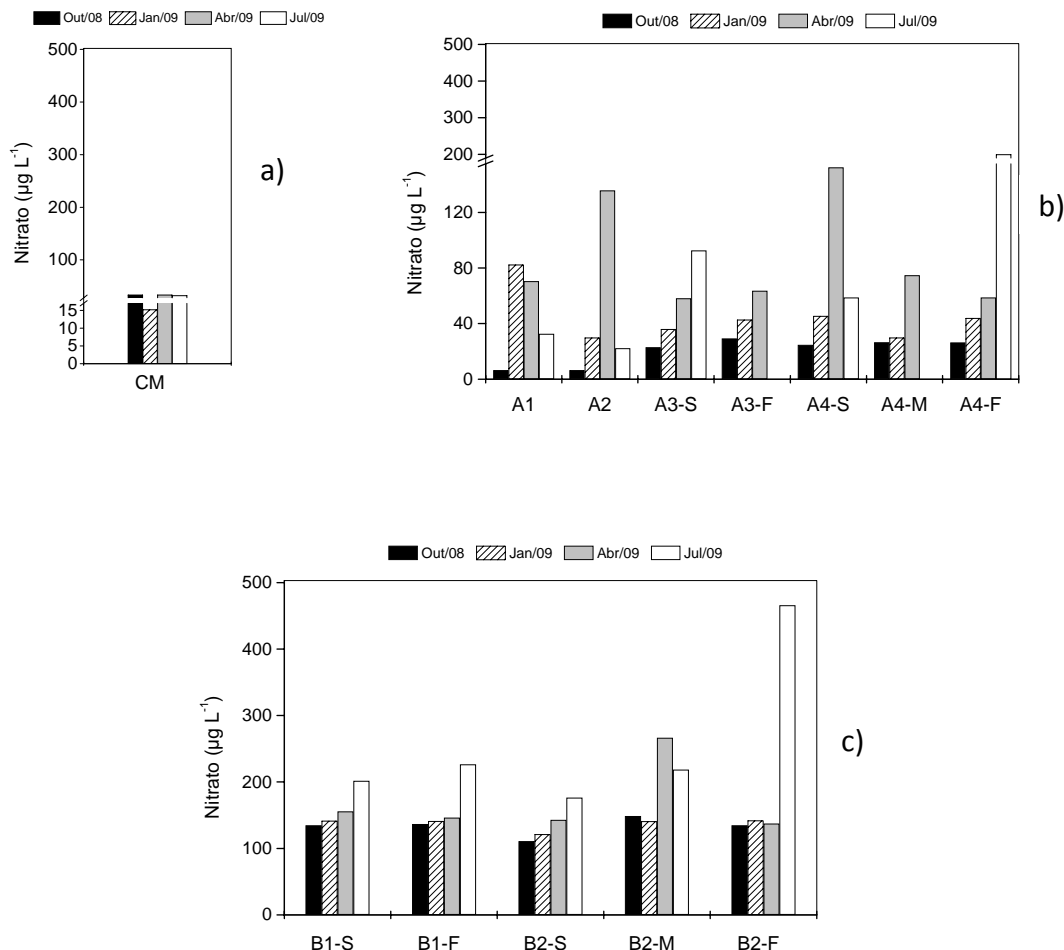
Durante todo período de estudo maiores concentrações de nitrogênio total foram detectadas nos meses de janeiro e abril de 2009.



**Figura 18.** Valores da concentração de nitrogênio total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Na comparação entre a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan verificou-se variações espaciais na concentração de nitrato, com registro de maiores concentrações na represa Bortolan cujos valores variaram de 110,85 a 465,9  $\mu\text{g L}^{-1}$ , seguido dos valores registrados para as represas das Antas (6,53- 200,7  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e UTM/INB cujos valores apresentaram baixa amplitude de variação (15,25- 33,8  $\mu\text{g L}^{-1}$ ).

Em quase todo período de estudo houve registros de maiores concentrações dessa forma dissolvida nos meses de abril e julho de 2009 na UTM/INB, represa das Antas e Bortolan (Figura 19).



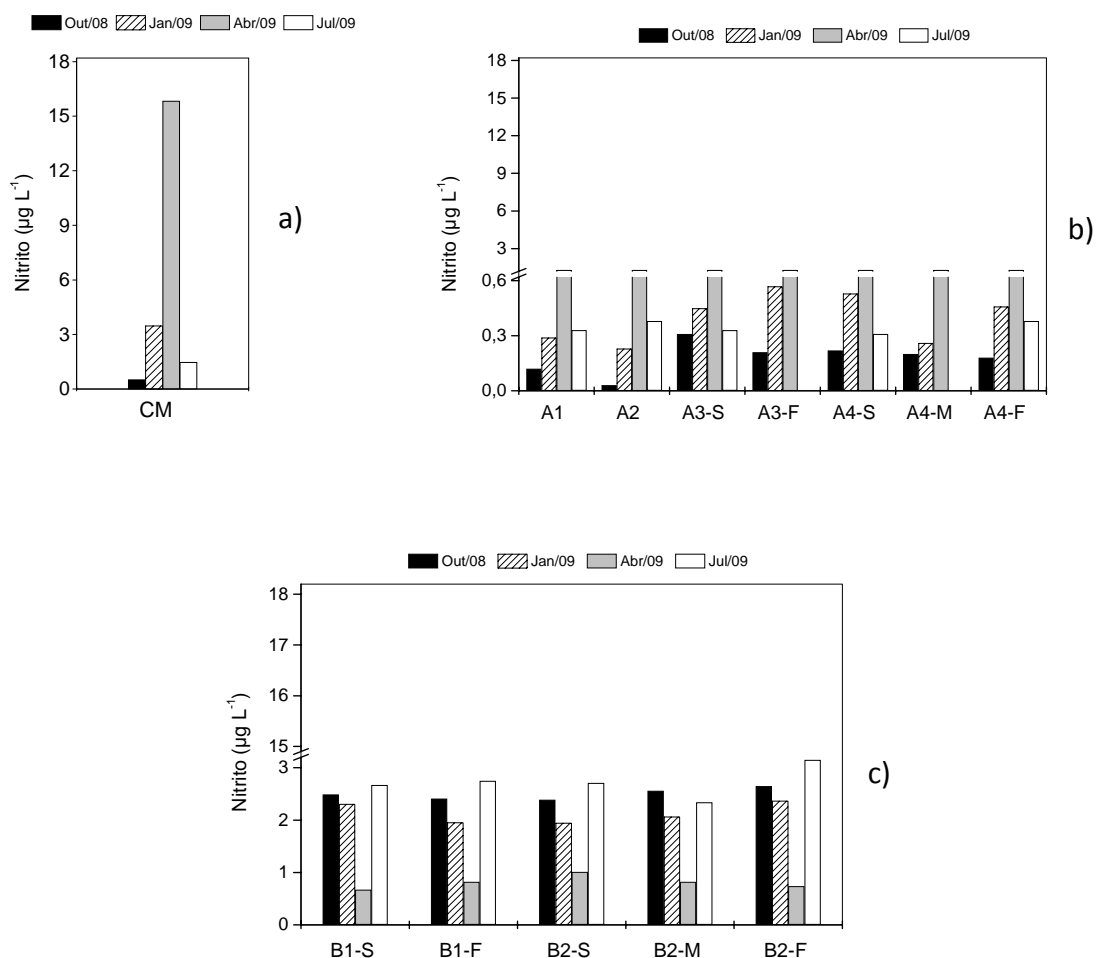
**Figura 19.** Valores da concentração de nitrato ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Neste estudo, os valores da concentração de nitrito variaram de  $0,12 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto A1 em outubro de 2008) a  $15,83 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto CM em abril de 2009) na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan (Figura 20).

Entre os três ambientes analisados, na UTM/INB observou-se concentrações de nitrito superiores, quando comparada às represas das Antas e Bortolan. Na UTM/INB e represa das Antas maiores concentrações de nitrito foram detectadas no mês de abril de

2009, já na represa Bortolan maiores valores de concentração ocorreram em julho de 2009.

No presente estudo maior amplitude de variação na concentração de nitrito foi verificada na UTM/INB, cujos valores mínimo e máximo foram  $0,52 \mu\text{g L}^{-1}$  e  $15,83 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. Para a represa das Antas e represa Bortolan os valores mínimo e máximo obtidos foram ( $0,12$ -  $1,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e ( $0,67$ -  $3,15 \mu\text{g L}^{-1}$ ), respectivamente.

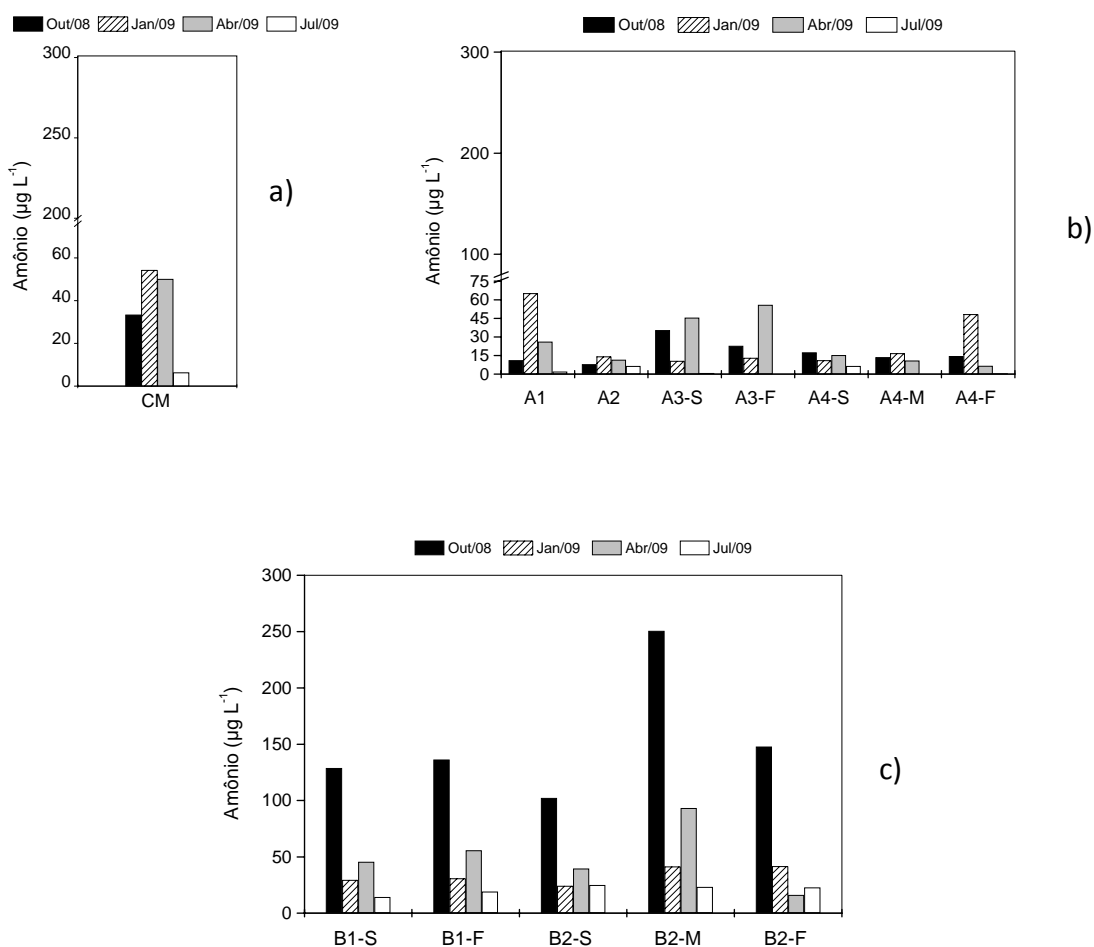


**Figura 20.** Valores da concentração de nitrito ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Na figura 21 estão indicados os valores referentes às concentrações de amônio na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan.

Durante todo período de estudo os valores da concentração de amônio para os três ambientes analisados variaram de  $0,55 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto A4-F em julho de 2009) a  $250,6 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto B2-M em outubro de 2008).

Variações temporais e espaciais foram observadas com maiores concentrações sendo registradas em outubro de 2008 na represa Bortolan ( $250,6 \mu\text{g L}^{-1}$ ), seguido da represa das Antas ( $65,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ) em abril de 2009 e UTM/INB ( $54,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ) em janeiro de 2009.



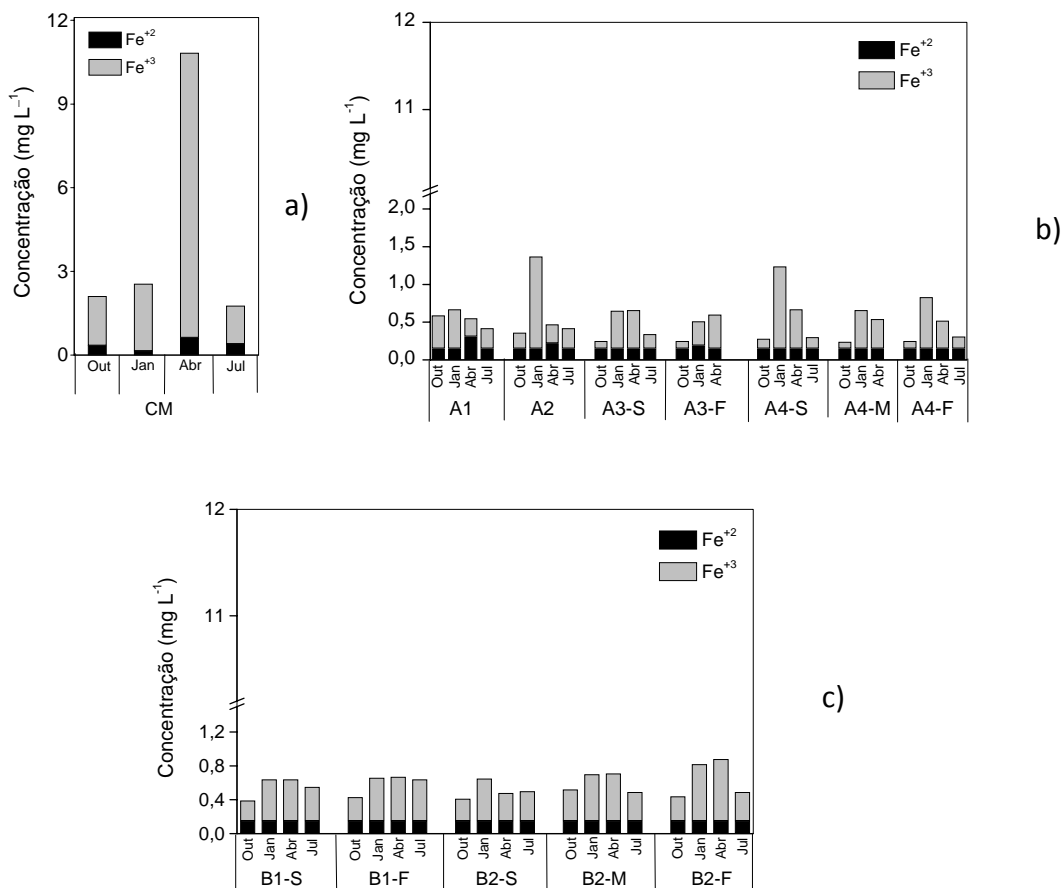
**Figura 21.** Valores da concentração de amônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos CM: **a)** (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

### 5.2.3 *Fe total, Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>*

Os valores das concentrações de ferro total e dos íons Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup> obtidos para UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 22. Para ferro total as concentrações nos três ambientes analisados variaram de 0,1 a 10,8 mg L<sup>-1</sup>, com ocorrência de maiores concentrações no ponto CM (UTM/INB).

Em relação a forma reduzida Fe<sup>+2</sup> houve registros de valores < 0,15 mg L<sup>-1</sup> na represa Bortolan, já na represa das Antas os valores variaram de < 0,15 a 0,31 mg L<sup>-1</sup>. Por outro lado, em amostras da UTM/INB, houve registros de concentrações maiores desse elemento que variaram de < 0,15 a 0,63 mg L<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos para o íon Fe<sup>+3</sup> foram maiores quando comparado às concentrações registradas para o íon Fe<sup>+2</sup>, verificando-se assim, prevalência da forma oxidada em amostras dos três ambientes estudados. Os valores da concentração de Fe<sup>+3</sup> variaram de 0,1 a 10,2 mg L<sup>-1</sup>, com registros de concentrações mais elevadas na UTM/INB.



**Figura 22.** Valores da concentração de Fe Total, Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup> (mg L<sup>-1</sup>) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

#### 5.2.4 Al, As, Pb, Co, Cr, Cu, Mn, Zn.

Os resultados dos metais alumínio, arsênio, chumbo, cobalto, cromo, cobre, manganês e zinco na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan referentes ao período de janeiro e julho de 2009, estão apresentados na tabela 2.

Dos metais analisados na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan verificou-se que o metal manganês apresentou concentrações elevadas na UTM/INB, cujos valores registrados foram 142,8 mg L<sup>-1</sup> e 94,1 mg L<sup>-1</sup> em janeiro e julho de 2009, respectivamente. Nas represas das Antas e Bortolan as concentrações de manganês variaram de 0,3 a 1,4 mg L<sup>-1</sup>. (Tabela 2). Na represa das Antas concentrações de manganês acima dos limites permitidos pelas legislações vigentes, ou seja, maior que 1,0 mg L<sup>-1</sup> para Classe 2 foram detectadas nos pontos A4-S (1,02 mg L<sup>-1</sup>), A4-M e A4-F



(1,40 mg L<sup>-1</sup>) em janeiro de 2009 e nos pontos A3-S (1,26 mg L<sup>-1</sup>) A4-S e A4-F (1,27 mg L<sup>-1</sup>), em julho de 2009.

Em relação aos demais metais Al, As, Pb, Co, Cr, Cu e Zn, houve registros de baixas concentrações nos três corpos d'água analisados, com exceção dos metais alumínio e zinco na UTM/INB, que foram registrados em elevadas concentrações. Para o metal zinco em janeiro e julho de 2009, concentrações nos valores de 19,9 mg L<sup>-1</sup> e 15,9 mg L<sup>-1</sup> foram registradas. Em relação a alumínio concentrações nos valores de 70,85 mg L<sup>-1</sup> e 68,25 mg L<sup>-1</sup> foram registradas em janeiro e julho de 2009, respectivamente.

**Tabela 2** - Valores da concentração dos metais alumínio (Al), arsênio (As), chumbo (Pb), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn), nos pontos: CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses janeiro e julho de 2009.

<b>Pontos</b>	<b>Meses</b>	<b>Al (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>As (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pb (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Co (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cr (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cu (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Mn (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Zn (mg L<sup>-1</sup>)</b>
<b>CM</b>	Jan/09	70,85	<0,0030	0,0110	0,1395	<0,04	0,012	142,8	19,9
	Jul/09	68,25	<0,0015	0,0035	0,0960	<0,02	0,018	94,1	15,9
<b>A1</b>	Jan/09	1,83	<0,0030	0,0025	<0,050	<0,04	<0,040	0,79	<0,02
	Jul/09	0,193	<0,0015	0,0020	<0,025	<0,02	<0,002	0,81	<0,01
<b>A2</b>	Jan/09	1,90	<0,0030	<0,001	<0,050	<0,04	<0,040	0,89	<0,02
	Jul/09	0,430	<0,0015	0,0009	<0,025	<0,02	<0,002	0,74	<0,01
<b>A3-S</b>	Jan/09	1,73	<0,0030	<0,0010	<0,050	<0,04	<0,040	0,96	0,025
	Jul/09	0,234	<0,0015	0,0030	<0,025	<0,02	<0,002	1,26	<0,01
<b>A3-F</b>	Jan/09	1,95	<0,0030	<0,0010	<0,050	<0,04	<0,040	0,99	0,03
	Jul/09	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>A4-S</b>	Jan/09	2,22	<0,0030	0,0020	<0,050	<0,04	<0,040	1,02	0,03
	Jul/09	0,278	<0,0015	0,0045	<0,025	<0,02	<0,002	1,27	<0,01
<b>A4-M</b>	Jan/09	2,01	<0,0030	0,0020	<0,050	<0,04	<0,040	1,40	0,085
	Jul/09	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>A4-F</b>	Jan/09	2,33	<0,0030	0,0020	<0,050	<0,04	<0,040	1,40	0,09
	Jul/09	0,305	<0,0015	<0,0005	<0,025	<0,02	<0,002	1,27	<0,01
<b>B1-S</b>	Jan/09	1,64	<0,0030	0,0065	<0,050	<0,04	<0,040	0,49	<0,02
	Jul/09	0,523	<0,0015	0,113	<0,025	<0,02	0,0026	0,30	<0,01
<b>B1-F</b>	Jan/09	2,74	<0,0030	0,001	<0,050	<0,04	<0,040	0,79	<0,02
	Jul/09	0,662	<0,0015	0,002	<0,025	<0,02	<0,002	0,34	<0,01
<b>B2-S</b>	Jan/09	1,50	<0,0030	<0,001	<0,050	<0,04	<0,040	0,53	<0,02
	Jul/09	0,734	<0,0015	0,0042	<0,025	<0,02	0,005	0,32	<0,01
<b>B2-M</b>	Jan/09	1,66	<0,0030	0,0015	<0,050	0,09	<0,040	0,58	0,03
	Jul/09	0,875	<0,0015	0,0016	<0,025	<0,02	<0,002	0,31	<0,01
<b>B2-F</b>	Jan/09	2,65	<0,0030	0,0025	0,050	0,09	<0,040	0,72	<0,02
	Jul/09	1,390	<0,0015	0,0040	<0,025	<0,02	0,0042	0,46	<0,01

### 5.2.5 *Mo, U e Th*

Os resultados referentes ao metal molibdênio e aos radionuclídeos urânio e tório analisados de outubro de 2008 a janeiro de 2009 na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na tabela 3.

