

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**Estrutura, Variação Espacial e Temporal  
da Comunidade Fitoplanctônica  
em três lagos do Vale do Rio Doce,  
Estado de Minas Gerais**

**GLÓRIA MASSAE TANIGUCHI**

**São Carlos – SP**  
**2002**

**Estrutura, Variação Espacial e Temporal  
da Comunidade Fitoplanctônica  
em três lagos do Vale do Rio Doce,  
Estado de Minas Gerais**

**GLÓRIA MASSAE TANIGUCHI**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ciências. Área de Concentração: Ecologia e Recursos Naturais

**São Carlos - SP  
2002**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

T165ev

Taniguchi, Glória Massae.

Estrutura, variação espacial e temporal da comunidade fitoplanctônica em três lagos do Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais / Glória Massae Taniguchi . -- São Carlos : UFSCar, 2003.

323 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2002.

1. Alga. 2. Lago natural. 3. Doce, Rio, Vale (MG). 4. Diversidade fitoplanctônica. 5. Brasil, Sudeste. I. Título.

CDD: 589.3 (20<sup>a</sup>)

**Orientador**

---

**PROF. DR. PEDRO AMÉRICO CABRAL SENNA**

**Co-orientadora**

---

**PROFA. TITULAR ODETE ROCHA**

"A vivência no *tatame* foi extremamente necessária ou jamais poderia compreender a dedicação ou a paixão de um praticante. Pude também sentir na pele as possibilidades imensas tanto terapêuticas como educacional de uma prática como essa. Entendi a razão de um lutador, um atleta, renunciar a tantas coisas boas da vida pela disciplina árida e férrea dos treinos, só para seguir lutando. Compreendi porque um karateca, mesmo quando está aborrecido e estafado, pega o seu *kimono* e vai à luta, para voltar se sentindo leve, equilibrado, satisfeito e tão grato pela incrível liberdade que a si mesmo propiciou: a de viver a experiência de um movimentar que o expressa com tanta verdade e amplitude ao ponto de tocar os contornos do mundo. Afinal, o *tatame* é um espaço mágico onde

podemos ensaiar com segurança o nosso papel, para melhor compreender e viver o arriscado drama da vida."

**Vera Lucia Sugai**

"O Caminho do Guerreiro"

Dedico este trabalho para estas pessoas maravilhosas, sem cuja dedicação, carinho e apoio eu não conseguiria vencer mais uma etapa dessa caminhada:

Ao Prof. Dr. **Pedro Américo Cabral Senna** (*in memoriam*) e à Profa. Titular **Odete Rocha**, pela grande orientação, amizade e credibilidade no meu trabalho e, acima de tudo, pelo exemplo de

profissionalismo e conduta ética.

A minha mãe **Noriko** e meu pai **Michio Taniguchi**, por todo o amor e incentivo que jamais me faltaram.

Ao meu marido **José Americo Bordini do Amaral**, amor-amigo-companheiro, a quem as palavras me faltam para expressar tudo o que representa em minha vida.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Pedro Américo Senna (*in memoriam*), pela orientação e pelos ensinamentos sólidos da Taxonomia. Ser humano admirável que, através da sua dedicação contínua pela pesquisa e por seus alunos ainda que atravessando tantas dificuldades, tornou-se um exemplo de vida.

À Prof. Titular Odete Rocha, pela co-orientação e ensinamentos da Limnologia e por toda a ajuda e incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo, Profa. Dra. Cristina Wyss Castelo Branco, Prof. Dr. José Eduardo dos Santos e Prof. Dr. José Roberto Verani, pelas valiosas críticas e sugestões.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, da Universidade Federal de São Carlos, por fornecer subsídios para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Eduardo dos Santos, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, pela credibilidade e pelo apoio logístico.

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, por sua valiosa contribuição na minha formação profissional.

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de doutorado, processo nº 14615/99-4.

Ao PROBIO (MMA-CNPq, convênio nº 0210.000/98) e PRONEX (FINEP-CNPq, convênio nº 41.96.0861.00) pelos financiamentos do projeto no Vale do Rio Doce.

Ao Fundo Bunka e Banco Sumitomo pelo auxílio financeiro concedido.

Ao Dr. Jiri Komárek, da University of South Bohemia - República Tcheca, pela confirmação da identificação das cianofíceas e clorococales.

À Profa. Dra. Mariângela Menezes, do Museu Nacional do Rio de Janeiro, pelo auxílio na identificação dos fitoflagelados.

À Profa. Dra. Maria das Graças Machado de Souza, da Universidade de Brasília, pelo auxílio na identificação das diatomáceas.

Aos técnicos MSc. José Valdecir de Lucca e Airton Santos Soares, do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva – DEBE, pelo grande auxílio nas amostragens de campo e análises de laboratório.

À MSc. Renata Takenaka, pela ajuda na confecção das lâminas permanentes.

Às funcionárias Daniela e Maria José do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva – DEBE, por serem sempre solícitas quando precisei.

Aos colegas e amigos do DEBE: Graça, Zeza Dellamano, Alessandra, Saionara, Naíza, Ivaneide, Zezé Wisniewski, Renata, Zezinho, Paulo, Dani, Adriana, Ana Claudia, Kátia, Magno e Zezé que tornaram os dias de trabalho mais agradáveis.

Aos amigos de todos os momentos Aninha, Bitar, Alexandre “Presidente” e Xandão.

A Maria Alice e Lori, por estarem sempre presentes e a Letícia “Lers Kobold”, por ter sido uma grande companhia especialmente nos últimos meses de moradia são-carlense.

Aos companheiros karatecas da Academia Santos, especialmente ao Sensei Mário Santos, pelo período de grande desenvolvimento pessoal e, principalmente, por despertar a procura pelo *Do*.

A Graça e Zeza pela forte amizade que nos une.

Às minhas irmãs que muito amo Marly e Sônia, por sua contínua dedicação, ainda que a distância.

Finalmente, a minha família, base sólida do meu caminhar: meu marido José Americo, meus pais Noriko e Michio, minhas irmãs Marly e Sônia, meus irmãos Reginaldo e Reynaldo, meus sobrinhos Ângelo, Guilherme e Bruno e meus sogros Delza e Americo.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

<b>CAPÍTULO INTRODUTÓRIO - .....</b>	<b>1</b>
Resumo .....	2
Introdução .....	4
Objetivos & Hipóteses de Trabalho.....	7

Área de Estudo.....	9
Materiais & Métodos.....	12
Resultados & Conclusões Gerais.....	19
Referências Bibliográficas.....	22

## **CAPÍTULO 1 – As variáveis abióticas em três lagos do Vale do Rio Doce, Minas**

<b>Gerais.....</b>	<b>27</b>
Resumo.....	28
Abstract.....	29
Introdução.....	30
Área de Estudo.....	32
Materiais & Métodos.....	33
Resultados.....	37
Discussão & Conclusões.....	120
Referências Bibliográficas.....	137

## **CAPÍTULO 2 – Estudo da comunidade fitoplanctônica do lago Aníbal, Parque Florestal Estadual do Rio Doce, Minas Gerais.....**

<b>Resumo.....</b>	<b>141</b>
Abstract.....	142
Introdução.....	143
Área de Estudo.....	145
Materiais & Métodos.....	146
Resultados.....	149
Discussão & Conclusões.....	175
Referências Bibliográficas.....	182

## **Capítulo 3 - Estudo da comunidade fitoplanctônica do lago Dom Helvécio, Parque Florestal Estadual do Rio Doce, Minas Gerais.....**

<b>Resumo.....</b>	<b>188</b>
Abstract.....	189
Introdução.....	190

Área de Estudo.....	192
Materiais & Métodos .....	193
Resultados.....	196
Discussão & Conclusões.....	229
Referências Bibliográficas.....	236