Os valores de concentrações registradas para o metal molibdênio variaram de 0,004 a 0,17 mg L<sup>-1</sup>, durante todo período de estudo nos três ambientes analisados.

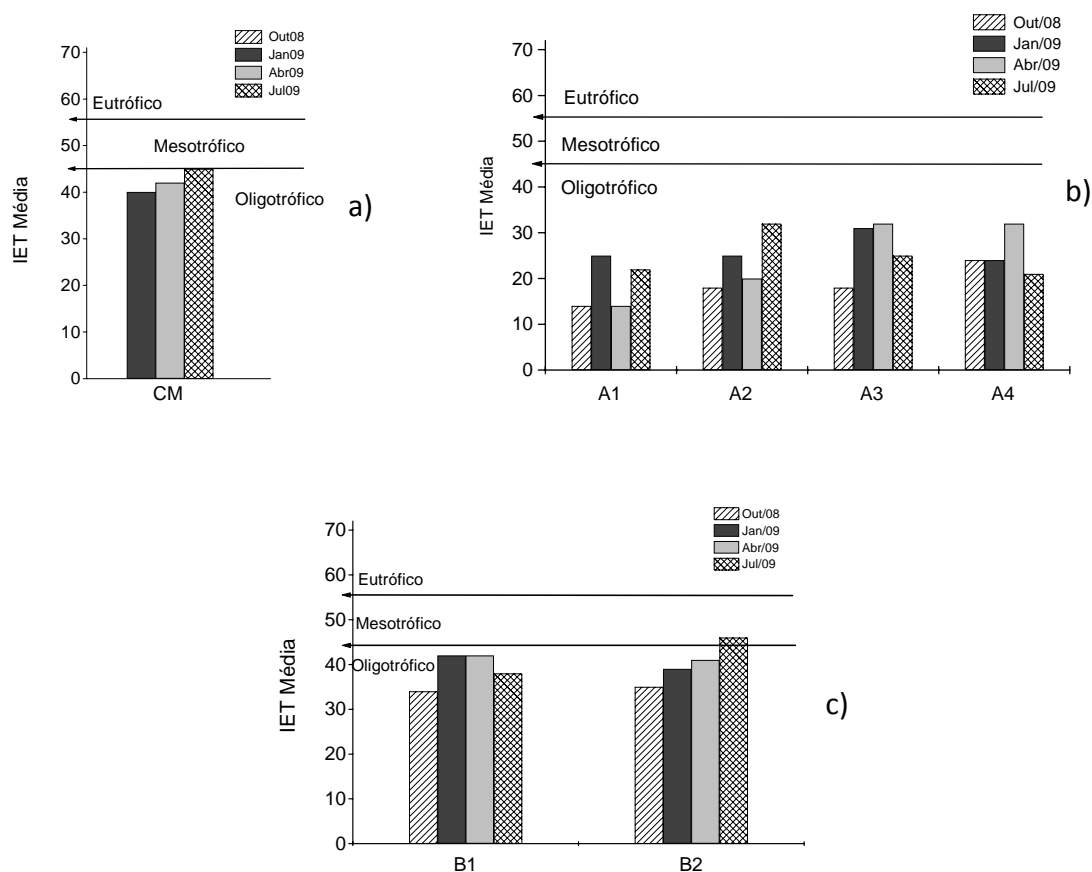
Para o elemento químico urânio houve registros de maiores concentrações em amostras da UTM/INB, cujos valores mínimo e máximo registrados foram 0,12 mg L<sup>-1</sup> e 4,25 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Por outro lado, nas represas das Antas e Bortolan, menores concentração desse elemento foram detectadas com valores variando de 0,0013 a 0,07 mg L<sup>-1</sup>.

Em relação a tório comparando-se os três ambientes analisados, maiores concentrações desse elemento também foram verificadas na UTM/INB (0,10 mg L<sup>-1</sup> - 0,30 mg L<sup>-1</sup>). Para amostras da represa das Antas e represa Bortolan os valores desse elemento variaram de < 0,002 mg L<sup>-1</sup> a 0,07 mg L<sup>-1</sup>



### 5.3 Índice de Estado Trófico

De acordo com os dados apresentados na figura 23, verificou-se que amostras da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan foram classificadas como oligotróficas durante todo período de estudo, com exceção do ponto B2 em julho de 2009, que foi considerado mesotrófico.



**Figura 23.** Média ponderada do índice de estado trófico calculada pela medida do disco de secchi, concentrações de fósforo total, fosfato inorgânico dissolvido e clorofila *a*, nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); **c)** B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009

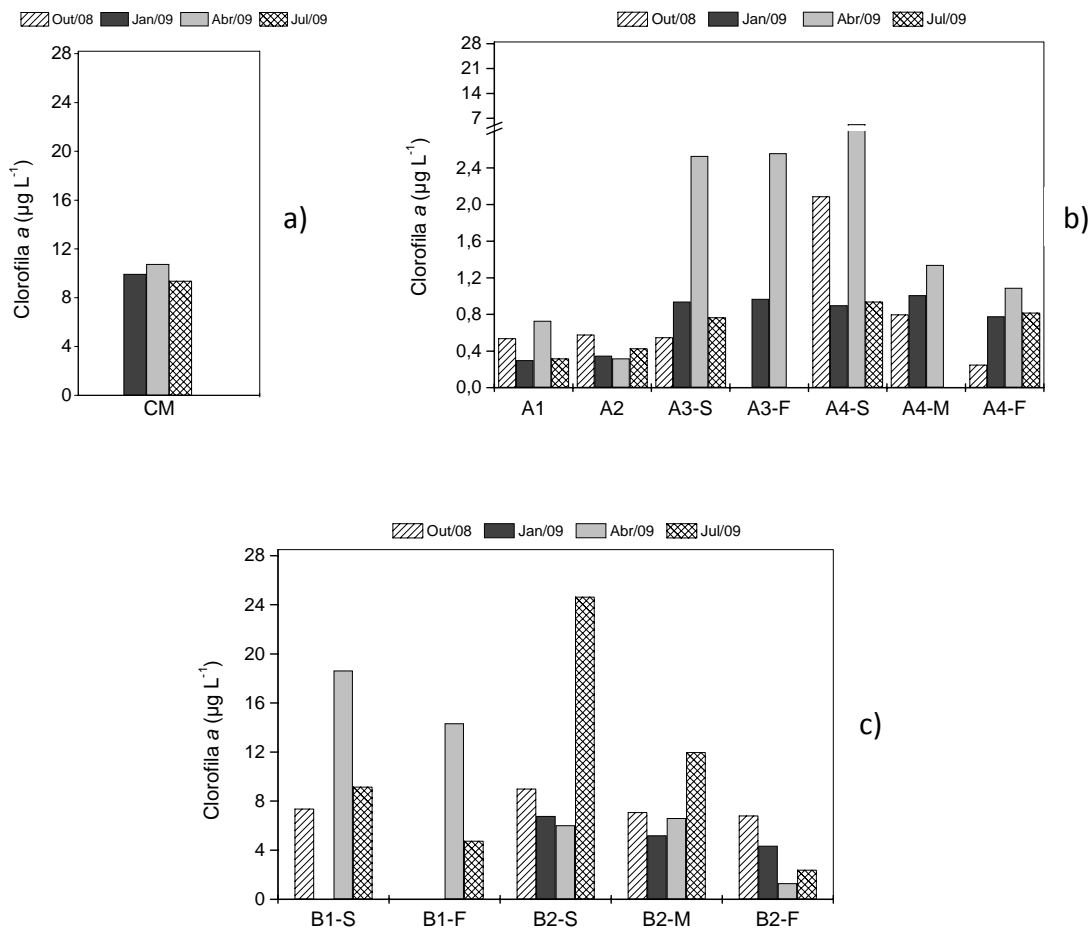
#### 5.4 Clorofila *a*

Os resultados referentes aos valores das concentrações de clorofila *a* obtidos para UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 24.

No presente estudo amostras da represa Bortolan apresentaram maiores valores de concentração de clorofila *a* durante todo período de amostragem, quando comparada a UTM/INB e represa das Antas. As maiores concentrações de clorofila *a* na represa Bortolan foram obtidas nos pontos B1-S em abril de 2009 ( $18,65 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e B2-S em julho de 2009 ( $24,66 \mu\text{g L}^{-1}$ ), ambos localizados na superfície.

Na UTM/INB os valores referentes a concentração dessa variável variaram de  $9,37$  a  $10,35 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto CM). Por outro lado, amostras da represa das Antas, foram caracterizadas pelas menores concentrações de clorofila *a*, cujos valores variaram de  $0,25 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto A4-F em outubro de 2008) a  $5,32 \mu\text{g L}^{-1}$  (ponto A4-S em abril de 2009) (Figura 24).

Foi verificado também variação temporal em relação as concentrações de clorofila *a*, cujos maiores valores foram registrados em abril de 2009, em quase todos os pontos de amostragem na UTM/INB e represa das Antas. Já na represa Bortolan maiores concentrações dessa variável foram verificadas nos meses de abril e julho de 2009.



**Figura 24.** Valores da concentração de clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); **c)** B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

## 5.5 Comunidade Zooplancônica

### 5.5.1 Composição Taxonômica e Riqueza de espécies

A composição taxonômica da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan está apresentada nas tabelas 4 a 6. A partir das análises qualitativas da comunidade zooplancônica foram identificadas 48 espécies em amostras dos três ambientes analisados, durante todo período de estudo.

A taxocenose Rotifera foi representada por 34 espécies distribuídas em 12 famílias além da presença da ordem Bdelloidea. Em relação as famílias de Rotifera registradas no presente estudo, Brachionidae se destacou com maior número de espécies (9), seguido de Asplanchnidae, Conochilidae, Gastropodidae, Lecanidae, Synchaetidae

e Trichocercidae com 3 espécies cada. Já Filinidae e Hexarthridae foram representadas por duas espécies cada. As demais famílias como: Collothecidae, Flosculariidae e Testudinellidae tiveram apenas um representante cada.

Em relação a taxocenose Cladocera foram registradas 13 espécies distribuídas em 5 famílias, com Daphniidae apresentando maior destaque com 4 espécies registradas, seguido das famílias Bosminidae e Sididae com 3 espécies cada. As demais famílias representadas por Moinidae e Ilyocriptidae foram registradas respectivamente, com duas e uma espécie cada.

Para taxocenose Copepoda somente a família Diaptomidae pertencente a ordem Calanoida foi registrada. Em relação a Cyclopoida somente as fases de nauplios e copepoditos foram encontradas.



**Tabela 4** - Composição taxonômica da Comunidade de Rotifera registrada nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

(continua)

---

## Rotifera

---

**Phylum:** Rotatoria

**Classe:** Digononta

**Ordem:** Bdelloidea

**Classe:** Monogonta

**Ordem:** Collothecacea

**Família:** Collothecidae

*Collotheca* sp.

**Ordem:** Flosculariacea

**Família:** Conochilidae

*Conochilus coenobasis* (Skorikov, 1914)

*Conochilus natans* Voigt 1902

*Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892)

**Família:** Filinidae

*Filinia longiseta* Ehrenberg, 1834

*Filinia opoliensis* (Zacarias, 1898)

**Família:** Flosculariidae

*Sinantherina* sp.

**Família:** Hexarthridae

*Hexarthra intermedia* (Wieszniowski, 1929)

*Hexarthra* sp.

**Família:** Testudinellidae

*Testudinella patina* (Hermann, 1783)

**Ordem:** Ploimida

**Família:** Asplanchnidae

*Asplanchna sieboldi* (Leydig, 1854)

*Asplanchna* sp.

*Asplanchnopus* sp.

**Família:** Brachionidae

*Brachionus calyciflorus* (Pallas, 1766)

*Brachionus falcatus* Zacarias, 1898

*Brachionus mirus* Daday, 1905

*Brachionus* sp.

*Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908)

*Keratella americana* (Carlin, 1943)

*Keratella cochlearis* (Gosse, 1851)

*Keratella tropica* (Apstein, 1907)

*Plationus patulus* (Müller, 1953)

**Família:** Gastropodidae

*Ascomorpha ovalis* (Bergendal, 1892)

*Ascomorpha* sp.

*Gastropus* sp.

**Tabela 4** - Composição taxonômica da Comunidade de Rotifera registrada nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

**Família: Lecanidae**

(conclusão)

*Lecane leontina* (Turner, 1892)

*Lecane papuana* (Murray, 1913)

*Lecane* sp.

**Família: Synchaetidae**

*Polyarthra vulgaris*

*Polyarthra* sp.

*Synchaeta* sp.

**Família: Trichocercidae**

*Trichocerca* sp.

*Trichocerca* sp1.

*Elosa* sp.

---

**Tabela 5** - Composição taxonômica da Comunidade de Cladocera registrada nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

---

## Cladocera

---

**Phylum: Arthropoda**

**Subphylum: Crustacea**

**Classe: Brachiopoda**

**Ordem: Cladocera**

**Família: Bosminidae**

*Bosmina freyi* (De Melo and Hebert, 1994)

*Bosmina* sp.

*Bosminopsis deitersi* Richard, 1895

**Família: Daphniidae**

*Ceriodaphnia cornuta cornuta* Sars, 1886

*Ceriodaphnia cornuta rigaudi* Sars, 1886

*Ceriodaphnia silvestrii* Daday, 1902

*Daphnia ambigua* Scourfield, 1947

**Família: Moinidae**

*Moina minuta* Hansen, 1899

*Moinodaphnia macleayi* (King, 1853)

**Família: Sididae**

*Diaphanosoma fluviatile* Hansen, 1899

*Diaphanosoma spinulosum* Herbst, 1967

*Diaphanosoma* sp.

**Família: Ilyocryptidae**

*Ilyocryptus spinifer* Herrick, 1882

---

**Tabela 6** - Composição taxonômica da Comunidade de Copepoda registrada nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3-S, A3-F, A4-S, A4-M e A4-F (represa das Antas); B1-S, B1-F, B2-S, B2-M, B2-M e B2-F (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

---

## COPEPODA

---

**Phylum: Arthropoda**

**Subphylum: Crustacea**

**Classe: Maxillopoda**

**Subclasse: Copepoda**

**Ordem: Calanoida**

**Família: Diaptomidae**

*Argyrodiaptomus furcatus* (Sars, 1901)

---

Comparando-se a riqueza de espécies nos três ambientes analisados, foi observado menor riqueza de espécies zooplantônicas na UTM/INB (ponto CM) houve registro de somente 3 espécies, sendo um do Filo Rotifera e dois do grupo Cladocera, além de um representante da ordem Bdelloidea. Em relação à Cladocera: a família Bosminidae apresentou registro de duas espécies (*Bosmina* sp. e *Bosminopsis deitersi*), para Rotifera houve registro da família Brachionidae com apenas um representante (*Keratella americana*) e da ordem Bdelloidea.

Na represas das Antas 29 táxons foram identificados, distribuídos em 11 espécies de Cladocera, 17 de Rotifera e um Copepoda da ordem Calanoida. Em amostras da represa Bortolan houve registros de 43 táxons, sendo 36 pertencentes ao grupo Rotifera e 7 ao grupo Cladocera.

Durante todo período de estudo houve registro de maior riqueza de táxons na represa Bortolan, com predomínio do microzooplâncton representado por Rotifera, náuplios e copepoditos. Por outro lado, na represa das Antas, o macrozooplâncton (Cladocera e Copepoda) teve maior representatividade. Já na UTM/INB os grupos Rotifera e Cladocera foram igualmente representativos.

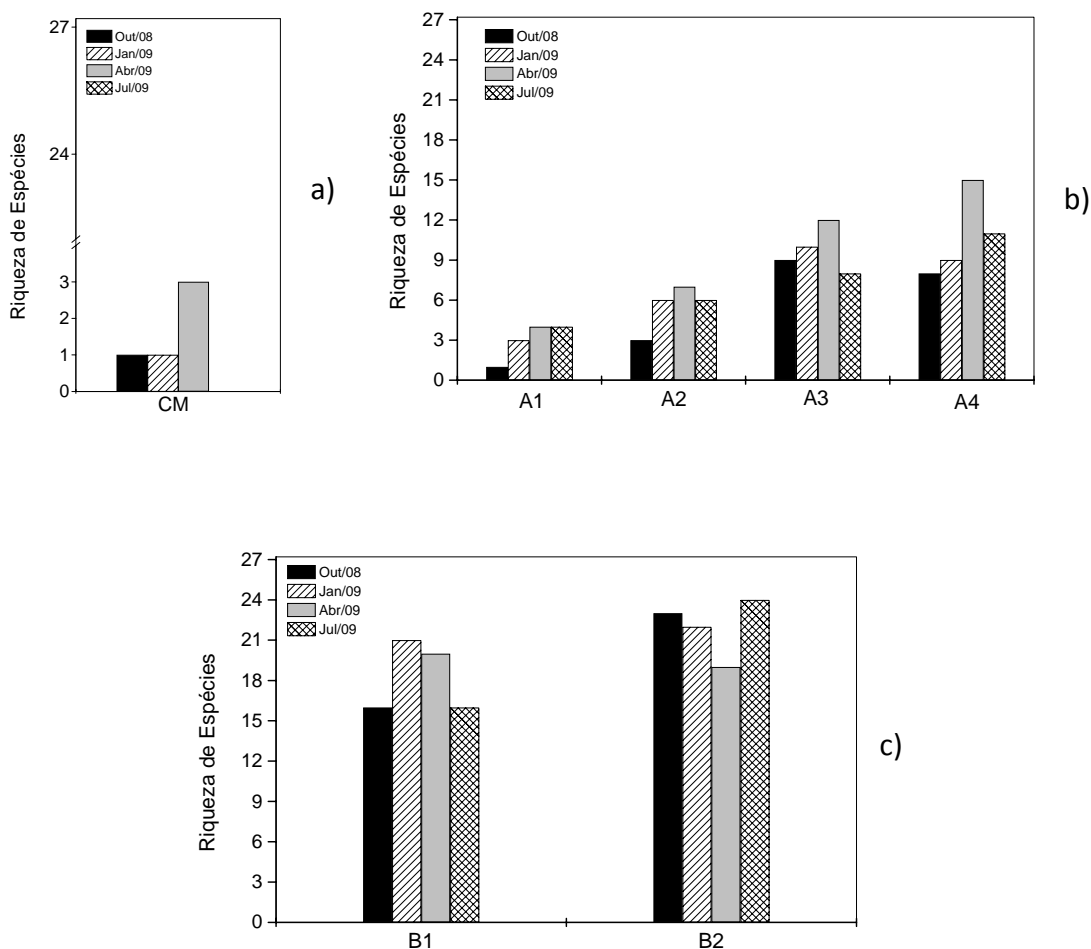
Verificou-se no decorrer do presente estudo que amostras do ponto CM apresentaram baixa riqueza de espécies, quando comparado aos pontos localizados nas represas das Antas e Bortolan. Na represa das Antas os pontos A3 e A4 que correspondem às regiões litorânea e limnética, foram caracterizados por apresentarem maior riqueza de espécies em todo o período amostral, com registro de 12 e 15 espécies respectivamente, em abril de 2009. Em relação aos pontos B1 e B2 na represa Bortolan correspondentes às regiões litorânea e limnética e respectivamente, verificou-se maior riqueza com o número de espécies variando de 16 a 24, durante todo período de estudo. (Figura 25).

Foi observado também aumento temporal em relação a riqueza de espécies de outubro de 2008 a abril de 2009, seguido de diminuição temporal em julho de 2009, em amostras dos três sistemas analisados.

No decorrer do presente estudo verificou-se que a distribuição das espécies registradas diferiu entre a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan. Algumas espécies como: *Filinia opoliensis* e *Hexarthra intermedia* (Rotifera); *Ceriodaphnia cornuta cornuta*, *C. cornuta rigaudi*, *Daphnia ambigua*, *Ilyocryptus spinifer* e

*Moinodaphnia macleayi*, (Cladocera); *Argyrodiaptomus furcatus* (Copepoda), foram registradas somente em amostras da represa das Antas.

Por outro lado, na represa Bortolan, também houve a presença de espécies exclusivas, sendo a maioria pertencente ao grupo Rotifera, como: *Ascomorpha ovalis*, *Brachionus calyciflorus*, *B. falcatus*, *B. mirus*, *Collotheca* sp., *Conochilus coenobasis*, *Elosa* sp., *Filinia longiseta*, *Gatropus* sp., *Kellicottia bostoniensis*, *Keratella cochlearis*, *K. tropica*, *Lecane leontina*, *L. papuana*, *Plationus patulus*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta* sp., *Testudinella patina*, *Trichocerca* spp.(Rotifera); *Ceriodaphnia silvestrii* (Cladocera). Vale ressaltar que a espécie *Keratella americana* esteve presente somente em amostras da UTM/INB e represa das Antas.