**CAPÍTULO 4 - Estudo da comunidade fitoplanctônica do lago Carvão com Azeite, Vale do Rio Doce, Minas Gerais .....240**

Resumo .....	241
Abstract.....	242
Introdução .....	243
Área de Estudo.....	245
Materiais & Métodos .....	246
Resultados.....	249
Discussão & Conclusões.....	270
Referências Bibliográficas.....	278

**Capítulo 5 – Estudo da comunidade fitoplanctônica em três lagos do Vale do Rio Doce, Minas Gerais: enfoque comparativo .....284**

Resumo .....	285
Abstract.....	286
Introdução .....	287
Área de Estudo.....	288
Materiais & Métodos .....	289
Resultados.....	292
Discussão & Conclusões.....	314
Referências Bibliográficas.....	320

## **LISTA DE FIGURAS**

### **Capítulo Introdutório**

- Figura 1 - Carta IBGE de parte da região do Vale do Rio Doce, com a localização dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. Escala = 1:50000. Fonte: CNPM-EMBRAPA. .... 10
- Figura 2 - Lago Aníbal com a localização das estações de amostragem E1 a E6. Fonte: CNPM-EMBRAPA ..... 17
- Figura 3 - Lago Dom Helvécio com a localização das estações de amostragem E1 a E11. Fonte: CNPM-EMBRAPA ..... 18

Figura 4 - Lago Carvão com Azeite com a localização das estações de amostragem E1 e E2. Fonte: CNPM-EMBRAPA..... 18

## Capítulo I

Figura 1 - Lago Aníbal com a localização das estações de amostragem E1 a E6. .... 35

Figura 2 - Lago Dom Helvécio com a localização das estações de amostragem E1 a E11..... 36

Figura 3 - Lago Carvão com Azeite com a localização das estações de amostragem E1 e E2..... 36

Figura 4 - Profundidade máxima (PM), transparência e extensão da zona eufótica (Zeu) obtidas para as estações E1 a E6 do lago Aníbal durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D)..... 38

Figura 5 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos nas estações limnéticas (E1, E3 e E5) do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D)..... 39

Figura 6 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos nas estações litorâneas (E2, E4 e E6) do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D)..... 40

Figura 7 - Perfis de oxigênio dissolvido - OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos nas estações limnéticas (E1, E3 e E5) do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). .... 41

Figura 8 - Perfis de oxigênio dissolvido - OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos nas estações litorâneas (E2, E4 e E6) do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). .... 42

Figura 9 - Perfis verticais da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e do oxigênio dissolvido - OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na coluna d'água durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal (- - - Temperatura; \_\_\_\_ OD). .... 43

Figura 10 - Perfis de condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal..... 44

Figura 11 - Perfis de pH nas estações limnéticas (E1, E3 e E5) durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) do lago Aníbal..... 47

Figura 12 - Perfis de pH nas estações litorâneas (E2, E4 e E6) durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) do lago Aníbal..... 48

Figura 13 - Distribuição espacial e temporal de nitrato - NO <sub>3</sub> (A), amônio - NH <sub>4</sub> (B) e nitrogênio total - NT (C) nas seis estações e quatro épocas de amostragem realizadas no lago Aníbal.....	49
Figura 14 - Distribuição vertical do nitrato - NO <sub>3</sub> (A), amônio - NH <sub>4</sub> (B) e nitrogênio total - NT (C) na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal....	50
Figura 15 - Variação espacial e temporal do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato - Si(OH) <sub>4</sub> (C) nas seis estações e quatro épocas de amostragem realizadas no lago Aníbal. ....	52
Figura 16 - Distribuição vertical do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato - Si(OH) <sub>4</sub> (C) na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.....	53
Figura 17 - Variação espacial e temporal da razão atômica NT/PT nas seis estações e quatro épocas de amostragem realizadas no lago Aníbal. ....	54
Figura 18 - Variação vertical da razão atômica NT/PT na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.....	54
Figura 19 - Variação espacial do material em suspensão (mg.L <sup>-1</sup> ) nas seis estações de amostragem do lago Aníbal durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). ....	56
Figura 20 - Distribuição vertical do material em suspensão (mg.L <sup>-1</sup> ) na estação E3 do lago Aníbal durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). ....	57
Figura 21 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Aníbal (Componente 1 x Componente 2). (C1: junho de 1999, C2: agosto de 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000).....	59
Figura 22 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Aníbal (Componente 1 x Componente 3). (C1: junho de 1999, C2: agosto 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000).....	60
Figura 23 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E3 do lago Aníbal - Componente 1 x Componente 2. (I: amostragem integrada; S: superfície; M: meio; F: fundo; C1: junho de 1999; C2: agosto de 1999; C3: fevereiro de 2000; C4: maio de 2000). ....	62
Figura 24 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E3 do lago Aníbal -Componente 1 x Componente 3 (I: amostragem integrada; S: superfície; M: meio; F: fundo; C1: junho de 1999; C2: agosto de 1999; C3: fevereiro de 2000; C4: maio de 2000). ....	63

Figura 25 - Profundidade máxima (PM), transparência e zona eufótica (Zeu) obtidas para as estações de amostragem E1 a E11 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio. ....	65
Figura 26 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos para as estações limnéticas E1, E3 e E5 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.....	66
Figura 27 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos para as estações limnéticas E6, E8 e E10 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.....	67
Figura 28 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos nas estações litorâneas (E2, E4, E7, E9 e E11) durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio. ....	68
Figura 29 - Perfis de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos para as estações limnéticas E1, E3 e E5 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.....	69
Figura 30 - Perfis de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos para as estações limnéticas E6, E8 e E10 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.....	70
Figura 31 - Perfis de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos para as estações litorâneas E2, E4, E7, E9 e E11 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio. ....	71
Figura 32 - Perfis verticais da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e do oxigênio dissolvido - OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na coluna d'água na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ( ___ Temperatura; ___ OD).....	72
Figura 33 - Perfis de condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	77
Figura 34 - Perfis do pH nas estações limnéticas E1, E3 e E5 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio. ....	78
Figura 35 - Perfis do pH nas estações limnéticas E6, E8 e E10 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio. ....	79
Figura 36 - Perfis do pH nas estações litorâneas E2, E4, E7, E9 e E11 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.....	80

Figura 37 - Variação espacial do nitrato - $\text{NO}_3$ (A), amônio - $\text{NH}_4$ (B) e nitrogênio total - NT (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	81
Figura 38 - Variação vertical do nitrato - $\text{NO}_3$ (A), amônio - $\text{NH}_4$ (B) e nitrogênio total - NT (C) na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.. ..	82
Figura 39 - Variação espacial do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato - $\text{Si}(\text{OH})_4$ (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	84
Figura 40 - Variação vertical do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato - $\text{Si}(\text{OH})_4$ (C) na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio . ....	85
Figura 41 -Variação espacial da razão atômica NT/PT durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	86
Figura 42 - Variação vertical da razão atômica NT/PT na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	86
Figura 43 - Variação espacial do material em suspensão ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio. ....	87
Figura 44 - Variação vertical do material em suspensão ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na Estação E1 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio. ....	88
Figura 45 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 2). (C1: junho de 1999, C2: agosto de 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000). ....	90
Figura 46 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 3). (C1: junho de 1999, C2: agosto de 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000). ....	91
Figura 47 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E1 do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 2). (C1: junho/99, C2: agosto/99, C3: fevereiro/00 e C4: maio/00). ....	93
Figura 48 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E1 do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 3). (C1: junho/99, C2: agosto/99, C3: fevereiro/00 e C4: maio/00). ....	94