**Figura 25.** Riqueza de espécies da comunidade zooplânctônica (Cladocera, Copepoda e Rotifera) nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); **c)** B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

### 5.5.2 *Frequência de Ocorrência*

Em relação a frequência de ocorrência das espécies pertencentes a comunidade zooplanctônica na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan verificou-se que dos 29 táxons registrados nos pontos A1, A2, A3 e A4 na represa das Antas, 17 foram classificados como espécies raras, ocorrendo em menos de 25% das amostras: sendo 13 de Rotifera (*Bdelloidea*, *Ascomorpha* sp., *Brachionus* sp., *Conochilus natans*, *C. unicornis*, *Filinia opoliensis*, *Gastropus* sp., *Hexarthra* sp., *Keratella americana*, *Lecane* sp., *Polyarthra vulgaris*, *Sinantherina* sp., *Synchaeta* sp.); 4 Cladocera (*Ceriodaphnia cornuta cornuta*, *C. cornuta rigaudi*, *Moinodaphnia macleayi* e *Ilyocryptus spinifer*). Foram consideradas acessórias 10 espécies, com ocorrência acima de 25% e abaixo de 50%, sendo 3 pertencentes ao filo Rotifera (*Conochilus* sp., *Keratella cochlearis* e *Keratella* sp.); 6 ao grupo Cladocera (*Bosminopsis deitersi*, *Daphnia ambígua*, *Diaphanosoma fluviatile*, *D. spinulosum*, *Diaphanosoma* sp. e *Moina minuta*); e uma do grupo Copepoda (*Argyrodiaptomus furcatus*.). Somente duas espécies, foram classificadas como constantes, ocorrendo acima de 50% das amostras, ou seja, *Polyarthra* sp.(Rotifera) e *Bosmina freyi* (Cladocera).

Na represa Bortolan dos 43 táxons registrados em amostras dos pontos B1 e B2, 20 foram classificados como espécies raras, ocorrendo em menos de 25% das amostras: sendo 18 de Rotifera (*Ascomorpha ovalis*, *Asplanchna sieboldi*, *Bdelloidea*, *Brachionus calyciflorus*, *B. falcatus*, *B. mirus*, *Conochilus coenobasis*, *C. natans*, *Gastropus* sp., *Hexarthra intermédia*, *Kellicottia bostoniensis*, *Keratella tropica*, *Lecane leontina*, *L. papuana*, *Lecane* sp., *Polyarthra vulgaris*, *Trichocerca* sp1. e Rotifera sp1.); 2 Cladocera (*Ceriodaphnia silvestrii* e *Diaphanosoma spinulosum*). Foram consideradas acessórias 7 espécies, com ocorrência acima de 25% e abaixo de 50%, 5 pertencentes ao filo Rotifera (*Asplanchnopus* sp., *Brachionus* sp., *Elosa* sp., *Hexarthra* sp. e *Sinantherina* sp.); 2 ao grupo Cladocera (*Diaphanosoma fluviatile*, *Diaphanosoma* sp.). As demais espécies (16) foram classificadas como constantes, ocorrendo acima de 50% das amostras: 13 de Rotifera (*Ascomorpha* sp., *Asplanchna* sp., *Collotheca* sp., *Conochilus unicornis*, *Conochilus* sp., *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *Keratella* sp., *Plationus patulus*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp., *Testudinella patina* e *Trichocerca* sp.) e 3 de Cladocera (*Bosmina freyi*, *Bosminopsis deitersi* e *Moina minuta*).

Em amostras da UTM/INB as espécies *Bosminopsis deitersi*, *Keratella americana*, *Bosmina* sp. e a ordem Bdelloidea registradas no ponto CM, foram consideradas raras ocorrendo em menos de 25% das amostras. Já *Bosmina* sp. foi considerada acessória com ocorrência acima de 25% e abaixo de 50% das amostras.

**Tabela 7** - Frequência de ocorrência (%) das espécies da Comunidade Zooplancônica e classificação em raras (R), acessórias (A) e constantes (C), no ponto CM (UTM/INB) nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009

	CM				Freq. (%)	Classificação
	out/08	jan/09	abr/09	jul/09		
<b>ROTIFERA</b>						
<i>Keratella americana</i>		X			25	R
<i>Bdelloidea</i>			X		25	R
<b>CLADOCERA</b>						
<i>Bosmina</i> sp.	X		X		50	A
<i>Bosminopsis deitersi</i>			X		25	R

**Tabela 8** - Frequência de ocorrência (%) das espécies da Comunidade Zooplancônica e classificação em raras (R), acessórias (A) e constantes (C), nos pontos A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas) nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009

	A1				A2				A3				A4				Freq.(%)	Classificação
	out/08	jan/09	abr/09	jul/09	out/08	jan/09	abr/09	jul/09	out/08	jan/09	abr/09	jul/09	out/08	jan/09	abr/09	jul/09		
<b>ROTIFERA</b>																		
<i>Ascomorpha</i> sp.						X									X		12,50	R
<i>Brachionus</i> sp.											X						6,25	R
<i>Conochilus natans</i>										X							6,25	R
<i>Conochilus unicornis</i>																X	6,25	R
<i>Conochilus</i> sp.					X	X				X					X	X	31,25	A
<i>Filinia opoliensis</i>			X				X				X				X		18,75	R
<i>Gastropus</i> sp.																X	6,75	R
<i>Hexarthra</i> sp.									X		X				X		18,75	R
<i>Keratella americana</i>									X					X			12,50	R
<i>Keratella cochlearis</i>				X	X			X				X		X	X		43,75	A
<i>Keratella</i> sp.	X				X				X		X		X	X	X		43,75	A
<i>Lecane</i> sp.								X									6,25	R
<i>Polyarthra vulgaris</i>									X								6,25	R
<i>Polyarthra</i> sp.						X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	62,50	C
<i>Sinanthrina</i> sp.										X							6,25	R
<i>Synchaeta</i> sp.														X			6,25	R
<i>Bdelloidea</i>							X										6,25	R
<b>CLADOCERA</b>																		
<i>Bosmina freyi</i>		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	81,25	C
<i>Bosminopsis deitersi</i>			X				X				X	X				X	31,25	A
<i>Ceriodaphnia cornuta cornuta</i>			X														6,25	R
<i>Ceriodaphnia cornuta rigaudi</i>														X	X		12,50	R
<i>Daphnia ambigua</i>				X								X		X	X	X	31,25	A
<i>Diaphanosoma fluviatile</i>						X	X			X			X	X	X	X	43,75	A
<i>Diaphanosoma spinulosum</i>								X	X		X	X		X	X		37,50	A
<i>Diaphanosoma</i> sp.		X							X	X	X	X	X		X	X	50,00	A
<i>Moina minuta</i>							X		X	X	X			X	X		37,50	A
<i>Moinadaphnia macleayi</i>			X														6,25	R
<i>Ilyocripts spinifer</i>		X															6,25	R
<b>COPEPODA</b>																		
<i>Argyrodiaptomus furcatus</i>				X				X		X		X	X	X			37,50	A



**Tabela 9** - Frequência de ocorrência (%) das espécies da Comunidade Zooplancônica e classificação em raras (R), acessórias (A) e constantes (C), nos pontos B1 e B2 (represa Bortolan) nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009

ROTIFERA	B1				B2				Freq. (%)	Classificação
	out/08	jan/09	abr/09	jul/09	out/08	jan/09	abr/09	jul/09		
<i>Ascomorpha ovalis</i>								X	12,50	R
<i>Ascomorpha</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	87,50	C
<i>Asplanchna sieboldi</i>								X	12,50	R
<i>Asplanchna</i> sp.		X	X			X	X	X	62,50	C
<i>Asplanchnopus</i> sp.			X			X	X		37,50	A
<i>Brachionus calyciflorus</i>						X		X	25,00	R
<i>Brachionus falcatus</i>		X				X			25,00	R
<i>Brachionus mirus</i>		X							12,50	R
<i>Brachionus</i> sp.	X				X		X		37,50	A
<i>Collotheca</i> sp.	X			X	X	X		X	62,50	C
<i>Conochilus coenobasis</i>				X					12,50	R
<i>Conochilus natans</i>		X							12,50	R
<i>Conochilus unicornis</i>		X	X	X	X		X	X	75,00	C
<i>Conochilus</i> sp.	X	X		X	X	X	X	X	87,50	C
<i>Elosa</i> sp.	X		X					X	37,50	A
<i>Filinia longiseta</i>	X	X	X		X	X	X	X	87,50	C
<i>Gastropus</i> sp.		X					X		25,00	R
<i>Hexarthra intermedia</i>				X					12,50	R
<i>Hexarthra</i> sp.	X		X		X			X	50,00	A
<i>Kellicottia bostoniensis</i>					X	X			25,00	R
<i>Keratella cochlearis</i>		X	X	X	X	X	X	X	87,50	C
<i>Keratella tropica</i>						X			12,50	R
<i>Keratella</i> sp.	X	X	X	X	X	X	X	X	100,00	C
<i>Lecane leontina</i>			X				X		25,00	R
<i>Lecane papuana</i>		X							12,50	R
<i>Lecane</i> sp.						X			12,50	R
<i>Plationus patulus</i>	X	X	X		X	X	X		75,00	C
<i>Polyarthra vulgaris</i>					X	X			25,00	R
<i>Polyarthra</i> sp.	X	X	X	X	X	X	X	X	100,00	C
<i>Sintherina</i> sp.	X			X	X	X		X	31,25	A
<i>Synchaeta</i> sp.		X	X	X			X	X	62,50	C
<i>Testudinella patina</i>		X	X	X		X	X	X	75,00	C
<i>Trichocerca</i> sp.	X		X		X		X	X	62,50	C
<i>Trichocerca</i> spl.				X					12,50	R
Bdelloidea					X			X	25,00	R
Rotifera spl					X				12,50	R
<b>CLADOCERA</b>										
<i>Bosmina freyi</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	100,00	C
<i>Bosminopsis deitersi</i>	X	X	X	X		X	X	X	87,50	C
<i>Ceriodaphnia silvestrii</i>	X				X				25,00	R
<i>Diaphanosoma fluviatile</i>				X	X			X	37,50	A
<i>Diaphanosoma spinulosum</i>					X				12,50	R
<i>Diaphanosoma</i> sp.	X	X	X						37,50	A
<i>Moina minuta</i>	X	X	X		X	X		X	75,00	C

### 5.5.3 *Densidade e Abundância Relativa*

Os valores referentes a densidade da comunidade zooplanctônica, observados em amostras da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan estão apresentados na figura 26.

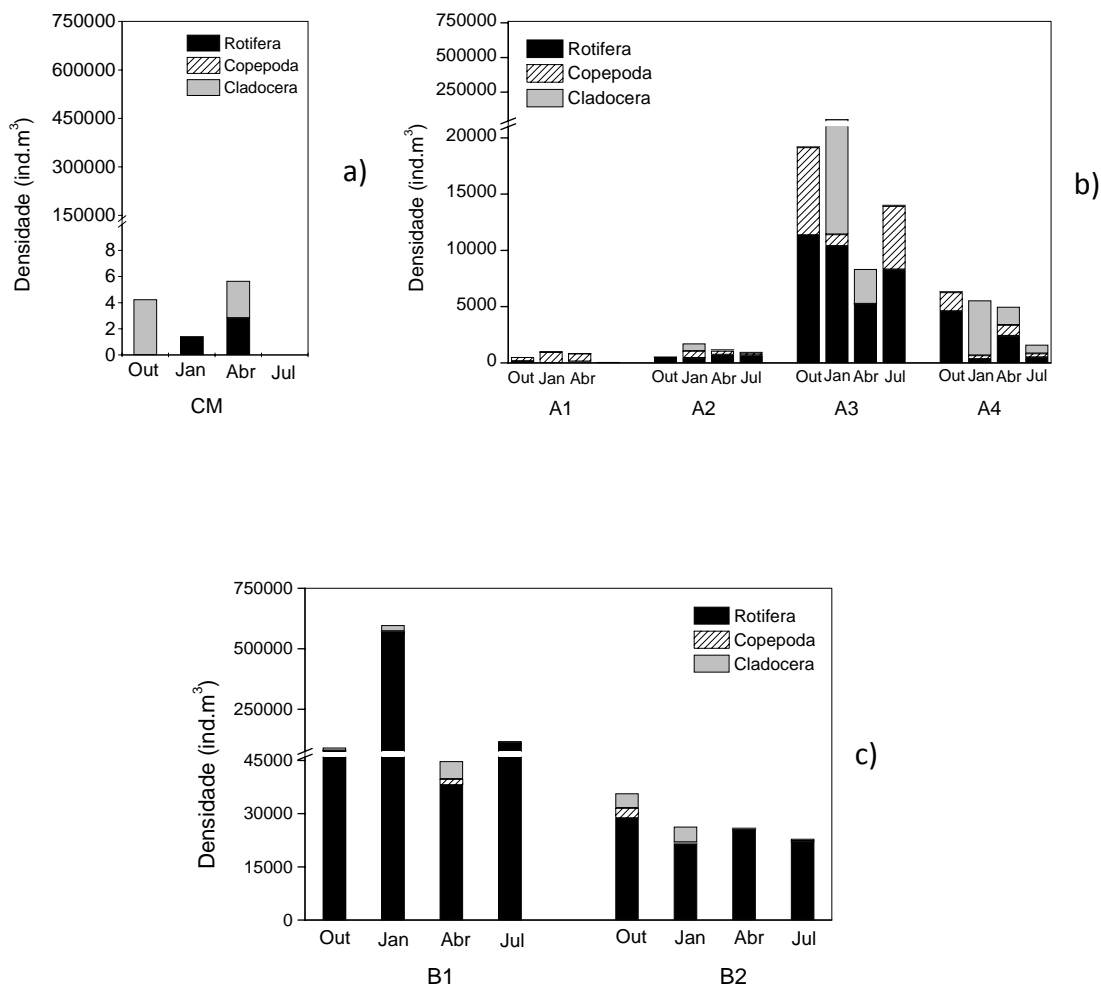
Durante todo período de estudo variações espaciais foram verificadas na comparação entre os três ambientes analisados, com maiores densidades sendo observadas na represa Bortolan, cujos valores variaram de 22.932,5 a 597.520,2 ind/m<sup>3</sup>. Na represa das Antas menores densidades foram registradas cujas variações foram de 36,8 a 54.515,49 ind/m<sup>3</sup>. Já na UTM/INB os valores de densidade foram muito baixos, uma vez que o maior valor registrado no ponto CM foi de apenas 5,65 ind/m<sup>3</sup> em abril de 2009.

Durante todo período amostral verificou-se que os pontos A3 (represas das Antas) e B1 (represa Bortolan) ambos localizados na região litorânea, foram caracterizados pelas maiores densidades no período de janeiro de 2009, com registros de valores iguais a 54.515,49 ind/m<sup>3</sup> e 597.520,2 ind/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Em relação a densidade dos grupos zooplanctônicos Cladocera, Copepoda e Rotifera, referente aos meses de outubro de 2008 a julho de 2009, observou-se que na UTM/INB Cladocera foi o grupo mais representativo desse local, com maior densidade registrada em outubro de 2008 (4,24 ind/m<sup>3</sup>) e abril de 2009 (2,82 ind/m<sup>3</sup>).

Na represa das Antas os resultados do ponto A1 indicaram que o grupo Copepoda mostrou maior densidade, cujo valor registrado foi de 2000,46 ind/m<sup>3</sup>, com os estágios de nauplio de Cyclopoida sendo responsáveis pelas maiores densidades registradas para esse grupo. Já no ponto A2 Rotifera obteve maior destaque, com valor de densidade igual a 2361,64 ind/m<sup>3</sup>, enquanto no ponto A3 o grupo Cladocera teve registro de maior densidade (46.341,37 ind/m<sup>3</sup>) e no ponto A4 o grupo Rotifera foi mais representativo em densidade numérica (7.852,53 ind/m<sup>3</sup>), seguido do grupo Cladocera com valor de densidade igual a 7.333,3 ind/m<sup>3</sup>. Na represa das Antas algumas espécies de rotíferos como *Filinia opoliensis*, *Polyarthra* sp. e *Keratella* sp. foram responsáveis pelos elevados picos de densidade em determinados períodos sazonais, contribuindo assim, com os maiores valores de densidade registrados. Para Cladocera, a espécie *Bosmina freyi* foi observada em altas densidades durante o ano todo, sendo registrada em todos os pontos de amostragem.

Por outro lado, na represa Bortolan, Rotifera foi o grupo mais representativo em densidade, de modo que os maiores valores registrados ocorreram nos pontos B1 e B2, ou seja, 794.333,59 ind/m<sup>3</sup> e 98.058,55 ind/m<sup>3</sup>, respectivamente. Nesse corpo aquático nos pontos B1 e B2 a espécie de Rotifera *Polyarthra* sp. e *Bosmina freyi* (Cladocera) também apresentaram e picos de densidade durante todo o ano. Na comparação entre as represas das Antas e Bortolan verificou-se que as espécies *Polyarthra* sp. e *Bosmina freyi* se adaptaram às diferentes condições abióticas das duas represas analisadas, estando presentes durante o ano todo em altas densidades em relação aos demais táxons, fato que reflete a capacidade dessas espécies em se adaptar aos diferentes habitats



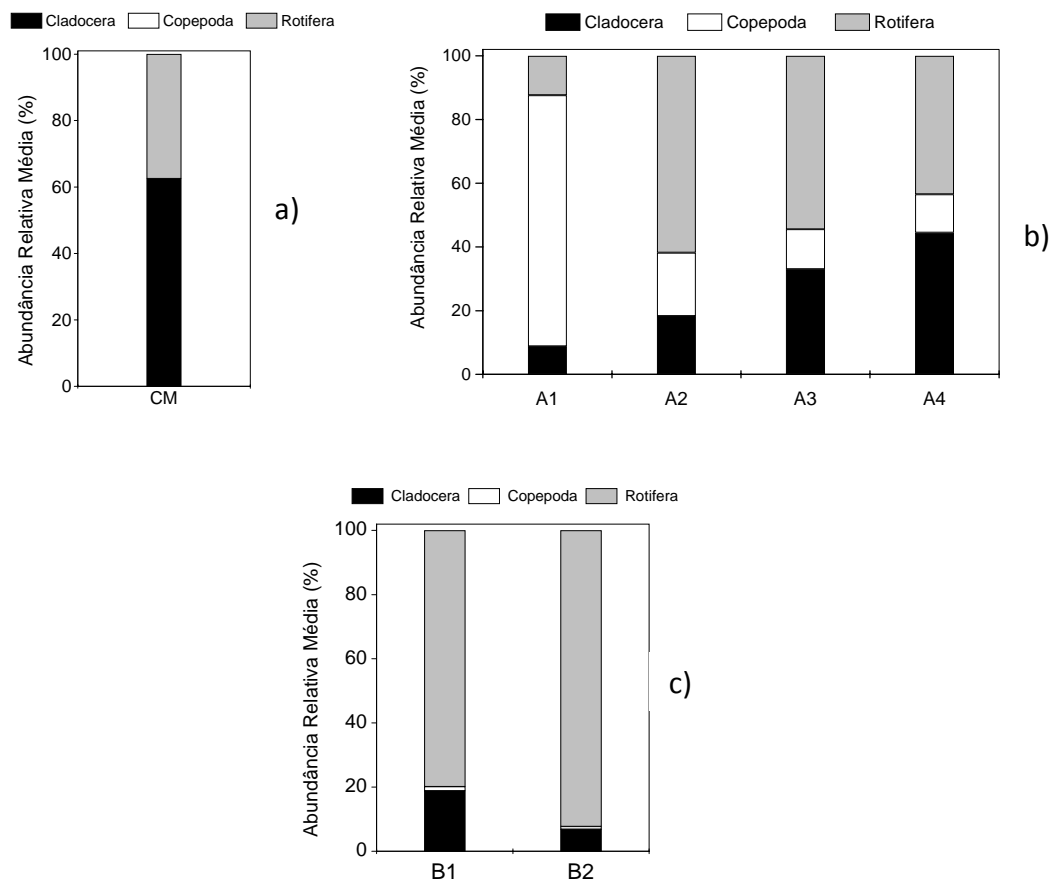
**Figura 26.** Densidade total (ind/m<sup>3</sup>) dos grupos (Cladocera, Copepoda e Rotifera), nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); **c)** B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Na figuras 27 a), b), c) estão apresentados os dados referentes a abundância relativa média dos grupos zooplanctônicos (Cladocera, Copepoda e Rotifera), em amostras da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan.

Na UTM/INB o grupo Cladocera foi mais abundante representando 62,5%, seguido de Rotifera com 37,5%.

Já na represa das Antas os resultados de abundância relativa média indicaram o grupo Copepoda como o mais abundante no ponto A1, representando 78,82 %, em relação aos demais grupos dessa comunidade ou seja, Cladocera e Rotifera. A partir do ponto A2 foi o grupo mais abundante seguido dos grupos Cladocera e Copepoda.

Na represa Bortolan nos pontos B1 e B2, Rotifera foi o grupo mais abundante, com registros de valores médios iguais a 79,83% e 92,22%, respectivamente.