Figura 49 - Profundidade máxima (PM), transparência e extensão da zona eufótica (Zeu) (m) obtidas para as três coletas nas duas estações de amostragem do lago Carvão com Azeite.....	95
Figura 50 - Perfis térmicos (°C) obtidos para as estações E1 e E2 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.....	96
Figura 51 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ) obtidos para as estações E1 e E2 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.....	97
Figura 52 - Perfis verticais da temperatura (°C) e do oxigênio dissolvido - OD (mg.L <sup>-1</sup> ) na coluna d'água durante as três amostragens realizadas na estação E2 do lago Carvão com Azeite (- - - Temperatura; ____ OD).....	98
Figura 53 - Perfis de condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> ) na estação E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.....	100
Figura 54 - Perfis de pH obtidos nas estações E1 e E2 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.....	101
Figura 55 - Variação das concentrações de nitrito - NO <sub>2</sub> (A), nitrato - NO <sub>3</sub> (B), amônio - NH <sub>4</sub> (C) e nitrogênio total - NT (D) nas estações E1 e E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.....	102
Figura 56 - Variação vertical e temporal do nitrito - NO <sub>2</sub> (A), nitrato - NO <sub>3</sub> (B), amônio - NH <sub>4</sub> (C) e nitrogênio total - NT (D) na estação E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.....	103
Figura 57 - Variação das concentrações de fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B), ortossilicato - Si(OH) <sub>4</sub> (C) e da razão atômica NT/PT (D) nas estações E1 e E2 durante as três amostragem realizadas no lago Carvão com Azeite.....	104
Figura 58 - Variação vertical do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B), ortossilicato - Si(OH) <sub>4</sub> (C) e da razão atômica NT/PT (D) na estação E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.....	105
Figura 59 - Variação espacial e temporal do material em suspensão (mg.L <sup>-1</sup> ) no lago Carvão com Azeite.....	106
Figura 60 - Variação vertical material em suspensão (mg.L <sup>-1</sup> ) na estação E2 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.....	107
Figura 61 - Ordenação das épocas e estações de amostragem em função das variáveis físicas e químicas do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de	

Média não Ponderada (UPGMA), utilizando a distância Euclidiana como método de ligação..... 108

Figura 62 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem em função das variáveis físicas e químicas da estação E2 do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), utilizando a distância Euclidiana como método de ligação. .... 109

Figura 63 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) (A) e do oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. .... 110

Figura 64 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) (A) e do pH (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. .... 111

Figura 65 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão do nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (A) e do amônio ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. .... 112

Figura 66 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão do nitrogênio total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (A) e do fósforo total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. .... 113

Figura 67 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão do fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (A) e do ortossilicato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. .... 114

Figura 68 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da razão NT/PT (A) e do IET (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. .... 115

Figura 69 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da matéria inorgânica (A) e orgânica (B) em suspensão ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. .... 116

Figura 70 - Ordenação dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas (B) (componente 1 x componente 2). .... 118

Figura 71 - Ordenação dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas (B) (componente 1 x componente 3). .... 119

## **Capítulo II**

Figura 1 - Localização do lago Aníbal no estado de Minas Gerais (Brasil) e das estações de amostragem E1 a E6. .... 148

Figura 2 - Variação espacial da densidade total do fitoplâncton ( $\text{ind.10}^4.\text{ml}^{-1}$ ) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal. .... 151