**Figura 27.** Abundância relativa média (%) dos grupos (Cladocera, Copepoda e Rotifera), nos pontos: **a)** CM (UTM/INB); **b)** A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); **c)** B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

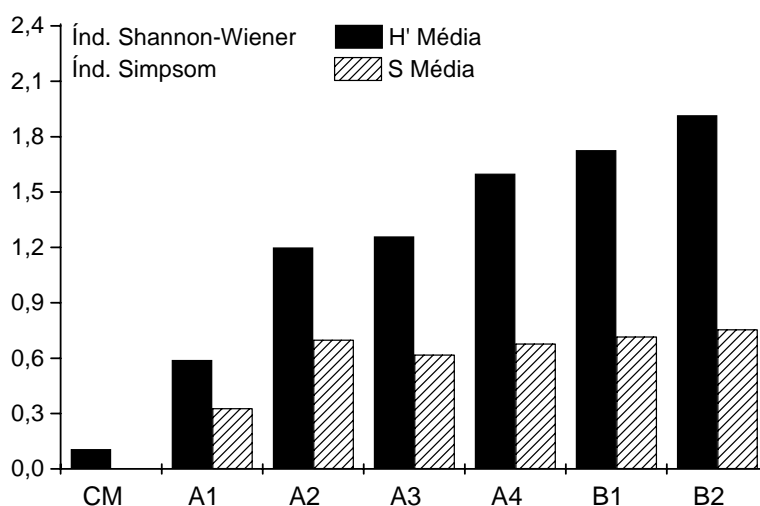
#### 5.5.4 Índices de Diversidade

Na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan os índices de Diversidade de Shannon-Wiener e de Simpson foram aplicados para a comunidade zooplanctônica (Figura 28).

Com relação ao índice de diversidade de Shannon-Wiener houve diferenças entre amostras da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan.

Durante todo período de estudo no ponto CM houve baixa diversidade com registros de valores próximos a zero. Na represa das Antas os pontos A3 e A4 tiveram registros de maiores valores médios (1,26 e 1,60 respectivamente), seguido dos pontos A2 (1,20) e A1 (0,59). Já na represa Bortolan os resultados dos pontos B2 (1,92) e B1 (1,73), apontaram maior diversidade, quando comparados aos pontos da represa das Antas e UTM/INB.

Quanto ao índice de Simpson observou-se que os pontos localizados nas represas das Antas e Bortolan A2 (0,70); A3 (0,62); A4 (0,68); B1 (0,72) e B2 (0,76), tiveram valores médios semelhantes, o que indica maior dominância por uma ou poucas espécies comuns nestes pontos de amostragem. Por outro lado, amostras dos pontos CM e A1, apresentaram baixos valores para este índice, fato que está relacionado a menor dominância de espécies comuns. Na represa das Antas a maior dominância registrada nos pontos A2, A3 e A4 esteve relacionada com as espécies de rotíferos *Filinia opoliensis*, *Polyarthra* sp., *Keratella* sp. e pelo Cladocera *Bosmina freyi*. Em amostras da represa Bortolan a maior dominância nos pontos B1 e B2 foi indicada principalmente pelos Rotífera *Keratella* sp. e *Polyarthra*.

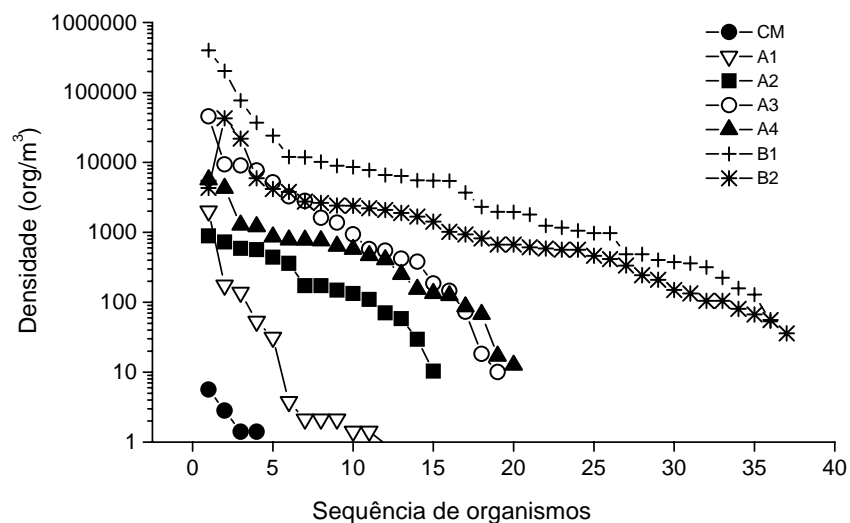


**Figura 28.** Média dos Índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e de Simpson ( $S$ ) nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

Na Figura 29 estão apresentadas as curvas do componente da dominância dos organismos pertencentes aos grupos Cladocera, Copepoda e Rotifera, para os pontos de coleta da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan.

Na comparação entre os três ambientes analisados verificou-se que o ponto CM (UTM/INB) teve baixa riqueza de espécies e baixa diversidade. Já na represa das Antas os pontos A3 e A4 foram caracterizados pela maior diversidade e maior uniformidade em relação aos pontos A1, A2 e CM. Os pontos B1 e B2 localizados na represa Bortolan apresentaram maior uniformidade na distribuição das espécies associado a uma elevada riqueza, o que comprova a alta diversidade registrada nesse corpo aquático quando comparado aos pontos da represa das Antas e UTM/INB .

De uma maneira geral, os resultados do presente estudo indicaram alta dominância de espécies raras no ponto CM, seguido dos pontos A1 e A2. Já nos pontos B1 e B2 as curvas do componente de dominância apresentaram um padrão com grande elevação horizontal, o que evidencia maior uniformidade e diversidade de espécies nesses pontos localizados na represa Bortolan.



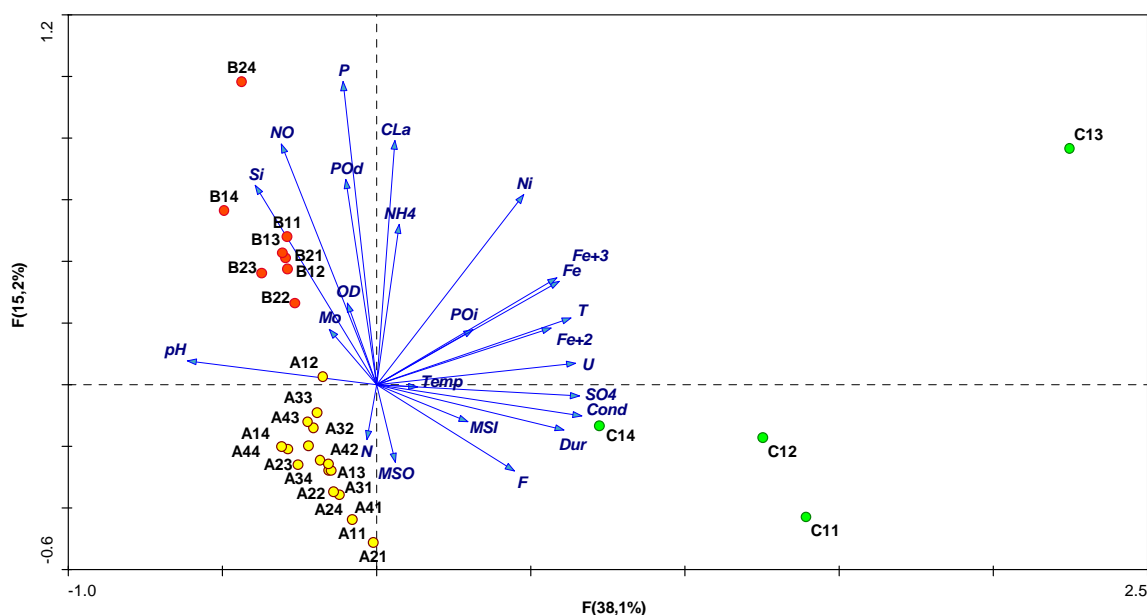
**Figura 29.** Curva do componente de Dominância dos organismos pertencentes aos grupos Cladocera, Copepoda e Rotifera nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 e janeiro, abril e julho de 2009.

## 5.6 Análise Estatística

Os resultados obtidos para a análise de componentes principais (PCA) estão apresentados na figura 30.

Verificou-se que a porcentagem total explicada pelos dois primeiros componentes foi de 53,3%. Assim, uma separação entre a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan em relação as variáveis físicas e químicas foi observada.

A análise PCA indicou diferenças estatísticas entre os ambientes estudados, uma vez que o ponto CM (UTM/INB) esteve relacionado principalmente com as variáveis condutividade elétrica, sulfato, dureza, fluoreto, material em suspensão inorgânico, urânio, tório Fe total,  $Fe^{+2}$  e  $Fe^{+3}$ . Por outro lado, na represa Bortolan os nutrientes apresentaram maior relação estatística com esse corpo aquático. Já na represa das Antas o nitrogênio total esteve mais relacionado com os pontos dessa represa.



**Figura 30.** Diagrama de ordenação da PCA nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 (1) e janeiro (2), abril (3) e julho (4) de 2009. P=fósforo total, POd=fosfato orgânico dissolvido, POi= fosfato inorgânico, N=nitrogênio total, Ni=nitrito, NH4=amônia, NO= nitrato, Si=silicato, Fe+3=ferro forma oxidada, Fe+2=forma reduzida, Fe=Ferro total, SO4=sulfato, F=fluoreto, Cond=condutividade elétrica, Dur=dureza, U=urânio, T=thório, OD= oxigênio dissolvido, Temp= temperatura da água, Mo=molibdênio, pH, Cla=Clorofila *a*, MSI=material em suspensão inorgânico, MSO=material em suspensão orgânico.

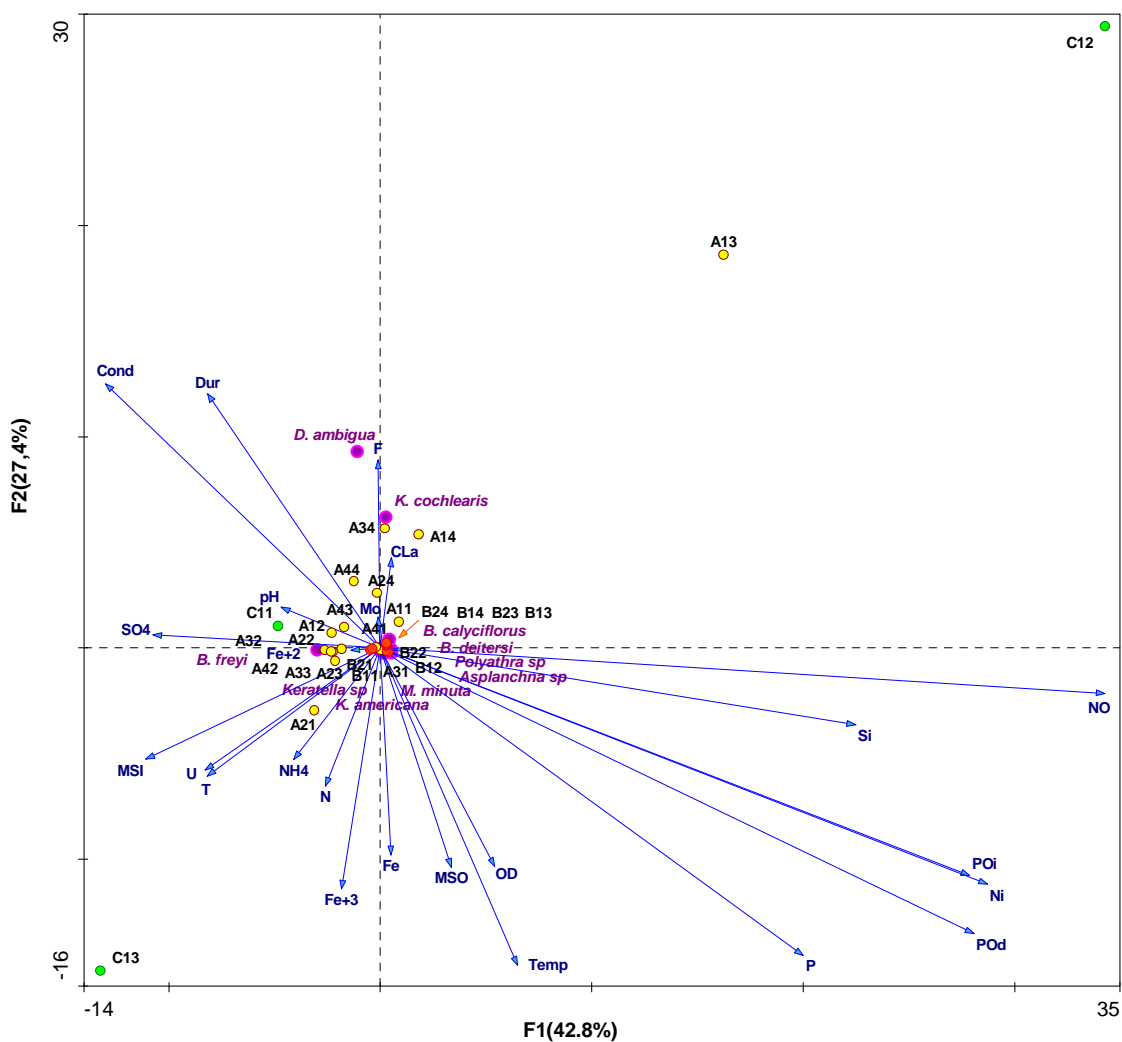


Os resultados obtidos para a análise de correspondência canônica (CCA) relacionando a densidade das espécies zooplanctônicas com as variáveis ambientais estão apresentados na figura 31.

A porcentagem total explicada pelos dois primeiros componentes na análise de correspondência canônica (CCA), para a densidade das espécies zooplanctônicas e as variáveis ambientais foi de 70,2%.

A CCA indicou que a densidade das espécies na UTM/INB no ponto CM esteve associada principalmente com os altos valores de material em suspensão inorgânico,  $Fe^{+3}$ , urânio e tório. Na represa das Antas a presença de *Daphnia ambigua* nos pontos A34 A44, estiveram associadas aos maiores valores de condutividade elétrica e dureza. Em amostras da represa Bortolan a presença de *Brachionus calyciflorus*, *Bosminopsis deitersi*, *Polyarthra* sp. *Asplanchna* sp. e *Moina minuta* estiveram associadas principalmente a fósforo total, fosfato orgânico dissolvido, fosfato inorgânico, nitrato, nitrito e silicato.

De acordo com a teste de Monte Carlo (com 999 permutações irrestritas) usado como opção na CCA, verificou-se que a condutividade elétrica, material em suspensão inorgânico e a forma nitrogenada dissolvida nitrato, foram as variáveis que apresentaram correlações significativas ( $p < 0,05$ ) na análise de correspondência canônica. Tais fatores provelmente tiveram maior influência na densidade das espécies zooplanctônicas registradas no presente estudo.



**Figura 31.** Diagrama de ordenação da CCA da densidade das espécies da comunidade zooplancônica nos pontos CM (UTM/INB); A1, A2, A3 e A4 (represa das Antas); B1 e B2 (represa Bortolan), nos meses de outubro de 2008 (1) e janeiro (2), abril (3) e julho (4) de 2009. P=fósforo total, POD=fosfato orgânico dissolvido, POi= fosfato inorganico, N=nitrogênio total, Ni=nitrito, NH4=amônia, NO= nitrato, Si=silicato, Fe+3=ferro forma oxidada, Fe+2=forma reduzida, Fe=Ferro total, SO4=sulfato, F=fluoreto, Cond=condutividade elétrica, Dur=dureza, U=urânio, T=thório, OD=oxigênio dissolvido, Temp= temperatura da água, Mo=molibdênio, pH, Cla=Clorofila *a*, MSI=material em suspensão inorganico, MSO=material em suspensão orgânico.

## 6 DISCUSSÃO-REPRESAS DAS ANTAS E BORTOLAN

### 6.1 Variáveis Físicas e Químicas

Reservatórios são considerados ecossistemas complexos devido sua dinâmica ecológica peculiar e suas diferentes interações com as bacias hidrográficas. Esses ecossistemas também se diferem em relação a idade, tamanho, tempo de retenção, profundidade, flutuações no nível da água, além da morfometria, o que resulta em variações nas condições físicas e químicas desses sistemas (BARBOSA et al., 1999).

Os “lagos” de mina formados por processos de extração mineral geram cavas, que são freqüentemente preenchidas de maneira natural ou artificial. Esses lagos constituem-se em novos habitats na paisagem, sendo geralmente associados a problemas de qualidade da água, principalmente em relação a composição química da água (KALIN et al., 2001). Entretanto, de acordo com Stevens e Lawrence (1998), lagos de mineração podem funcionar como locais ideais para o estudo e entendimento dos diferentes processos limnológicos que ocorrem nesses sistemas.

No presente estudo variações sazonais e espaciais das variáveis físicas e químicas foram observadas entre a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, tais diferenças estiveram associadas a origem, a formação, aos diferentes impactos antrópicos entre outros aspectos como abordado acima.

Segundo Wetzel (1993), valores de pH entre 6 a 9 são encontrados na maioria dos lagos e reservatórios. De acordo com esse autor existem vários fatores que podem influenciar os valores de pH, tais como: o tipo de rocha, o aumento ou diminuição da precipitação, a fotossíntese, bem como os efeitos decorrentes das cargas alóctones que estão relacionadas com o aumento do pH. Já os processos de respiração e degradação da matéria orgânica promovem a redução dos valores de pH.

Houve grandes diferenças nos valores de pH entre os ambientes estudados, que variaram de ácido (3,2) a neutro (7,5). Os menores valores de pH detectados na represa das Antas e na UTM/INB, podem estar relacionados com alguns fatores tais como: a disponibilização de íons (silicato, sódio e potássio) presentes no sedimento para a coluna d'água sendo resultado da litologia da bacia (LAGE-FILHO,1996), em associação com a ocorrência de pirita relacionada a drenagem ácida de mina que ocorre na UTM/INB, a qual esta relacionada com a formação de ácido sulfúrico, favorecendo a

diminuição dos valores de pH (SOUZA, 1995; CAMPOS, et al., 2010; CAMPOS, 2006).

Ronqui (2008) em estudo realizado na represa das Antas, registrou valores de pH similares aos registrados no presente estudo que variaram de 5,3 a 6,7. Os resultados obtidos neste trabalho, para o pH nas represas das Antas e Bortolan se enquadram na Resolução CONAMA 357/ 05 (BRASIL, 2005), a qual estabelece valores entre 6,0 e 9,0, para ambientes Classe II, com exceção do ponto A4-F em abril de 2009, cujo valor obtido igual a 5,6 esteve abaixo dos limites estabelecidos.

A disponibilidade de oxigênio dissolvido na água influencia importantes processos químicos e metabólicos (ESTEVES, 1998). Segundo Sipaúba-Tavares e Moreno (1994), quando as concentrações dessa variável se tornam muito baixas, os organismos aquáticos podem ficar “estressados” ocasionando diminuição de sua sobrevivência e produção nos ambientes. Em relação aos três ambientes estudados, concentrações médias de oxigênio dissolvido foram consideradas semelhantes na UTM/INB e represa das Antas, porém um pouco maior na represa Bortolan, fato que pode explicar a maior produção das espécies zooplanctônicas nesse ambiente.

Além disso o oxigênio dissolvido é também considerado como uma importante variável nos corpos d’água e sua solubilidade está diretamente relacionada com a temperatura e pressão atmosférica. O aumento da temperatura em larga escala acompanhado da diminuição da pressão promove a redução da solubilidade do oxigênio na água (ESTEVES, 1998). No presente trabalho, as maiores temperaturas registradas em janeiro de 2009 nos três ambientes analisados, não estiveram relacionadas com as menores concentrações de oxigênio dissolvido nesse mesmo período. De uma maneira geral, as concentrações de oxigênio dissolvido registradas em amostras da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan evidenciaram boa oxigenação da coluna d’água ao longo de todo período avaliado.

Em relação à condutividade elétrica houve registro de elevados valores durante todo período de estudo na UTM/INB e nos meses de outubro de 2008 e julho de 2009 na represa das Antas. Já na represa Bortolan baixos valores de condutividade elétrica foram registrados. Na represa das Antas os maiores valores de condutividade elétrica podem estar relacionados à entrada do efluente tratado com hidróxido de cálcio, proveniente da bacia de decantação da UTM/INB, favorecendo o aumento da concentração de íons na coluna d’água. Assim, a elevada condutividade registrada nessa

represa, principalmente nos meses de outubro de 2008 e julho de 2009, pode ser decorrente do tratamento não adequado do efluente líquido pela UTM/INB, que pode estar sendo liberado, antes que ocorra a precipitação adequada dos íons na bacia de decantação.

Elevados valores de condutividade elétrica nos reservatórios podem indicar forte influência do uso do solo e de intensa ação antrópica nas bacias. Em regiões tropicais essa variável parece depender em grande parte das características geoquímicas da região, da localização do reservatório, bem como das condições climáticas (MELÃO, 1997). Na represa das Antas a alta condutividade elétrica parece ser influenciada pela UTM-INB, o qual libera o efluente tratado diretamente nessa represa. Já a represa Bortolan, apresentou registros de baixos valores de condutividade elétrica, sugerindo que o efluente tratado pela UTM/INB que é lançado na represa das Antas, pode ter sofrido processo de diluição das águas que fluem pela Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas, até alcançar a represa Bortolan situada a jusante. Ronqui (2008) em estudo realizado também na represa das Antas registrou valor médio máximo de condutividade igual a  $411,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ , valor considerado intermediário quando comparado aos maiores valores médios detectados no presente estudo, em outubro de 2008 ( $582,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) e julho de 2009 ( $321,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ ).

Na UTM/INB durante todo período de estudo os elevados valores de condutividade elétrica, podem ser explicados pela disponibilização dos íons cálcio e magnésio ( $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ ), que estão relacionados com a elevada dureza da água registrada nesse ambiente e também ao pH ácido, o qual promove a solubilização dos metais presentes no sedimento para a coluna d'água. Segundo Alvarez et al. (2009) em um estudo realizado em uma área mineradora de cobre no México, os elevados valores de condutividade elétrica foram decorrentes da alta atividade de íons hidrogênio devido ao pH ácido do local. Também de acordo com esses autores, condições ácidas favorecem a solubilização de metais contribuindo com o aumento dos valores da condutividade elétrica na água.

A medida da transparência da coluna d'água nos fornece uma importante informação a respeito da extensão da zona eufótica. Na maioria dos lagos e reservatórios os valores de transparência da água estão em torno de 2 a 10m, ocorrendo variação sazonal em resposta às variações das concentrações de matéria inorgânica, orgânica ou plâncton (WETZEL; LIKENS 1991; WETZEL 1981; LEWIS JR, 1978).

No presente estudo, na UTM/INB a transparência da água foi total provavelmente devido a baixa profundidade do local de amostragem, uma vez que as amostras foram coletadas somente na margem desse “lago”. Durante todo período de estudo o maior valor de transparência da coluna d’água, ou seja 5,3m foi registrado no período seco (julho de 2009) na represa das Antas no ponto A4, situado na região limnética. Os demais pontos localizados nessa represa apresentaram transparência total, com a medida do disco de Secchi atingindo o sedimento. A maior transparência registrada em julho de 2009, pode estar relacionada com a menor concentração de sólidos em suspensão nesse mesmo período ( $1,4 \text{ mg L}^{-1}$  para amostras do ponto A4).

Já a represa Bortolan apresentou baixa transparência da coluna d’água em todo o período de estudo, com maior transparência registrada em outubro de 2008 (1,3m) e julho de 2009 (1,4m). A baixa transparência da coluna d’água nessa represa, provavelmente pode estar relacionada com a alta turbulência da água (movimentação de embarcações, bem como despejos de efluentes industriais e domésticos) e as maiores concentrações médias de sólidos em suspensão (janeiro de 2009= $6,94 \text{ mg L}^{-1}$  e abril de 2009= $7,32 \text{ mg L}^{-1}$ ), detectadas nesse corpo aquático, quando comparado com os valores de sólidos em suspensão da represa das Antas.

Os maiores valores médios de concentração de sólidos totais nas represas das Antas e Bortolan foram registradas no mês de janeiro de 2009, cujos valores foram  $6,94 \text{ mg L}^{-1}$  e  $8,07 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Cabe ressaltar, que no mês de janeiro de 2009 foi registrado maior índice pluviométrico (270,26mm), quando comparado com os demais meses de amostragem. Assim, pode-se inferir que o aumento de sólidos totais no período com maior ocorrência de chuvas, pode estar relacionado ao aporte de material alóctone proveniente das margens e afluentes das represas, bem como a possível ocorrência de ressuspensão do material presente no sedimento para a coluna d’água, favorecendo às maiores concentrações de sólidos totais registradas nesse período para ambas as represas. Na UTM/INB a maior concentração de sólidos em suspensão foi registrada em outubro de 2008 ( $10,65 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Em estudo realizado na Represa Billings (Riacho Grande) caracterizada como eutrófica, Mariani et al. (2006) registraram valores menores de sólidos totais  $1,05 \text{ mg L}^{-1}$  (mínimo) e  $1,25 \text{ mg L}^{-1}$  (máximo), quando comparados aos valores detectados no presente estudo. No Reservatório de Corumbá, Goiás, Bonecker et al. (2001) registraram concentração máxima de material em suspensão total de  $296,0 \text{ mg L}^{-1}$ , valor

mais elevado, quando comparado com as concentrações máximas registradas nos diferentes ambientes estudados.

Os elementos químicos circulam no ambiente entre os organismos sendo alguns considerados essenciais para a vida dos organismos aquáticos tornando-se tóxico quando presente em elevadas concentrações no ambiente (RIETZLER; FONSECA; LOPES, 2001).

O metal manganês é considerado um dos elementos essenciais para o homem, assim como para uma grande variedade de organismos vivos, uma vez que é constituinte de várias enzimas. Tanto a falta quanto o excesso desse elemento pode ser considerado como um fator limitante. Em águas naturais as concentrações de manganês são inferiores a  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo que exposições prolongadas a esse metal podem causar efeitos adversos nos sistemas nervoso, respiratório e outros (NASCIMENTO, 2003). No presente estudo, concentrações desse elemento acima dos limites previstos para os corpos de água Classe 2 ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ), foram detectadas em todos os pontos de amostragem localizados nas represas das Antas e Bortolan. Concentrações de manganês registradas na represa das Antas foram mais elevadas, variando de  $0,43$  a  $0,71 \text{ mg L}^{-1}$ , quando comparada com a represa Bortolan, onde a concentração desse metal variou de  $0,25$  a  $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ .

Os resultados do presente estudo confirmam os dados apresentados pelo Projeto ARCAL RLA01/10 (2009), sobre a qualidade das águas do Ribeirão das Antas, que concluiu que a mineradora de urânio UTM/INB, libera em seu efluente líquido, concentrações elevadas de manganês (cerca de  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ ). Ronqui (2008) também em um estudo realizado nesse mesmo corpo aquático reportou concentrações relevantes de manganês em fevereiro de 2008 (média=  $6,05 \text{ mg L}^{-1}$ ), quando comparado aos resultados apresentados nesse estudo. Na UTM/INB elevadas concentrações de manganês no valor de  $70,85 \text{ mg L}^{-1}$  foram registrados.

Concentrações de fluoreto e sulfato na represa das Antas também estiveram acima dos limites previstos pela Resolução 357 do Conama (BRASIL, 2005) e pela Deliberação Copam/Cerh-MG (2008), em todos os pontos de amostragem no mês de outubro de 2008, com exceção dos pontos A1 e A4-S (represa das Antas) para sulfato. Na represa Bortolan às concentrações de fluoreto e sulfato estiveram dentro dos limites fixados pelas Legislações vigentes, durante todo período de estudo, fato que pode estar relacionado, ao processo de diluição, uma vez que esta represa se localiza a jusante da

Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas e não recebe diretamente despejos de efluentes tratados, procedentes da área mineradora UTM/INB.

Vale ressaltar, que na UTM/INB elevadas concentrações de fluoreto e sulfato foram registradas durante todo período de estudo, indicando presença desses elementos no efluente lançado pela mineradora. Assim, a provável explicação para os valores acima dos limites detectados para fluoreto e sulfato na represa das Antas, no período de outubro de 2008, pode ser devido à uma possível falha no sistema de tratamento do efluente líquido pela UTM/INB. De acordo com Nascimento et al. (1988), os efluentes líquidos da UTM/INB, caracterizados quimicamente antes do tratamento para posterior lançamento na represa das Antas, apresentam elevadas concentrações de fluoreto, sulfato, manganês, zinco, urânio, tório entre outros elementos, concordando com os resultados do presente estudo.

Para o elemento químico ferro total, os valores registrados na represa das Antas variaram de 0,1 a 1,22 mg L<sup>-1</sup>, já na represa Bortolan houve variações de 0,17 a 0,67. De acordo com a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), os limites estabelecidos para concentração de ferro total para os corpos aquáticos classe 2 é 0,3 mg L<sup>-1</sup>. Os resultados registrados no presente estudo foram considerados elevados quando comparados a outros corpos aquáticos como observado em um estudo realizado por Pedrozo et al. (2001), em um lago ácido de origem vulcânica (Calviahue) e seus tributários, onde esses autores registraram em todo o período de estudo maior concentração de ferro total no valor de 0,069 mg L<sup>-1</sup> em um dos tributários que apresentou pH tendendo à neutralidade (6,34).

Segundo Alvarez et al. (2009) menores concentrações de ferro são registradas em locais com pH neutro, enquanto que locais mais ácidos apresentam concentrações de ferro total mais elevadas. Em ambas as represas as maiores concentrações médias de ferro total, foram registradas nos meses de janeiro e abril de 2009 que foram caracterizados por apresentarem valores médios de pH mais baixos, o que corrobora as observações de Alvarez et al.

As maiores concentrações de Fe<sup>+3</sup> registradas nos três ambientes, em especial em maior concentração na UTM/INB, pode ser explicada pela oxidação natural do sulfeto metálico pirita em presença de água e oxigênio, promovendo a liberação do íon Fe<sup>+2</sup> que em solução é rapidamente oxidado a forma Fe<sup>+3</sup>. Assim a forma oxidada Fe<sup>+3</sup>



é encontrada em maiores concentrações, principalmente na UTM/INB, devido a maior presença de pirita nesse ambiente.

De acordo com Baborowski e Bozau (2006), o urânio é comumente encontrado em concentrações muito baixas no ambiente. Entretanto, este metal radioativo pode estar presente em maiores concentrações em algumas regiões como, por exemplo, em águas superficiais e subterrâneas, devido às condições geológicas do local. Por estar nas proximidades de uma área mineradora de urânio (Mina Osamu Utsumi) a região do Planalto de Poços de Caldas, bem como suas bacias hidrográficas apresentam radioatividade natural associada a rochas vulcânicas e depósitos de minerais de urânio (CIPRIANI, 2002).

Assim, concentrações de urânio acima dos limites previstos pelo Ofício nº 50/SLC (junho/1997) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) detectadas no período de outubro de 2008 nas represas das Antas e Bortolan situadas nessa região, podem estar relacionadas com a geologia do local bem como, estar associada às atividades de mineração da UTM/INB. De acordo com Elbaz-Poulichet et al. (1999), atividades de mineração podem levar ao enriquecimento de metais estáveis e radioativos como o urânio em águas naturais.

Na represa das Antas o ponto A4-F apresentou concentração de urânio de 0,07 mg L<sup>-1</sup> em outubro de 2008, valor considerado acima dos limites previstos pela CNEN, pela Resolução 357 do Conama (BRASIL, 2005) e pela Deliberação Copan COPAM/CERH-MG (2008). Na represa Bortolan, concentrações acima dos limites foram também detectadas no período de outubro de 2008, nos pontos B1-F e B2-M que apresentou concentração no valor de 0,05 mg L<sup>-1</sup> e B2-F (0,06 mg L<sup>-1</sup>).

Dados sobre a toxicidade do urânio em ambientes aquáticos são escassos e diversos estudos tem apontado que a toxicidade desse elemento é dependente de muitas variáveis, principalmente pH e íons carbonato (POSTON; HANF JR.; SIMMONS, 1984). De acordo com Antunes et al. (2007) o urânio é uma das maiores preocupações, uma vez que é considerado potencialmente tóxico para a biota de água doce. Com base em testes ecotoxicológicos aplicados em alguns invertebrados de água doce, Sheppard et al. (2005) definiram que o limite máximo da concentração de urânio na água sem causar efeito tóxico para os invertebrados é 0,005 mg UL<sup>-1</sup> (concentração previsível sem efeito - PNECs) Assim, as concentrações de urânio detectadas na água nos pontos CM,

A4-F, B1-F e B2-M no presente estudo, poderiam causar efeito tóxico nos invertebrados planctônicos, de acordo com o limite proposto por Sheppard et al.

Vale ressaltar que de acordo com Poston, Hanf Jr. e Simmons (1984), o elemento químico urânio apresenta alta tendência para solubilização em condições ácidas e transporte na água, sendo caracterizado pelo seu alto potencial tóxico, o qual é prejudicial para os organismos aquáticos expostos a efluentes procedentes de mina de urânio. Assim, o efeito tóxico do urânio sobre a biota aquática foi verificado principalmente na UTM/INB, que apresentou condições ácidas durante todo período de estudo, permitindo a maior solubilidade desse elemento na água, o que pode estar relacionado com a baixa riqueza e densidade de organismos zooplânctônicos nesse local.

No presente estudo as formas nitrogenadas, fosfatadas e silicato foram analisadas na UTM/INB, represas das Antas e Bortolan. Segundo Carpenter (1988) baixas concentrações de nutrientes podem limitar a produtividade primária em lagos, rios e reservatórios, uma vez que sua disponibilização em quantidades adequadas é essencial, para o desenvolvimento dos organismos aquáticos. Ainda esse autor afirma que a baixa produção primária pode interferir na produção secundária do zooplâncton alterando assim, toda cadeia alimentar aquática.

O ciclo dos compostos nitrogenados que incluem amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico total são controlados por processos biológicos como a nitrificação, desnitrificação e fixação de nitrogênio molecular (ESTEVEZ, 1998). De acordo com Santos-Wisniewski (1998), o ciclo destes nutrientes é normalmente dinâmico, portanto, variações relacionadas à concentração e ao padrão dos picos desses compostos nas amostragens podem ocorrer frequentemente. Já os compostos fosfatados incluem fosfato inorgânico, fosfato total dissolvido e fósforo total.

No presente estudo às concentrações médias de nitrogênio total nas represas das Antas e Bortolan apresentaram maiores valores em janeiro de 2009, ou seja,  $1190 \mu\text{g L}^{-1}$  e  $1050 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. Por outro lado, na UTM/INB maiores concentrações desse nutriente foram registradas em outubro de 2008 ( $840 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Nos reservatórios de Mourão (oligotrófico), Segredo (mesotrófico) e Iraí (eutrófico) localizados no Paraná, concentrações médias de nitrogênio total nos valores de  $381,53 \mu\text{g L}^{-1}$ ,  $1289,76 \mu\text{g L}^{-1}$  e  $1252,05 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente, foram registradas (BONECKER et al., 2007). No presente estudo, embora os três ambientes sejam caracterizados como sistemas oligotróficos as concentrações de nitrogênio total foram consideradas superiores quando

comparada com as registrados no reservatório Mourão (oligotrófico) e inferiores aos valores obtidos nos reservatórios de Segredo (mesotrófico) e Iraí (eutrófico).

O nitrito sofre fácil processo de oxidação sendo raramente acumulado e sua concentração nos corpos aquáticos é geralmente baixa, menor que  $100 \mu\text{g L}^{-1}$ , exceto quando os índices de poluição por matéria orgânica são altos (MACCARTHY, 1980).

No presente estudo, a maior concentração média desse nutriente ocorreu na UTM/INB ( $5,32 \mu\text{g L}^{-1}$ ), seguido dos valores registrados na represa Bortolan ( $2,23 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e represa das Antas ( $0,73 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Tais valores foram considerados mais elevados quando comparado com os valores registrados no reservatório de Ibitinga (mesotrófico), localizado no médio Tiête em três estações de coleta (E1, E2 e E3), onde Vieira et al. (2002) registraram valores médios de nitrito variando de  $0,43$  a  $1,16 \mu\text{g L}^{-1}$  nessas três estações de amostragem.

O nitrato, ao contrário da amônia ou dos íons metálicos movimenta-se facilmente através do subsolo, o que pode facilitar o aumento desse nutriente nos fluxos de água através de mudanças naturais ou artificiais (impactos antrópicos) na bacia de drenagem (GOLDMAN; HORNE, 1983).

No presente estudo altas concentrações de nitrato foram detectadas na represa Bortolan, seguido da represa das Antas, com maior valor sendo registrado em julho de 2009 nos pontos B2-F ( $465,9 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e A4-F ( $200,7 \mu\text{g L}^{-1}$ ), respectivamente. Na UTM/INB houve registros de menores concentrações durante todo período de estudo, com maior valor sendo detectado em abril de 2009 no ponto CM ( $33,8 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Mariani et al. (2006), em um estudo realizado na represa Billings-SP, um corpo aquático considerado eutrófico, registraram valor inferior ( $93,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) quando comparado ao do presente trabalho. Por outro lado, no Reservatório do Funil, um corpo aquático também eutrófico, elevada concentração ( $2400,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) desse nutriente, quando comparada com às concentrações máximas detectadas na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan foram registradas por Branco et al. (2002).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e a Deliberação COPAM/CERH-MG (2008) as quais estabelecem para corpos de água Classe 2 um limite  $10.000 \mu\text{g L}^{-1}$  para nitrato e de  $1000 \mu\text{g L}^{-1}$  para nitrito, todos os pontos de amostragem apresentaram registros de concentrações para nitrato e nitrito dentro dos limites estabelecidos.

Na água a amônia se apresenta apenas como íon amônio ( $\text{NH}^{+4}$ ) e segundo Wetzel (1993), essa forma nitrogenada constitui o produto final do processo de decomposição da matéria orgânica por bactérias heterotróficas. No presente trabalho, concentrações elevadas desse íon foram detectadas no ponto B2-M ( $250,6 \mu\text{g L}^{-1}$ ), localizado na represa Bortolan. Na represa das Antas houve registro de maior valor no ponto A1 ( $65,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ) no mês de janeiro de 2009, já na UTM/INB maior concentração foi detectada em abril de 2009 ( $50,05 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Del-Águila (2001), em estudo realizado no rio Sapucaí (Reservatório da UHE de Furnas), registrou concentração máxima de amônia no valor de  $130,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , encontrando correlações significativas entre as maiores concentrações deste nutriente associadas ao estabelecimento de populações urbanas. No presente estudo às maiores concentrações desta forma nitrogenada na represa Bortolan, podem também estar associadas ao processo de ocupação urbana no entorno deste corpo aquático.

A concentração de silicato nas águas naturais geralmente varia em torno de 1 a  $30 \mu\text{g L}^{-1}$  (APHA, 1992). Nos corpos hídricos a reposição desse nutriente ocorre principalmente através da circulação da coluna d'água ou da circulação vertical da mesma ou ainda, pela entrada de nutrientes provenientes de fontes alóctones (DELGADO, 1999). No presente trabalho, as maiores concentrações de silicato foram registradas na represa Bortolan variando de 1,7 a  $4,9 \mu\text{g L}^{-1}$ , seguido das concentrações obtidas para a represa das Antas e UTM/INB, cujos valores variaram 1,0 a  $2,75 \mu\text{g L}^{-1}$  e 0,2 a  $1,3 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente.

Santos 1996, em um estudo realizado no reservatório de Barra Bonita (eutrófico), relacionou que o silicato parece ser liberado do sedimento com a homogeneização da coluna d'água, registrando em seu estudo, concentrações dessa variável na água até quatro vezes maiores no inverno em relação ao período chuvoso (verão). Embora os ambientes sejam caracterizadas pela baixa profundidade, o que facilita a homogeneização da coluna d'água através dos movimentos de circulação favorecidos pela ação dos ventos, somente a represa Bortolan apresentou valores elevados dessa variável também no período seco (julho de 2009), o que pode estar relacionado com a liberação de silicato do sedimento para a coluna d'água como verificado por Santos 1996.

O fósforo é o elemento-chave na regulação da produtividade dos ecossistemas aquáticos e, talvez, seja o nutriente mais importante na maioria dos ecossistemas

dulcícolas (BREZONIK; POLLMAN, 1999). Esteves (1998) e Wetzel (1993), afirmam que o fósforo é o principal fator limitante da produtividade em ambientes aquáticos. Na água esse nutriente encontra-se presente na forma fosfato (MARGALEF, 1983), sendo proveniente de fontes naturais, através do intemperismo de rochas fosfatadas e decomposição da matéria orgânica, ou ainda de fontes artificiais decorrente de atividades agrícolas (fertilizantes) e despejos de esgotos domésticos e industriais (ESTEVES, 1998). No processo de eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos este nutriente juntamente com o nitrogênio, atua como um dos principais fatores associado a este processo.

De acordo com os dados do presente estudo, os três ambientes estudados apresentaram variações diferentes em relação às concentrações de fósforo total. Durante todo período de estudo maior concentração desse nutriente total foi registrada em amostras da represa Bortolan ( $39,2 \mu\text{g L}^{-1}$ ) seguido da represa das Antas ( $19,25 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e UTM/INB ( $17,95 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Lucinda et al. (2004), analisando 19 corpos de água da bacia do alto rio Tiête-SP, com diferentes graus de trofia, verificaram valores de fósforo total semelhantes aos obtidos no presente estudo para os reservatórios de Ponte Nova ( $12,48 \mu\text{g L}^{-1}$ ), Cachoeira das Graças ( $26,84 \mu\text{g L}^{-1}$ ), Taiapuêba-E1 ( $26,51 \mu\text{g L}^{-1}$ ), Paiva Castro, Jundiá ( $29,12 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e Guarapiranga-Litoral ( $27,75 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Vale ressaltar, que as concentrações de fósforo total estiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e Deliberação COPAM/CERH-MG (2008), às quais estabelecem limite máximo de  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  para os corpos de água Classe 2.

O fosfato inorgânico dissolvido também chamado de ortofosfato, ou fosfato reativo solúvel pode estar presente na água em diferentes formas iônicas em função das variações do pH, temperatura e concentrações de oxigênio (MARGALEF, 1983).

As baixas concentrações de fosfato inorgânico registradas nas represas das Antas e Bortolan podem estar relacionadas, ao fato dessa forma fosfatada ser a principal fonte de fósforo para o fitoplâncton sendo, portanto, rapidamente assimilada por estes organismos. Na represa das Antas não foram observadas variações sazonais em relação às concentrações de fosfato inorgânico dissolvido, durante todo o período de amostragem, uma vez que as concentrações desse nutriente variaram entre  $0,05$  a  $0,70 \mu\text{g L}^{-1}$ . Já na represa Bortolan, variações sazonais na concentração dessa forma fosfatada foram detectadas, com faixa de variação de  $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$  a  $4,45 \mu\text{g L}^{-1}$ . Na

UTM/INB maior amplitude de variação para fósforo total foi verificada, uma vez que as concentrações dessa forma variaram de 1,80 a 11,95  $\mu\text{g L}^{-1}$  em amostras do ponto CM.