Figura 3 - Variação espacial da densidade dos grupos fitoplanctônicos (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) nas coletas de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Aníbal. ....	152
Figura 4 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal, exceto E3, na amostragem de junho de 1999, em condições de isotermita. ....	153
Figura 5 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal na amostragem de agosto de 1999, em condições de isotermita. ....	154
Figura 6 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal na amostragem de fevereiro de 2000, em condições de heterotermia. ....	155
Figura 7 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal na amostragem de maio de 2000, em condições de isotermita. ....	156
Figura 8 - Variação espacial horizontal (E1-E6) da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal. ....	157
Figura 9 - Variação espacial horizontal (E1-E6) da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Bacillariophyceae (A), Chrysophyceae (B) e Cryptophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal. ....	158
Figura 10 - Variação espacial horizontal (E1-E6) da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Dinophyceae (A), Euglenophyceae (B) e da ordem Volvocales (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal. ....	159
Figura 11 - Variação espacial da densidade da classe Xanthophyceae (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal. ....	160
Figura 12 - Ordenação das épocas e estações de amostragem do lago Aníbal através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons abundantes comuns e constantes (A), não abundantes comuns e constantes (B) e raros (C). ....	165
Figura 13 - Variação vertical da densidade total (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) do fitoplâncton na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal. ....	168
Figura 14 - Variação vertical da densidade dos grupos fitoplanctônicos (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) na estação E3 do lago Aníbal em de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). ....	168

Figura 15 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nas três profundidades da estação E3 do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). ..... 169

Figura 16 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal..... 170

Figura 17 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Bacillariophyceae (A), Chrysophyceae (B) e Cryptophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal..... 171

Figura 18 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Dinophyceae (A), Euglenophyceae (B) e da ordem Volvocales (C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal..... 172

Figura 19 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) da classe Xanthophyceae durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal. .... 173

Figura 20 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem na estação E3 do lago Aníbal através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada realizada com os táxons constantes (A), comuns (B) e raros (C) (S: superfície, M: meio, F: fundo). .... 174

Figura 21 – Distribuição vertical e temporal do amônio -  $\text{NH}_4$  ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) na estação E3 do lago Aníbal..... 177

Figura 22 – Distribuição vertical e temporal da razão  $\text{NO}_3/\text{PT}$  na estação E3 do lago Aníbal..... 177

### **Capítulo III**

Figura 1 - Localização do lago Dom Helvécio no estado de Minas Gerais (Brasil) e das estações de amostragem E1 a E11. .... 195

Figura 2 - Variação espacial horizontal e temporal da densidade total do fitoplâncton ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) do lago Dom Helvécio..... 198

Figura 3 - Variação espacial horizontal e temporal da densidade dos grupos fitoplanctônicos ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) do lago Dom Helvécio. A: junho de 1999; B: agosto de 1999; C: fevereiro de 2000; D: maio de 2000. .... 199

Figura 4 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E2 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de junho de 1999, em condições de isoterminia..... 200

Figura 5 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de agosto de 1999, em condições de isotermita.....	201
Figura 6 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de fevereiro de 2000, em condições de heterotermita. ....	202
Figura 7 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de maio de 2000, em condições de heterotermita. ....	203
Figura 8 - Variação espacial horizontal da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.....	204
Figura 9 - Variação espacial horizontal da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Bacillariophyceae (A), Cryptophyceae (B) e Dinophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.....	205
Figura 10 - Variação espacial horizontal da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) da classe Euglenophyceae (A) e da ordem Volvocales (B) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	206
Figura 11 - Ordenação das épocas e estações de amostragem no lago Dom Helvécio através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons comuns e constantes abundantes, comuns não abundantes (A) e raros (B).. ....	212
Figura 12 - Variação vertical e temporal da densidade total do fitoplâncton (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) do lago Dom Helvécio.....	214
Figura 13 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nas diferentes profundidades amostradas da estação E1 do lago Dom Helvécio durante as quatro coletas. A: junho de 1999; B: agosto de 1999, C: fevereiro de 2000 e D: maio de 2000... ..	215
Figura 14 - Variação vertical da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	216
Figura 15 - Variação vertical da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Bacillariophyceae (A), Cryptophyceae (B) e Dinophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	217
Figura 16 - Variação vertical da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) da classe Euglenophyceae (A) e da ordem Volvocales (B) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.....	218