Em estudo realizado no reservatório de Barra Bonita, um corpo aquático eutrófico, concentrações médias de fosfato inorgânico dissolvido variaram de 11,8 a 25,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  (MATSUMURA-TUNDISI; TUNDISI 2005). Tais variações foram consideradas superiores quando comparadas as concentrações detectadas nas represas das Antas e Bortolan, porém semelhante a concentração máxima registrada na UTM/INB

As concentrações de fosfato total dissolvido seguiram o mesmo comportamento sazonal nas represas das Antas e Bortolan, com maiores concentrações médias sendo detectadas em julho de 2009, já na UTM/INB maior valor médio foi obtido em outubro de 2008. Na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan maiores concentrações desse nutriente foram registradas em amostras dos pontos CM (4,67  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), A1 (5,2  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e B2-F (13,1  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), respectivamente. Em um estudo realizado por Lucinda et al. (2004) esses autores registraram que as concentrações de fosfato total dissolvido na bacia do alto Tiête nos Reservatórios Cachoeira das Graças (6,52  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), Paiva Castro (6,82  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), Ponte Nova (4,69  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e Lagoa Rodrigo Pires (6,67  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); foram semelhantes às concentrações registradas na UTM/INB e na represa das Antas. Já os Reservatórios de Ribeirão do Campo (13,4  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e Billings-Taquacetuba (12,03) apresentaram concentrações similares às registradas na represa Bortolan.

O valor da razão de Redfield 16N:1P é frequentemente, assumido como o valor ótimo para que não ocorram limitações por nitrogênio ou fósforo nos ambientes aquáticos (FERRAGUT; BICUDO, 2009) sendo, portanto, considerado como referência padrão na avaliação das limitações de nutrientes em ecossistemas aquáticos, sejam eles de origem marinha ou de água doce (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

De acordo García et al. (2002) o melhor indicador do estado nutricional dos lagos parece ser a razão (N:P). Estes autores em estudo realizado no reservatório Valle do Bravo (México) registraram razão de 0,98N: 5,68P, indicando limitações de nitrogênio nesse ambiente. No presente estudo, um comportamento inverso ao registrado por esses autores foi observado na UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, que apresentaram concentrações expressas na razão de nitrogênio para fósforo de 64N:1P; 101N:1P e 29N:1P, respectivamente, o que indica que nesses ambientes o fósforo atuou como fator limitante, uma vez que o nitrogênio esteve em excesso.

No presente estudo, a maior limitação de fósforo na UTM/INB (64N:1P) e represa das Antas (110N:1P), pode ter afetado de maneira direta a produtividade primária desses ambientes, devido às menores concentrações das formas fosfatadas, principalmente de fosfato inorgânico, o qual é a principal fonte de assimilação de fósforo para o fitoplâncton. Assim, a menor produtividade primária estimada pela concentração de clorofila *a* na UTM/INB e represa das Antas, pode estar diretamente relacionada com a menor densidade e riqueza de organismos zooplanctônicos registrados nesses locais, quando comparado com a represa Bortolan, onde o fósforo foi menos limitante.

## 6.2 Comunidade Zooplanctônica

A distribuição espacial e temporal da comunidade zooplanctônica pode ser influenciada por uma série de fatores abióticos e bióticos. Entre os fatores de origem abiótica que influenciam as flutuações sazonais desta comunidade destacam-se: temperatura, radiação solar, velocidade do vento, precipitação, tempo de residência do reservatório ou ainda, os processos de descarga que ocorrem no mesmo. Já os fatores de origem biótica que influenciam essa distribuição estão associados com as diferentes interações ecológicas: relações predador-presa, bem como as migrações verticais e horizontais que ocorrem nessa comunidade (MATVEEV et al., 1992). A comunidade zooplanctônica dos ecossistemas aquáticos é formada principalmente pelos grupos Protista, Rotifera e Crustacea (Copepoda e Cladocera) (HUTCHINSON, 1967).

Alterações na diversidade e composição das espécies zooplanctônicas podem ocorrer nos sistemas aquáticos situados dentro da mesma bacia hidrográfica dependendo da entrada de materiais trazidos pelos afluentes e pelas áreas de entorno (TUNDISI, 1999). As represas das Antas e Bortolan embora façam parte da mesma Sub-Bacia Hidrográfica, foram caracterizadas por apresentar diferenças em relação às variáveis abióticas e ao zooplâncton. Esse fato pode estar relacionado aos diferentes impactos das áreas de entorno, uma vez que a represa das Antas recebe maior influência do complexo minerador UTM/INB e a represa Bortolan, situada mais a jusante desta Sub-Bacia, recebe maior despejos de esgotos domésticos e industriais, pois é influenciada pela malha urbana da cidade de Poços de Caldas.

Na UTM/INB houve baixa riqueza de espécies durante todo período de estudo, com os grupos Rotifera e Cladocera sendo igualmente representativos em número de

espécies. Em amostras da represa das Antas e represa Bortolan, Rotifera também foi o grupo com maior representatividade em número de espécies, seguido de Cladocera e Copepoda. Vale ressaltar que em relação a Copepoda na represa Bortolan, somente os estágios de náuplios e copepoditos foram detectados ao longo de todo o período de estudo, não sendo registradas formas adultas. Sampaio et al. (2002) em um estudo realizado nos reservatórios oligotróficos em cascata, localizados no rio Paranapanema, registraram 47 espécies zooplancônicas no reservatório de Jurumirim-SP, 40 táxons em Piraju, 23 em Xanvantes, 34 em Salto Grande e 22 em Capivara, com Rotifera também sendo o grupo mais representativo em todos esses reservatórios.

De acordo com Matsumura-Tundisi (1976), os reservatórios tropicais são caracterizados pela maior dominância do grupo Rotifera em relação à Cladocera e Copepoda. A dominância desse grupo em outros reservatórios tropicais e subtropicais parece ser regra geral. No presente estudo essa tendência também se confirmou para os três ambientes. Dentro da comunidade zooplancônica, outra abordagem que pode explicar o maior número de táxons registrados para o grupo Rotifera na grande maioria dos reservatórios, pode estar relacionado à alimentação diversificada desse grupo, o qual consome uma grande variedade de organismos fitoplancônicos, detritos e bactérias (STARKWEATHER; GILBERT; FROST, 1979). As bactérias, flagelados heterotróficos e pequenos ciliados constituem também, além do fitoplâncton, uma grande parte dos recursos alimentares que podem ser utilizados como fonte de alimento pelos rotíferos (ARNDT, 1993).

No presente estudo a maior concentração de clorofila *a* não esteve diretamente relacionada com as maiores densidades de rotíferos nos pontos amostrais da UTM/INB e represas das Antas durante todo período avaliado. Assim, pode-se sugerir que os rotíferos provavelmente utilizam além do fitoplâncton vários outros recursos alimentares, corroborando com as informações de Starweather (1979) e Arndt (1993) sobre a alimentação diversificada desse grupo. Esse fato explica também a maior representatividade desse grupo em relação ao número de táxons em todos os ambientes estudados, quando comparado aos demais grupos analisados, evidenciando o sucesso e a adaptação dos Rotifera frente as diferentes condições físicas e químicas detectadas nos três ambientes.

Mudanças na composição do fitoplâncton em relação aos valores nutricionais (qualidade e quantidade do alimento), podem afetar a estrutura e o comportamento da



comunidade zooplanctônica, bem como a cadeia alimentar completa (BOËCHAT; GIANI 2008). Ainda Sampaio et al. (2002) ressalta que a qualidade e a disponibilidade do alimento são fatores tão importantes como a predação e competição, uma vez que também podem atuar influenciando a composição de espécies da comunidade zooplanctônica.

No presente estudo, a presença de Cyanophyceae na represa das Antas verificada nos pontos A1 e A2 durante todo período de estudo (AZEVEDO et al., 2010) pode estar relacionada com a ausência da espécie *Daphnia ambigua*, e menor densidade do gênero *Diaphanosoma* nesses pontos de amostragem. Segundo Lampert (1987) os filamentos das Cyanophyceae podem atuar prejudicando o aparato filtrador desses grandes cladóceros, como consequência do bloqueio, “entupimento” dos mecanismos de filtração, interferindo na alimentação dessas espécies. Nos pontos A3 e A4 a presença de *Daphnia ambigua*, *Diaphanosoma spinulosum*, *D. fluviatile* e *Diaphanosoma* sp. nos diferentes períodos sazonais estiveram relacionadas com a menor ocorrência de Cyanophyceae, o que corrobora com as informações de Lampert.

Durante todo período de estudo o ponto CM (UTM/INB) foi caracterizado pela menor riqueza, densidade e abundância de espécies zooplanctônicas quando comparado aos demais pontos das represas das Antas e Bortolan, fato que pode ser explicado pelas condições ambientais extremas desse local (elevada condutividade elétrica, pH ácido, presença de radionuclídeos, elevadas concentrações de sulfato, fluoreto e maior dureza). Segundo Packroff (2000) lagos ácidos influenciados por atividades de mineração, apresentam características peculiares como: baixa diversidade de espécies, baixa abundância de crustáceos zooplanctônicos (Cladocera e Copepoda) ou rotíferos, bem como a ausência de grupos sensíveis como peixes ou daphnideos (Cladocera), concordando com os resultados obtidos no presente estudo.

Na represa das Antas as menores concentrações de clorofila *a* detectadas durante todo período de estudo estiveram, provavelmente, relacionadas com a baixa produtividade primária desse sistema, refletida nos menores valores de densidade dos organismos zooplânctônicos nessa represa, quando comparado a represa Bortolan. Além das menores concentrações de clorofila *a* e de nutrientes, com exceção do nitrogênio total, a represa das Antas foi caracterizada também por apresentar elevados valores de condutividade elétrica, associados com os maiores valores de dureza, sulfato, fosfato, e

manganês que podem ter sido a causa dos baixos valores de densidade e riqueza do zooplâncton observada nesse corpo aquático.

Em ambas as represas o maior número de táxons registrados para o grupo Cladocera não diferiu entre os pontos de amostragem A3 e B1, localizados nas represas das Antas e Bortolan, respectivamente, na região litorânea e os pontos A4 (represa das Antas) e B2 (represa Bortolan), ambos situados na região limnética. Esse fato pode estar relacionado à ausência de macrófitas aquáticas durante todo período de estudo nas regiões litorâneas de ambas represas, que poderiam funcionar como zonas de reprodução ou refúgio, contribuindo diretamente com o aumento da diversidade de algumas espécies do zooplâncton, principalmente às pertencentes ao grupo Cladocera com destaque para as famílias Cydoridae e Macrothricidae. Geralmente na presença de macrófitas aquáticas, representantes da família Chydoridae ocorrem com maior frequência (SANTOS-WISNIEWSKI et al., 2002).

Nas represas das Antas e Bortolan representantes das famílias Chydoridae e Macrothricidae (Cladocera) não foram registrados. Em relação ao gênero *Lecane*, Bonecker, Lansac-Töha e Rossa (1998) inferem que representantes desse gênero são amplamente distribuídos e muito diversificados nos trópicos estando especialmente associados a vegetação litorânea. Na represa das Antas houve registro somente de *Lecane* sp. o qual ocorreu ocasionalmente no ponto A2, em abril de 2009. Na represa Bortolan espécies pertencentes a esse gênero, tais como: *Lecane leontina*, *L. papuana* e *Lecane* sp. também não estiveram associadas a vegetação, uma vez que ocorreram ocasionalmente em amostras dos pontos B1 e B2 situados, respectivamente, nas regiões litorânea e limnética.

Com relação à classificação taxonômica dos rotíferos registrada na represa Bortolan, a família Brachionidae teve maior número de representantes, seguido de Asplanchinidae, Conochilidae, Gastropodidae, Lecanidae, Synchaetidae e Trichocercidae. Na represa das Antas a família Brachionidae também se destacou com maior número de táxons, seguido de Conochilidae e Synchaetidae. Em amostras da UTM/INB houve presença somente de um representante da família Brachionidae e um da ordem Bdelloidea. Em estudo realizado em 19 corpos d'água da bacia do alto rio Tiête apresentando diferentes graus de trofia, a família Brachionidae também foi a mais representativa em número de espécies, juntamente com Trichocercidae e Lecanidae (LUCINDA et al., 2004). Segundo Almeida et al. (2006) a família Brachionidae é

considerada uma das mais importantes para o zooplâncton, na qual as espécies apresentam geralmente hábito planctônico.

Em relação ao grupo Cladocera, na represa das Antas, as famílias Daphnidae e Sididae se destacaram com maior número de representantes, seguido de Bosminidae e Moinidae. Na represa Bortolan a família Sididae também apresentou registro de maior número de táxons seguido de Bosminidae. Por outro lado, em amostras da UTM/INB houve registro somente da família Bosminidae representada por *Bosmina* sp. e *Bosminopsis deitersi*.

Para Copepoda, somente a família Diaptomidae foi registrada na represa das Antas, uma vez que na UTM/INB esse grupo esteve ausente e na represa Bortolan, somente os estágios de nauplios e copepoditos foram encontrados. De acordo com Matsumura-Tundisi (1976) esses estágios imaturos (náuplios e copepoditos) foram dominantes em relação aos indivíduos adultos também em outros reservatórios brasileiros.

Em regiões tropicais a variação sazonal e temporal das espécies pertencentes à comunidade zooplanctônica tem sido atribuída na maioria das vezes a fatores climatológicos e biológicos. Segundo Ruttner (1975) algumas espécies ocorrem durante todo o ano em diferentes densidades, porém outras desaparecem em certos períodos, reaparecendo em outros. A presença ou ausência das espécies em determinados períodos sazonais pode estar relacionada à capacidade de formação de ovos de resistência e ainda, devido a um intervalo de tempo maior entre a formação dos ovos e a geração dos indivíduos.

Nas represas das Antas e Bortolan foi verificado que a distribuição das espécies ao longo de todo o período amostral foi marcada por variações espaciais e sazonais, caracterizando uma distribuição heterogênea durante todo período de estudo. Na UTM/INB as espécies foram registradas ocasionalmente nas amostras do ponto CM.

De acordo com Ruppert e Barnes (1996), os rotíferos que habitam permanentemente corpos de água doce apresentam ciclos ou picos de população durante os meses mais quentes ou podem estar presentes durante todo o ano. Algumas espécies do gênero *Filinia*, *Brachionus* spp. e a espécie *Hexathra mira* ocorrem tipicamente no período de verão, preferindo águas mais quentes (CASTRO et al., 2005). Na represa das Antas a espécie *Filinia opoliensis* apresentou marcante sazonalidade, uma vez que foi registrada em todos os pontos dessa represa somente em abril de 2009, não estando

restrita a períodos amostrais mais quentes (outubro de 2008 e janeiro de 2009), como registrado por Castro et al. Por outro lado, a espécie *Filinia longiseta* com ocorrência restrita na represa Bortolan, esteve presente durante todo o período sazonal, nos pontos B1 e B2 não indicando também preferência por águas mais quentes.

A espécie *Keratella americana* foi registrada na UTM/INB (ponto CM). Segundo Koste (1978) *Keratella americana* é uma espécie ligada à águas ácidas. No presente estudo sua ocorrência na UTM/INB esteve relacionada a valores de pH ácido, o que corrobora com as informações de Koste. Por outro lado, na represa das Antas, *Keratella americana* foi registrada também em pH neutro, ou seja, 6,95 e 7,0 nos pontos A3 e A4, respectivamente.

No presente estudo a maioria das espécies registradas para os grupos Rotifera e Cladocera nos três ambientes estudados são consideradas cosmopolitas.

Durante todo o período de amostragem a espécie exótica de rotífero *Kellicottia bostoniensis* foi registrada somente na represa Bortolan, no ponto B2 localizado na região limnética, nos meses de outubro de 2008 e janeiro de 2009. A distribuição de *Kellicottia bostoniensis* era restrita à América do Norte, mas atualmente já existem registros de sua ocorrência na Europa, Ásia e América do Sul (BEZERRA-NETO et al., 2004). Segundo Lopes et al. (1997) a introdução dessa espécie de Rotifera típica de regiões temperadas para regiões neotropicais, pode estar associada ao transporte de ovos de resistência pelas aves migratórias. Outra possibilidade teria sido o transporte ocasional da mesma através da água do lastro de navios (REID; PINTO-COELHO, 1994).

No reservatório da UHE de Furnas no compartimento Sapucaí, maiores densidades de *Kellicottia bostoniensis* estiveram correlacionada a nitrato, nitrito e íon amônia, comprovando que essa espécie ocorre preferencialmente em ambientes eutróficos com maiores concentrações de nutrientes (LANDA; DEL-AGUILA; PINTO-COELHO, 2002). No presente estudo *Kellicottia bostoniensis* esteve também associada a maiores concentrações de nutrientes (represa Bortolan), uma vez que essa espécie não ocorreu na UTM/INB e na represa das Antas.

Espécies dos gêneros *Brachionus* e *Keratella* são endêmicas das regiões da América do Sul e Austrália (DUMONT, 1983). No presente estudo, espécies pertencentes ao gênero *Brachionus* ocorreram nos pontos B1 e B2 da represa Bortolan e somente no ponto A2 na represa das Antas. Já as espécies pertencentes ao gênero

*Keratella* foram mais representativas ocorrendo em todos os pontos de amostragem dos três ambientes analisados.

De acordo com Lucinda et al. (2004) a ocorrência de representantes do gênero *Brachionus*, e algumas espécies como: *Filinia opolienis*, *Kellicottia bostoniensis* e *Keratella cochlearis* parecem estar relacionadas a condições mais eutróficas. Os resultados do presente estudo concordam com as informações de Lucinda et al. uma vez que, representantes do gênero *Brachionus* como as espécies *Brachionus calyciflorus*, *B. falcatus* e *B. mirus*, juntamente com a espécie *Kellicottia bostoniensis*, estiveram relacionadas também a condições mais eutróficas, ocorrendo somente na represa Bortolan. Já *Keratella cochlearis* e *Brachionus* sp. estiveram presentes tanto em condições oligotróficas (represa das Antas) como também em condições oligomesotrófica (represa Bortolan).

No presente estudo *Keratella cochlearis* foi registrada em todos os pontos de amostragem nas represas das Antas e Bortolan. Na represa das Antas essa espécie esteve presente quando os valores de condutividade elétrica foram elevados (129,4-765  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). Já na represa Bortolan *Keratella cochlearis* também ocorreu onde os valores de condutividade permaneceram baixos durante todo o período de estudo (66,1- 99,1  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). Cabe ressaltar ainda, que essa espécie de Rotifera foi registrado em amplas variações de pH, cujos valores variaram de levemente ácido a neutro (5,6 - 7,3) para ambas represas. No estudo de Lucinda et al. (2004), esses autores detectaram a mais alta frequência relativa (61%) de *Keratella cochlearis* na lagoa Rodrigo Pires, associada a valor de pH ácido (5,18) refletindo seu hábito não especializado, bem como sua tolerância as variações de pH. No presente estudo essa espécie apresentou ampla tolerância aos valores de pH e condutividade elétrica, fato que reflete e confirma seu hábito não especializado como citado por Lucinda et al.

A espécie *Conochilus unicornis* considerada cosmopolita, foi encontrada ocasionalmente na represa das Antas, somente em amostras do ponto A4 em julho de 2009. Por outro lado, na represa Bortolan essa espécie esteve presente em quase todo período amostral. Dados sobre essa espécie e sua relação com os diferentes graus de trofia dos ambientes são conflitantes. Segundo Matsumura-Tundisi et al. (1990) essa espécie foi considerada indicadora do processo de eutrofização no reservatório de Barra Bonita (SP). Gannon e Stemberger (1978), predizem que os maiores valores de abundância dessa espécie estiveram relacionados com ambientes oligotróficos sendo

considerada, portanto, como uma espécie indicadora de ambientes com menor trofia.

Em um estudo realizado no rio Paraná a baixa densidade ou ausência de representantes do gênero *Daphnia* estiveram relacionadas com a presença de representantes do gênero *Moina* (PAGGI; PAGGI, 1990). Os resultados apresentados nesse trabalho não confirmam essa tendência para amostras da represa das Antas, uma vez que os gêneros *Daphnia* e *Moina* representados respectivamente, pelas espécies *Daphnia ambigua* e *Moina minuta* co-ocorreram: a presença de uma espécie não esteve relacionada com a ausência da outra. Por outro lado, na represa Bortolan, somente a espécie *Moina minuta* foi registrada, já que *Daphnia ambigua* não ocorreu nessa represa, o que confirma a mesma tendência observada por Paggi e Paggi (1990).

As espécies de cladóceros *Bosminopsis deitersi* e *Moina minuta* são dominantes em ambientes oligotróficos, embora também ocorram em condições mesotróficas (SAMPAIO et al., 2002). No presente estudo essas espécies ocorreram nas represas das Antas e Bortolan e estiveram também relacionadas a condições oligotróficas (represa das Antas) e oligo-mesotróficas (represa Bortolan), como verificado por Sampaio et al. (2002).

Em relação ao grupo Calanoida uma ausência total de espécies cosmopolitas é verificada (MATSUMURA-TUNDISI, 1986). Segundo Hutchinson (1967) para calanóidas é comum a ocorrência de espécies endêmicas, visto que esses organismos se estabelecem em latitudes bem definidas. No presente estudo a espécie de Calanoida *Argyrodiaptomus furcatus* ocorreu somente na represa das Antas, em quase todos os pontos de amostragem. A presença dessa espécie nesse corpo aquático esteve relacionada a condições oligotróficas, associado a elevados valores de dureza, condutividade elétrica, fósforo, sulfato e manganês registrados nesse corpo aquático. De acordo com Matsumura-Tundisi e Tundisi (1976) a espécie *Argyrodiaptomus furcatus* é considerada indicadora de águas oligotróficas no Sudeste do Brasil.

Ainda Matsumura-Tundisi e Tundisi (2003) com base em resultados de experimentos laboratoriais concluíram que *Argyrodiaptomus furcatus* não é uma espécie tolerante a valores de condutividade elétrica superiores a  $130,0 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Em alguns reservatórios como em Barra Bonita e no Broa, nos últimos 20 anos de estudo, foi verificado que essa espécie foi substituída por *Notodiptomus iheringi*, quando os valores de condutividade elétrica aumentaram de  $110,0 \mu\text{Scm}^{-1}$  (média em 1979) para  $370,0 \mu\text{Scm}^{-1}$  (média em 2002). No presente estudo mesmo em baixas densidades, essa

espécie apresentou-se tolerante em relação aos altos valores de condutividade elétrica registrados na represa das Antas que variaram de 37,8 a 765,0  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Com base nessas informações essa espécie pareceu estar mais relacionada ao menor grau de trofia do que a menores valores de condutividade elétrica, como verificado por Matsumura-Tundisi e Tundisi.

Cabe considerar também que a estrutura da comunidade zooplanctônica, além de ser influenciada pelos fatores abióticos e bióticos é também diretamente regulada pelos efeitos em cascata (“top-down e bottom up”). Por exemplo, a predominância das formas menores de cladóceros como alguns representantes dos gêneros *Bosmina*, *Bosminopsis* e *Ceriodaphnia*, sobre as formas maiores *Daphnia* e *Diaphanosoma*, pode ser consequência da predação por invertebrados (*Chaobous* sp.) ou por vertebrados (peixes planctônicos) sobre as formas maiores (REJAS et al., 2005).

Brooks e Dodson (1965), observaram que em ambientes com maior grau de trofia e com presença de grandes predadores, houve predomínio das formas menores de cladóceros, como *Bosmina longirostris*. Por outro lado, na ausência de predadores as maiores formas como representantes do gênero *Daphnia*, dominaram. No presente estudo essa observação se confirmou, uma vez que houve dominância das menores formas de cladóceros como *Bosmina freyi* e *Bosminopsis deitersi*, bem como o predomínio do microzooplâncton (rotíferos, nauplios e copepoditos) na represa Bortolan, ambiente caracterizado como oligotrófico e mesotrófico, onde a presença de peixes é intensa, o que pode ter favorecido o predomínio dessas espécies. Na represa Bortolan a presença do predador *Asplanchna* sp. também ocorreu na maior parte do período sazonal, sua ausência em julho de 2009 no ponto B1, esteve relacionada com a presença das espécies *Conochilus coenobasis* e *Hexarthra intermedia* (rotíferos) e do cladóceros *Ceriodaphnia silvestrii* nesse mesmo período.

Como se trata de um estudo pioneiro sobre a comunidade zooplanctônica, não há informações na literatura a respeito do impacto da predação de peixes sobre o zooplâncton na represa Bortolan. Assim, estudos que visem o levantamento das espécies de peixes que estão presentes nesse corpo aquático são necessários, para o entendimento dos possíveis efeitos que a predação pode exercer sobre essa comunidade.

Já na represa das Antas caracterizada apenas como oligotrófica onde não foi observado a presença de predadores vertebrados (peixes), as espécies *Bosminopsis deitersi* e *Bosmina freyi* também ocorreram, mas além desses representantes, houve a

presença das espécies *Daphnia ambigua* e *Moinadaphnia macleayi*, que não foram registradas na represa Bortolan. No ponto A1 amostras coletadas nos meses de outubro de 2008, janeiro e abril de 2009 apresentaram ocorrência do predador *Chaoborus* sp., fato que esteve relacionado com a ausência das espécies *Moina minuta* e *Daphnia ambigua*. A presença da *Daphnia ambigua* no ponto A1 em julho de 2009 foi registrada na ausência do predador *Chaoborus* sp. nesse mesmo período concordando com as observações de Rejas et al. (2005).

Além da predação, a competição também é um dos fatores bióticos importantes que afetam à estrutura da comunidade zooplancônica nos corpos de água. No presente estudo a presença em maior número dos pequenos cladóceros como *Bosmina freyi*, *Bosminopsis deitersi* e *Moina minuta* não interferiu na redução das populações de rotíferos. García et al. (2002) em seu estudo verificaram que a presença dos gêneros *Bosmina* e *Ceriodaphnia*, também não reduziram as populações de rotíferos, indicando que os pequenos cladóceros não representam o mesmo efeito de interferência na competição com os rotíferos, tal como é verificado para os grandes cladóceros dos gêneros *Daphnia* e *Diaphanosoma*.

No presente estudo Rotifera também foi o grupo mais representativo em abundância em amostras das represas das Antas e Bortolan. Apesar de Rotifera contribuir com os maiores valores de abundância devido ao seu alto potencial biótico, já que são organismos oportunistas, os Cladocera e Copepoda, embora numericamente menos abundantes na grande maioria dos estudos com a comunidade zooplancônica, apresentam alta proporção em biomassa, contribuindo assim com os maiores valores da biomassa para zooplâncton. Em um estudo realizado no reservatório do Lobo (Broa) os rotíferos representaram numericamente 65,5% do zooplâncton total, mas em termos de biomassa eles somaram com apenas 5% dos valores da biomassa total (MATSUMURA-TUNDISI; RIETZLER; TUNDISI, 1989).

De acordo Hart (2004) as populações de cladóceros podem ser afetadas por diferentes fatores abióticos sendo a temperatura da água, um dos principais fatores que influenciam esses organismos. A eficiência da alimentação pelo zooplâncton depende amplamente da temperatura da água, a qual tende a ser maior no verão. No presente estudo, em todos os pontos de amostragem das represas das Antas e Bortolan houve registro de maiores densidades de cladóceros em janeiro de 2009, quando a temperatura da água foi maior.



Por outro lado, algumas espécies como *Daphnia ambigua* (Cladocera) se estabelecem melhor em águas mais frias. Segundo Mallin e Partin (1989) essa espécie apresentou picos de fecundidade em águas com temperatura a 25 °C, que foram fortemente diminuídos em temperaturas superiores a 30 °C, associando a maior fecundidade dessa espécie a temperaturas mais baixas. No presente estudo *Daphnia ambigua* esteve relacionada a águas mais frias (16,1 °C - 17,7 °C), uma vez que essa espécie ocorreu somente em amostras de julho de 2009, na represa das Antas. As maiores densidades da espécie *Daphnia ambigua* nos pontos A3 (134,4 ind/m<sup>3</sup>) e A4 (73,1 ind/m<sup>3</sup>) localizados na represa das Antas, estiveram relacionadas também aos maiores valores de transparência da coluna d'água registrados no mês de julho de 2009, fato que reflete a capacidade dessa espécie em tolerar ambientes menos turbidos facilitando suas taxas de filtração (LAMPERT, 1987).

De acordo com Pejler (1983) citado por Sampaio (2002) em ambientes oligotróficos ocorre à dominância de Copepoda Calanoida e grandes Cladocera filtradores como representantes do zooplâncton; por outro lado, em ambientes mais eutróficos a presença de pequenos consumidores como os Rotifera, pequenos Cladocera e o Copepoda Cyclopoida ocorrem, concordando com os resultados obtidos para a represa Bortolan.

Em relação aos índices de diversidade cabe considerar que estes atuam como ferramentas fundamentais, uma vez que auxiliam no monitoramento das comunidades aquáticas. O índice de Shannon-Wiener utilizado na comparação da diversidade entre a UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan, apresentou maior valor médio nos pontos A4 (1,6) e B2 (1,91) ambos localizados na região limnética das represas das Antas e Bortolan, respectivamente, contra valor médio igual a 0,1 no ponto CM (UTM/INB). Os valores registrados para os três ambientes estudados foram considerados baixos, quando comparado com outros corpos aquáticos, tal como em um estudo realizado por García et al. (2002), no reservatório Valle do Bravo (México) onde esses autores registraram valores de diversidade que variaram de 2,17 a 2,60. Nogueira (2001) registrou valor máximo de 3,25 e mínimo de 1,73 de diversidade (H'), no reservatório de Jurumirim-SP.

De acordo com Margalef (1983) os valores para o índice de Shannon-Wiener variam entre 1,5 a 3,5 raras vezes ultrapassando 4,5. No presente estudo os maiores valores médios registrados nas represas das Antas (ponto A4) e Bortolan (ponto B2),

mesmo considerados menores na comparação com outros corpos aquáticos, estiveram dentro da faixa de valores usualmente registrada na literatura, com exceção da UTM/INB.

Os ambientes UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan apresentaram diferenças significativas em relação às variáveis físicas, químicas e a comunidade zooplanctônica, confirmadas pelas análises de componentes principais (PCA) e de correspondência canônica (CCA).

A UTM/INB foi caracterizada como um ambiente singular, uma vez que as condições químicas da água mostraram-se não favoráveis ao desenvolvimento das espécies zooplanctônicas. Esse fato foi devido principalmente a alguns fatores abióticos tais como: elevada condutividade elétrica, alta dureza em associação com elevadas concentrações de fluoreto, sulfato, zinco, alumínio, urânio, tório, ferro, manganês durante todo período de estudo, de acordo com os resultados obtidos pela análise estatística.

A represa das Antas foi considerada um ambiente com condições ambientais intermediárias entre a UTM/INB e a represa Bortolan. Nesse corpo aquático, as “piores” condições químicas da água em outubro de 2008 e julho de 2009, estiveram relacionadas ao impacto da mineradora UTM/INB, que provavelmente liberou o efluente tratado em condições inadequadas. Na represa das Antas a menor diversidade de espécies foi explicada também pelas menores concentrações de clorofila *a*, de nutrientes, com exceção do nitrogênio total verificado nos resultados das análises estatísticas.

Na represa Bortolan as maiores concentrações de nutrientes e clorofila *a* associadas a baixos valores de condutividade elétrica, dureza, sulfato, fluoreto explicaram a maior densidade e portanto, a maior diversidade de espécies zooplanctônicas nesse ambiente, quando comparado a UTM/INB e a represa das Antas.

De uma maneira geral, verificou-se que a represa das Antas recebe maior influência da mineradora UTM/INB, sendo impactada por compostos de origem inorgânica. Já a represa Bortolan por estar sob influência da malha urbana da cidade de Poços de Caldas sofre maior influência de efluentes de origem orgânica, como evidenciado nas análises estatísticas.

## 7 CONCLUSÕES

✓ Ocorreram diferenças significativas em relação às condições físicas e químicas da coluna d'água e a comunidade zooplanctônica na comparação entre amostras da UTM/INB, represa das Antas e represa Bortolan.

✓ A represa das Antas foi considerada um ambiente com condições ambientais intermediárias entre a UTM/INB e a represa Bortolan. Nesse corpo aquático, as condições químicas da água em outubro de 2008 e julho de 2009, estiveram relacionadas ao impacto da mineradora UTM/INB, que provavelmente liberou o efluente tratado em condições inadequadas.

✓ Em relação a composição do zooplâncton na UTM/INB e represa das Antas os cladóceros juntamente com os rotíferos foram igualmente representativos, seguido dos copépodos que foram registrados somente na represa das Antas. Na represa Bortolan, houve predomínio do microzooplâncton representados pelos rotíferos, náuplios e copepoditos.

✓ Na represa Bortolan as maiores concentrações de nutrientes e clorofila *a* associadas a baixos valores de condutividade elétrica, dureza, sulfato, fluoreto explicaram a maior densidade e portanto, a maior diversidade de espécies zooplanctônicas nesse ambiente, quando comparado a UTM/INB e a represa das Antas.

✓ Neste estudo a ocorrência de *Keratella americana*, *Bosminopsis deitersi*, *Bosmina* sp., além da presença da ordem Bdelloidea em amostras da UTM/INB, indicou maior resistência desses organismos às condições ambientais extremas desse ambiente.

✓ De uma maneira geral, verificou-se que a represa das Antas recebe maior influência da mineradora UTM/INB, sendo impactada por compostos de origem inorgânica. Já a represa Bortolan por estar sob influência da malha urbana da cidade de Poços de Caldas, sofre maior impacto de compostos de origem orgânica

✓ Verificou-se que o efluente radioativo tratado, liberado pela UTM/INB na represa das Antas, provavelmente influenciou a composição dos grupos zooplanctônicos: Rotifera passou a predominar em termos de abundância relativa, densidade e riqueza de

espécies em amostras do A2, ou apresentou dominância compartilhada com o grupo Cladocera em amostras coletadas a jusante do ponto A2.

## REFERÊNCIAS\*

AKINBUWA, O.; ADENIYI, I. F. The Rotifera fauna of Opa Reservoir, Ile-Ife, Nigeria. **Journal of African Zoology**, v. 105, p. 383-391, 1991.

ALMEIDA, V. L. S.; LARRAZÁBAL, M. E. L.; MOURA, A. N.; MELO, M. JR. Rotifera das zonas limnética e litorânea do reservatório de Tapacurá, Pernambuco, Brasil. **Iheringia Série Zoologia**, v. 94, n. 4, p. 445-451, 2006.

ALVAREZ, A. G.; FIGUEROA, D. M.; ATONDO, A. I. V.; GARCÍA, J. L. V.; HERNÁNDEZ, J. R.; TAPIA, J. A. Estimation of potential pollution from mine tailings in the San Pedro River (1993-2005), Mexico-US border. **Environmental Geology**, v. 57, p. 1469-1479, 2009.

ANTUNES, S. C.; PEREIRA, R.; GONÇALVES, F. Evaluation of the Potential Toxicity (acute and chronic) of Sediments from Abandoned Uranium Mine Ponds. **Journal Soils Sediments**, v. 7, n. 6, p. 368-376, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTHY ASSOCIATION (APHA). **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. Washington: American Water Works association and Water Association Federation, 1992.

ARNDT, H. Rotifers as predators on components of the microbial web bactéria, heterotrophic flagellates, ciliates-a review. **Hydrobiologia**, v. 255/256. p. 231-246, 1993.

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS. **Analytical Methods (Spectroscopy; Chromatography; Computerized Systems)**. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1980. Part 42. 646 p.

AZEVEDO, H.; COSTA, W. C.; OLIVEIRA, M. J. D.; NASCIMENTO, M. R. L.; MOURÃO, G. B.; SELEGHIM, M. H. R.; WISNIEWSKI, M. J. S.; ALBERTI, H. C.; BRUSCHI, A. L.; CAMPOS, M. B.; FERRARI, C. R.; ROQUE, C. V.; RODGHER, S. RONQUI, L. B. (Colaboradores). **Diagnóstico ambiental da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas – MG visando o gerenciamento integrado, o uso racional e sustentável dos recursos hídricos**. Poços de Caldas: FAPEMIG, 2010. 315 p. Relatório final FAPEMIG, processo APQ7807-5.04/07.

---

\*ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BABOROWSKI, M.; BOZAU, E. Impacto of former mining activities on the uranium distribution in the River Saale (Germany). **Applied Geochemistry**, v. 21, p. 1073-1082, 2006.

BARBOSA, F. A. R.; PADISAK, J.; ESPINDOLA, E. L. G.; BORICS, G.; ROCHA, O. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the river Tiête-basin, São Paulo State, Brazil. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. **Theoretical reservoir ecology and its applications**. São Carlos: Rio de Janeiro International Institute of ecology, Brazilian Academy of Sciences, 1999. p. 425-437.

BARBOSA, R. M.; POVINELLI, J.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E. L. G. A toxicidade de efluentes (lodo) de estações de tratamento de água a dafínídeos (*Daphnia similes*), Quironomídeos (*Chironomus xantus*) e Peixes (*Hyphessobrycon egues*). In: ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. (Ed.). **Ecotoxicologia: perspectivas para o século XXI**. São Carlos: Rima, 2000. p. 379-394.

BARNES, R. S. K.; CALOW, P.; OLIVE, P. J. W. **Os Invertebrados: uma nova síntese**. São Paulo: Atheneu, 1995. 526 p.

BELYAEVA, M.; DENEKE, R. Colonization of acidic mining lakes: *Cydorus sphaericus* and other Cladocera within a dynamic horizontal pH gradient (pH 3-7) in Lake Senftenberger See (Germany). **Hydrobiologia**, v. 594, p. 97-108, 2007.

BERNER, D. B. Morphological differentiation among species in the *Ceriodaphnia cornuta* complex (Crustacea-Cladocera). **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 22, p. 3099-3103, 1985.

BEZERRA-NETO, J. F.; DEL-ÁGUILA, L. M. R.; LANDA, G. G.; PINTO-COELHO, R. M. The exotic rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera Brachionidae) in the zooplankton community in a tropical reservoir. Short Communication-**Revista Lundiana**, v. 5, n. 2, p. 151-153, 2004.

BOËCHAT, I. G.; GIANI, A. Seasonality affects diel cycles of seston biochemical composition in a tropical reservoir. **Journal of Plankton Research**, v. 30, n. 12, p. 1417-1430, 2008.

BONECKER, C. C; LANSAC-TÔHA, F. A. Community structure of rotifers in two environments of the upper River Paraná Floodplain (MS)-Brazil. **Hydrobiologia**, v. 325, p. 137-150, 1996.

BONECKER, C. C.; LANSAC-TÔHA, F. A.; ROSSA, D. C. Planktonic and non-planktonic rotifers in two environments of the Upper Paraná River Floodplain, State of Mato Grosso Sul, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 41, p. 447-456, 1998.

BONECKER, C. C.; LANSAC-TÔHA, F. A.; VELHO, L. F. M.; ROSSA, D. C. The temporal distribution pattern of copepods in Corumbá Reservoir, State of Goiás, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 453/454, p. 375-384, 2001.

BONECKER, C. C.; NAGAE, M. Y.; BETLLER, M. C. M.; VELHO, L. F. M.; LANSAC-TÔHA, F. A. Zooplankton biomass in tropical reservoirs in southern Brazil. **Hydrobiologia**, v. 579, p. 115-123, 2007.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Limites derivados para os pontos de lançamento de efluentes líquidos do Complexo Industrial de Poços de Caldas da Unidade de Tratamento de Minérios das Indústrias Nucleares do Brasil (UTM-INB)**. Rio de Janeiro, 1997. Ofício no 050/SLC, de 27 de junho de 1997.

BRASIL. Resolução No 357, de 17 de Março de 2005. Resolução do CONAMA para a classificação de águas de acordo com sua composição e os teores máximos de substâncias potencialmente prejudiciais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005. p. 5-6.

BRANCO, C. W. C.; ROCHA, M. I. A.; PINTO, G. F. S.; GÔMARA, G. A.; FILIPPO, R. D. Limnological features of Funil Reservoir (R.J., Brazil) and indicators properties of rotifers and cladocerans of the zooplankton community. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, v. 7, p. 87-92, 2002.

BREZONIK, P. L.; POLLMAN, C. D. Phosphorus chemistry and cycling in Florida Lakes: global issues and local perspectives. In: REDDY, K. R.; O'CONNOR, G. A.; SCHELSKE, C. L. (Ed.). **Phosphorus Biochemistry in subtropical ecosystems**. Florida: Lewis Publishers, Boca Raton, 1999. p. 69-110.

BROKS, J. L.; DODSON, S. I. Predation, body size, and composition of plankton. **Science**, v. 150, p. 28-35, 1965.

CARPENTER, S. R. **Complex interections in lake communities**. New York: Springer-Verlag, 1988. 283 p.

CASTRO, B. B.; ANTUNES, S. C.; PEREIRA, R.; SOARES, A. M. V. M.; GONÇALVES, F. Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and explanatory factors. **Hydrobiologia**, v. 543, p. 221-232, 2005.

CAMPOS, M. B. **Ocorrência e Flutuação de Acidithiobacillus spp. Em Efluentes de Mina de Urânio, Caldas – MG.** 2006. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Centro Universitário Fundação de Ensino Octávio Bastos, São João da Boa Vista, São Paulo, 2006.

CAMPOS, M. B.; AZEVEDO, H. de.; NASCIMENTO, M. R. L.; ROQUE, C. V.; RODGER, S. Environmental assessment of water from a uranium mine (Caldas, Minas Gerais State, Brazil) in a decommissioning operation. **Environmental Earth Science**. DOI 10.1007/s12665-010-0572-9, 2010.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, p. 361-380, 1977.

CIPRIANI, M. **Mitigação dos impactos sociais e ambientais decorrentes do fechamento definitivo de minas de urânio.** 2002. 332 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrológicas do Planalto de Poços de Caldas – MG.** 1970. 215 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Rio Claro, 1970.

DEL-ÁGUILA, L. M. R. **Gradiente trófico no rio Sapucaí (Reservatório de Furnas-MG): relação com a distribuição do zooplâncton e os usos do solo.** 2001. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

DELGADO, P. S. **Variação sazonal e espacial da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Furnas, município de Guapé (MG).** 1999. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL/ CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (COPAM/CERH-M.G). **Deliberação normativa conjunta COPAM/CERH-MG nº 1 de 05 de maio de 2008.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (Publicação – Diário do Executivo - Minas Gerais), 2008.



DE-MELO, R.; HEBERT, P. D. N. A taxonomic reevaluation of North American Bosminidae. **Canadian Journal of Zoology**, v. 72, p. 1808-1825, 1994.

DENEKE, R. Review of rotifers and crustacean in highly acidic environments of pH values  $\leq 3$ . **Hydrobiologia**, v. 433, p. 167-172, 2000.

DONNER, J. **Rotifers**. London: Frederick Warner Co Ltd, 1986. 80 p.

DUMONT, H. J. Biogeography of rotifers. **Hydrobiologia**, v. 104, p. 19-30, 1983.

EDMONDSON, W. T. **Freshwater Biology**. 2. ed. New York: Editora: Wiley, 1959. 1248 p.

ELBAZ-POULICHET, F.; MORLE, N. H.; CRUZADO, A.; VELASQUEZ, Z. A.; ACHTERBERG, E. P.; BRAUNGARDT, C. B. Trace metal and nutrient distribution in an extremely low pH (2.5) river-estuarine system, the Rio of Huelva (South-West Spain). **Science Total Environmental**, v. 227, p. 73-83, 1999.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 1998.

ELMOOR-LOUREIRO, L. M. A. **Manual de identificação de Cladóceros límnicos do Brasil**. Brasília: Universa, 1997. 156 p.

FERRAGUT, C.; BICUDO, D. C. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 3, p. 571-585, 2009.

FUKUMA, H. T.; DE NADAI FERNANDES, E. A.; NASCIMENTO, M. P.; QUINELATO, A. L. Separation and spectrophotometric determination of thorium contained in uranium concentrates. **Journal of Radioanal and Nuclear Chemistry**, v. 248, p. 549-533, 2001.

FUSSMANN, G. The importance of crustacean zooplankton in structuring rotifer and phytoplankton communities: an enclosure study. **Journal of Plankton Research**, v. 18, p. 1897-1915, 1996.

GARCIA JR., O. **Estudos da Biolixiviação de Minérios de Urânio por *Thiobacillus ferrooxidans***. 1989. 261 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1989.

GARCÍA, P. R.; NANDINI, S.; SARMA, S. S. S.; VALDERRAMA, E. R.; CUESTA, I.; HURTADO, M. D. Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (Mexico). **Hydrobiologia**, v. 467, p. 99-108, 2002.

GANNON, J. E.; STEMBERGER, R. S. Zooplankton (Especially Crustaceans and Rotifers as Indicators of Water Quality). **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 97, n. 1, p. 16-35, 1978.

GOLDMAN, R. G.; HORNE, A. J. **Limnology**. London: McGraw-Hill International Book Company, 1983. 464 p.

GOLTERMAN, H. N.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 213 p.

GONZÁLEZ, E. J.; ORTAZ, M.; MATOS, M L.; MENDOZA, J.; PEÑAHERRERA, C.; CARRILLO, V. M. Zooplankton de dos Embalses Neotropicales con Distintos Estados Tróficos. **Interciência**, v. 27, n. 10, p. 551-558, 2002.

HART, R. C. Cladoceran periodicity patterns in relation to selected environmental factors in two cascading warm-waters reservoirs over a decade. **Hydrobiologia**, v. 526, p. 99-117, 2004.

HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: Funbio, 2007. Cap. 1. 800 p.

HUTCHINSON, G. E. **A treatise on Limnology. vol. II, Introduction to Lake biology and the limnoplankton**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1967. 1115 p.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL (INB). **Relatório Indústrias Nucleares do Brasil (INB) – Complexo Industrial do Planalto de Poços de Caldas – CIPC para solicitador Licença de Operação junto ao IBAMA**. Poços de Caldas: Diretoria de Recursos Minerais DRM da INB, 1999. 110 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 4. ed. 2008. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites>>. Acesso em: 01 jun. 2010.

INFANTE, A. Los rotíferos del lago Valencia. **Acta Científica Venezolana**, v. 31, p. 30-47, 1980.

INFANTE, A.; RIEHL, W. The effect of cyanophyta upon zooplankton in a eutrophic Lake (Lake Valencia, Venezuela). **Hydrobiologia**, v. 113, p. 293-298, 1984.

JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. M. Invertebrados de Água Doce. In: ISMAEL, D.; VALENTI, W. C.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. (Ed.). **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX**. São Paulo: FAPESP, 1999. Cap. 4. p. 176.

KALIN, M.; CAO, Y.; SMITH, M.; OLAVESON, M. M. Development of the phytoplankton community in a pit-lake in relation to water quality changes. **Water Research**, v. 35, n. 13, p. 3215-3225, 2001.

KOSTE, W. **Hydrobiologia: Rotatoria die radertiere mitteleuropas, Übeordnung Monogononta**. Berlin: Gebriider Bornträger, 1978.

KOSTE, W.; SHIEL, R. J. Rotifera from Australian waters III. Euchlanidae, Mytilinidae and Trichotridae (Rotifera: Monogononta). **Transactions of the Royal Society of South Australia**, v. 113, p. 85-114, 1989.

KORINEK, V. *Diaphanosoma birgei* n.sp (Crustacea, Cladocera). A new species from America and its distributed subspecies *Diaphanosoma birgei, lacustris* n.sp. **Canadian Journal of Zoology**, v. 59, p. 1115-1121, 1981.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). Methods of sea water analysis. **Verlag Chemie Weinheim**, p. 117-181, 1976.

KOROVCHINSKY, N. M. **Sididae and Holopedidae 3**. Guides to the Identification of Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. 1992. 82 p.

KOTOV, A. A.; ISHIDA, S.; TAYLOR, D.J. Revision of the genus *Bosmina* Baird, 1845 (Cladocera: Bosminidae), based on evidence from male morphological characters and molecular phylogenies. **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 156, p. 1-51, 2009.

LAGE-FILHO, A. L. **Características ecológicas e limnológicas da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, no período de menores precipitações (Poços de Caldas – MG)**. 1996. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

LANDA, G. G.; DEL-AGUILA, L. M. E; PINTO-COELHO, R. M. Distribuição espacial e temporal de *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera) em um grande reservatório tropical (reservatório de Furnas), Estado de Minas Gerais, Brasil. **Maringá**, v. 24, n. 2, p. 313 -319, 2002.

LAMPERT, W. Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. **Marine and Freshwater Research**, v. 21, p. 483-490, 1987.

LEWIS JR, W. M. Dynamics and succession of the phytoplankton in a tropical lake: Lake Lanao Philippines. **Journal of Ecology**, v. 66, p. 849-880, 1978.

LESSMANN, D.; DENEKE, R.; ENDER, R.; HEMM, M.; KAPFER, M.; KRUMBECK, H.; WOLLMANN, K. NIXDORF, B. Lake Plessa 107 (Lusatia, Germany)-an extremely acidic shallow mining lake. **Hydrobiologia**, v. 408/409, p. 293-299, 1999.

LYEW, D.; SHEPPARD, J. Use of conductivity to monitor the treatment of acid mine drainage by sulphate-reducing Bacteria. **Water Research**, v. 35, n. 8, p. 2081-2086, 2001.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonica de los sistemas de desembocaduras de rios e esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 22, n. 1, p.1-29, 1986.

LOPES, R. M.; LANSAC-TÔHA, F. A. Comunidade zooplanctônica do reservatório de Segredo. In: AGOSTINHO, A. A.; GOMES, I. C. (Ed.). **Reservatório de Segredo: Bases Ecológicas para o Manejo, Maringá**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 1997. p. 39-60.

LORENZEN C. J. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, v. 12, p. 343-346, 1967.

LUCINDA, I.; MORENO, I. H.; MELÃO, M. G. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Rotifers in freshwater habitats in the upper Tiête River Basin, São Paulo State, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 16, n. 3, p. 203-224 2004.

MACCARTHY, J. J. The physiological ecology of phytoplankton. Studies in Ecology 7, Blackwell Scientific Publications. In: MORRIS, I. (ed). **Nitrogen**. Oxford, 1980, p. 191-233.

MACLSSAC, H. J.; GILBERT, J. J. Discrimination between exploitative and interference competition between Cladocera and *Keratella cochlearis*. **Ecology**, v. 72, p. 924-937, 1991.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TAILING, J. F. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. Kendal: Titus Wilson & Sons. Ltda, 1978. 117 p. (Freshwater. Biol. Assoc. Scientific Publication, n. 36)

MALLIN, M. A.; PARTIN, W. E. Thermal tolerance of common cladocera. **Journal freshwater Ecology**, v. 5, p. 45-51, 1989.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1983. 1010 p.

MARIANI, C. F.; MOSCHINI-CARLOS, V.; BRANDIMARTE, A. L.; NISHIMURA, P. Y.; TÓFOLI, C. F.; DURAN, D. S.; LOURENÇO, E. M.; BRAIDOTTI, J. C.; ALMEIDA, L. P.; FIDALGO, V. H.; POMPEO, M. L. M. Biota and water quality in the Riacho Grande reservoir, Billings Complex (São Paulo, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 18, n. 3, p. 267-280, 2006.

MARKER, A. F. H.; NUSCH, E. A.; RAI, H.; RIEMANN, B. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: 113 conclusions and recommendations. **Archive Hydrobiological Beih Ergebn Limnologie**, v. 14, p. 91-106, 1980.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. Plankton studies in a lacustrine environment. I. Preliminary data on zooplankton ecology of Broa Reservoir. **Oecologia**, v. 25, p. 265-270, 1976.

MATSUMURA-TUNDISI, T. Latitudinal distribution of Calanoida Copepods in freshwater aquatic systems of Brazil, **Revista Brasileira de Biologia**, v. 43, n. 3, p. 527-553, 1986.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; RIETZLER, A. C.; TUNDISI, J. G. Biomass (dry weight and carbon content) of plankton crustacea from Broa Reservoir (São Carlos, SP-Brasil) and its fluctuation across one year. **Hydrobiologia**, v. 179, p. 229-236, 1989.

MATSUMURA-TUNDISI, T. LEITÃO, S. N.; AGUENA, L. S.; MIYAHARA, J. Eutrofização da represa de Barra Bonita: Estrutura e organização da comunidade de Rotifera. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, p. 923-935, 1990.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. Calanoida (Copepoda) species composition changes in the reservoirs of São Paulo State (Brazil) in the last twenty years. **Hydrobiologia**, v. 504, p. 215-222, 2003.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. Plankton in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brazil). **Hydrobiologia**, v. 542, p. 367-378, 2005.

MATVEEV, V.; MARTINEZ, C. C.; FRUTOS, S. M.; ZALOCAR de DOMITROVIC, Y. Population control in planktonic crustaceans of a subtropical lake during seasonal succession. **Archiv Für Hydrobiologie**, v. 124, n. 1, p. 1-18, 1992.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, p. 68, 2010.

MELÃO, M. G. G. **A comunidade planctônica (fitoplâncton e zooplâncton) e produtividade secundária do zooplâncton de um reservatório oligotrófico**. 1997. 258 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.

NASCIMENTO, M. R. L.; FUKUMA, H. T.; HORTELLANI, M. A. **Projeto Itataia – Controle de processo na produção de ácidos fosfórico e urânio**. Poços de Caldas: INB, 1988. 143 p. (Manual de Métodos e Análises Químicas).

NASCIMENTO, M. R. L. **Proposição de Valores de Referência para Concentração de Metais e Metalóides em Sedimentos Limnóticos e Fluviais na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, SP**. 2003. 111 f. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

NIXDORF, B.; WOLLMANN, K.; DENEKE, R. Ecological Potentials for Planktonic development and food web interactions in extremely acidic mining lakes in Lusatian (Eastern Germany). In: GELLER, W.; KLAPPER, H.; SALOMONS, W. (Ed.). **Acidic Mining Lakes**. 1998. p. 147-167.

NÓBREGA, F. A. **Análise de múltiplas variáveis no fechamento de mina-Estudo de caso da pilha de estéril BF-4, Mina Osamu Utsumi, INB Caldas, Minas Gerais**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2007.

NÓBREGA, F. A.; LIMA, H. M.; LEITE, A. L. Análise de múltiplas variáveis no fechamento da mina-Estudo de caso da pilha de estéril BF-4, Mina Osamu Utsumi, INB Caldas, Minas Gerais. **Revista Escola de Minas, Ouro Preto**, v. 61, n. 2, p. 197-202, 2008.

NOGUEIRA, M. G. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 45, p. 1-18, 2001.

NOGRADY, T., WALLACE, R. L.; SNELL, T. W. Rotifera: biology, ecology and systematics. In: DUMONT, H. J. F. (Coord). **Guides to the identification of microinvertebrates of the continental waters of the world**. Netherlands: SPB Academic Publishing, 1993. v. 3. 248 p.

ODUM, E. **Princípios de ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434 p.

ORLOVA-BIENKOWSKAJA, M. **Cladocera: Anomopoda: Daphniidae: genus *Simocephalus***. **Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World** n. 17, 2001. 129 p.

PACKROFF, G. Protozooplankton in the acidic mining lakes with special respect to ciliates. **Hydrobiologia**, v. 433, p. 157-166, 2000.

PAGGI, J. C.; PAGGI, S. J. Zooplankton de ambientes lóticos e lênticos do Rio Paranoá, Brasília-DF, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 3, p. 685-719, 1990.

PEDROZO, F.; KELLY, L.; DIAZ, M.; TEMPORETTI, P.; BAFFICO, G.; KRINGEL, R.; FRIESE, K.; MAGES, M.; GELLER, W.; WOELFL, S. First results on the water chemistry, algae and trophic status of an Andean acidic lake system of volcanic origin in Patagonia (Lake Caviahue). **Hydrobiologia**, v. 452, p. 129-137, 2001.

PEJLER, B. Zooplankton indicators of trophy and their food. **Hydrobiologia**, v. 101, p. 111-114, 1983.

POSTON, T. M.; HANF JR., R. W.; SIMMONS, M. A. Toxicity of uranium to *Daphnia magna*. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 22, p. 289-298, 1984.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3. ed. São Paulo: Editora Escrituras, 2006. 748 p.

RELATÓRIO PROJETO ARCAL RLA01/10. **Qualidade das Águas do Ribeirão das Antas**. 2009. 27 p.

REID, J. W. Chave de identificação para as espécies continentais sulamericanas de vida livre da Ordem Cyclopoida (Custacea, Copepoda). **Bol. Zool.**, São Paulo, p. 17-43, 1985.

REID, J. W.; PINTO-COELHO, R. M. Planktonic copepod of Furnas Reservoir: initial survey of species (1993) and review of literature. 93-114p. In: PINTO-COELHO, R. M.; GIANI, A.; SPERLING, E. (Ed.). **Ecology and Human Impacts on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies**. Belo Horizonte: SEGRAC, 1994. p. 193.

REJAS, D.; DECLERCK, S.; AUWERKERKEN, J.; TAK, P.; DE MEESTER, L. Plankton dynamics in a tropical floodplain lake: fish, nutrients, and the relative importance of bottom-up and top-down control. **Freshwater Biology**, v. 50, p. 52-69, 2005.

REPKA, S. Effects of food type on the life history of *Daphnia* clones from lakes differing in trophic state. I. *Daphnia galeata* feeding on *Scenedesmus* and *Oscillatoria*. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 675-683, 1997.

RIETZLER, A. C.; FONSECA, A. L.; LOPES, G. P. Heavy metals in tributaries of Pampulha Reservoir, Minas Gerais. **Brazilian Journal Biology**, v. 61, n. 3, p. 363-370, 2001.

ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Atlas de zooplâncton Reservatório do Broa, São Carlos**. São Carlos: UFSCar, 1976. 68 p.

ROCHA, O.; SENDACZ, S.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Composition, biomass and productivity of zooplankton in natural lakes and reservoirs of Brasil. In: TUNDISI, J. G.; BICCUDO, C. E. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Ed.). **Limnology in Brasil**. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995. p. 151-166.

RONQUI, L. B. **Caracterização Limnológica e Avaliação de Efeitos Ambientais causados por efluentes de mina de urânio sobre populações microbianas planctônicas da Represa das Antas, Caldas (MG)**. 2008. 136 f. Dissertação



(Mestrado) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RÜCKERT, G. V.; GIANI, A. Biological interactions in the plankton community of a tropical eutrophic reservoir: is the phytoplankton controlled by zooplankton?. **Journal of Plankton Research**, v. 30, n. 10, p. 1157-1168, 2008.

RÜTTNER-KOLISKO, A. **Plankton rotifer**: biology and taxonomy. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche verlagsbuchhandlung, 1974.

RUTTNER, F. **Fundamentals of limnology**. Toronto: University Toronto, 1975. 307 p.

RUPPERT, E. E.; BONECKER, R. D. **Zoologia dos Invertebrados**. 6. ed. São Paulo: Roca, 1996.

SAMPAIO, E. V.; ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. Composition and abundance of Zooplankton in the limnetic zone of seven reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n. 3, 2002.

SANTOS, S. C. D. **Alguns aspectos do ciclo do fósforo e eutrofização na represa de Barra Bonita, SP**. 1996. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. **Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplanctônica do reservatório de Barra Bonita- SP**. 1998. 140 f. Tese (Doutorado) - Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998.

SANTOS-WISNIEWSKI, M. J.; ROCHA, O.; GÜNTZEL, A. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Cladocera Chydoridae of high altitude water of bodies (Serra da Mantiqueira), in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n. 4A, p. 681-687, 2002.

SEGERS, H.; MURUGAN, G.; DUMONT, H. J. On the taxonomy of the Brachionidae: description of *Plationus* n.gen. (Rotifera, Monogononta). **Hydrobiologia**, v. 268, p. 1-8, 1993.

SEGERS, H. Rotifera: the Lecanidae (Monogononta). In: \_\_\_\_\_. **Guides to the identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World**. The Netherlands: SBP Academics The Hague, 1995.

SHEPPARD, S. C.; SHEPPARD, M. I.; GALLERAND, M. O.; SANIPELLI, B. Derivation of ecotoxicity thresholds for uranium. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 79, p. 55-83, 2005.

SHIEL, R. J.; KOSTE, W. Rotifera from Australian inland waters. VIII. Trichocercidae (Monogononta). **Transactions of the Royal Society of South Australia**, v. 116, n. 1, p. 1-27, 1992.

SHIEL, R. J.; KOSTE, W. Rotifera from Australian inland waters. IX. Gastropodidae, Synchaetidae, Asplanchinidae (Rotifera Monogononta). **Transactions of the Royal Society of South Australia**, v. 117, n. 3, p. 111-139, 1993.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MORENO, S. Q. Variação dos parâmetros limnológicos em um viveiro de piscicultura nos períodos de seca e chuva. **Rev. UNIMAR**, v. 16, n. 4, p. 229-242, 1994.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; ROCHA, O. **Produção de plâncton (Fitoplâncton e Zooplâncton) para alimentação de organismos aquáticos**. São Carlos: RiMa, 2001. 106 p.

SMIRNOV, N. N. **Crustacea: Chydoridae**. Israel Program for Scientific Translation. Jerusalém, 1974. 644 p.

SOUZA, P. V. **Drenagens ácidas do estéril piritoso da mina de urânio de Poços de Caldas: interpretação e implicações ambientais**. 1995. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

STARKWEATHER, P. L.; GILBERT, L. L.; FROST, T. M. Bacterial feeding by the rotifer *Brachionus calyciflorus*: clearance and ingestion rates, behavior and population dynamics. **Oecologia**, v. 44, p. 26-30, 1979.

STARKWEATHER, P. L. Aspects of the feeding behavior and trophic ecology of suspension-feeding rotifers. **Hydrobiologia**, v. 73, p. 63-72, 1980.

STEVENS, C. E.; LAWRENCE, G. A. Stability and meromixis in a water-filled mine pit. **Limnology and Oceanography**, v. 43, p. 946-954, 1998.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A manual of seawater analysis. **Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada**, v. 125, p. 1-18, 1960.

TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G.; KUTNER, M. B. Plankton studies in a mangrove II. The standing stock and some ecological factors. Bolmish Institute **Oceanography**, v. 24, p. 23-41, 1965.

TER BRAAK, C. J. F.; ŠMILAUER, P. **Canoco reference manual and CanoDraw for Windows user's guide**: software for canonical community ordination. New York: Ithaca Microcomputer Power, 2002.

TOLEDO JR., A. P.; TALARICO, N.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 12., Camboriu, 1983. **Anais...** Camboriu: CETESB, 1983. p. 1-34.

TUNDISI, J. G. Limnologia de represas artificiais. **Boletim de Hidráulica e Saneamento**. v. 36, p. 1489-1496, 1984.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; HENRY, R.; ROCHA, O.; HINO, K. Comparação do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: Eutrofização e manejo. In: TUNDISI, J. G. (Ed.) **Limnologia e manejo de represas**. São Paulo: Série Monografias em Limnologia/USP, 1988. v. 1. tomo 1.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: Teorias, Aplicações e Perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Ed.) **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. Botucatu: FUNDIBIO-FAPESP, 1999. 800 p.

TUNDISI, J. G. MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas doces do Brasil-Capital ecológico uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 153-194.

TUNDISI, J. G. **Água enfrentando a escassez**. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia, 2003. 246 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. **Marc. Chem.**, v. 10, p. 109-122, 1981.

VIEIRA, M. S.; FERREIRA, J. R.; CASTRO, P. M. G.; ROCHA, A. A. Aspectos da água e do sedimento do Reservatório de Ibitinga (São Paulo-Brasil-21° 45' S e 48° 50' W). **Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo**, v. 28, n. 1, p. 77-91, 2002.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1981. 679 p.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1993.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological Analyses**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1991. 391 p.

WOLLMANN, K.; DENEKE, R.; NIXDORF, B.; PACKROFF, G. Dynamics of planktonic food webs in three mining lakes across a pH gradient (pH 2-4). **Hydrobiologia**, v. 433, p. 3-14, 2000.