Figura 17 – Distribuição vertical da classe Cyanophyceae (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	219
Figura 18 – Distribuição vertical da classe Chlorophyceae (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	220
Figura 19 – Distribuição vertical da classe Conjugatophyceae (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	221
Figura 20 – Distribuição vertical dos Fitoflagelados (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	222
Figura 21 – Distribuição vertical de <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	223
Figura 22 – Distribuição vertical de <i>Synechococcus</i> sp. (A), <i>Woskyella</i> sp. (B), <i>Actinotaenium perminutum</i> (C) e <i>Cosmarium asphaerosporum</i> var. <i>strigosum</i> (D) (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) em fevereiro de 200 na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	224
Figura 23 – Distribuição vertical de <i>Synechococcus</i> sp. (A), <i>Woskyella</i> sp. (B), <i>Actinotaenium perminutum</i> (C) e <i>Cosmarium asphaerosporum</i> var. <i>strigosum</i> (D) (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) em maio de 2000 na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	225
Figura 24 – Distribuição vertical de <i>Staurastrum smithii</i> (A), <i>S. tetracerum</i> (B) e <i>Staurodesmus crassus</i> (C) (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) em maio de 2000 na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	226
Figura 25 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem no lago Dom Helvécio através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons abundantes comuns e constantes (A), comuns e constantes não abundantes (B) e raros (C). ....	228

#### Capítulo IV

Figura 1 - Localização do lago Carvão com Azeite no estado de Minas Gerais (Brasil) e das estações de amostragem E1 e E2. ....	248
Figura 2 - Variação da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) fitoplanctônica total nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite. ....	251

Figura 3 - Variação temporal da densidade dos grupos fitoplanctônicos (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) nas duas estações de coleta do lago Carvão com Azeite, durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C).....	252
Figura 4 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nasduas estações de coleta do lago Carvão com Azeite, durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C). .....	253
Figura 5 - Variação da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite. ....	254
Figura 6 - Variação da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Bacillariophyceae (A), Chrysophyceae (B) e Cryptophyceae (C) nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite.....	255
Figura 7 - Variação da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Dinophyceae (A), Euglenophyceae (B) e da ordem Volvocales (C) nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite. ....	256
Figura 8 - Variação espacial da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) de <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (A), <i>Planktolyngbya cf. limnetica</i> (B), <i>Woskyella</i> sp. (C) e <i>Chlorella</i> sp. (D) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite. ....	257
Figura 9 - Variação espacial da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) de <i>Choricystis</i> sp. (A), <i>Trachelomonas volvocina</i> (B) e <i>T. volvocinopsis</i> (C) e <i>Cryptomonas</i> sp.(D) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.....	258
Figura 10 - Ordenação das épocas e estações de amostragem do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons encontrados nas amostras quantitativas de distribuição horizontal. ....	261
Figura 11 - Variação vertical da densidade fitoplanctônica total (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) na estação E2 do lago Carvão com Azeite. ....	262
Figura 12 - Variação vertical da densidade dos grupos fitoplanctônicos (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) na estação E2 do lago Carvão com Azeite durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C). ....	263
Figura 13 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nas três profundidades analisadas da estação E2 do lago Carvão com Azeite, durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C).....	264
Figura 14 - Variação vertical da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) na estação E2 do lago Carvão com Azeite. .	265

Figura 15 - Variação vertical da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Bacillariophyceae (A), Cryptophyceae (B), Euglenophyceae (C) e da ordem Volvocales (D) na estação E2 do lago Carvão com Azeite.....	266
Figura 16 - Variação vertical da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) de <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (A), <i>Planktolyngbya</i> cf. <i>limnetica</i> (B) e <i>Woskyella</i> sp. (C) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.....	267
Figura 17 - Variação vertical da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) de <i>Chlorella</i> sp. (A), <i>Choricystis</i> sp. (B) e <i>Trachelomonas volvocina</i> (C) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.....	268
Figura 18 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons encontrados nas amostras quantitativas de distribuição vertical. .....	269
Figura 19 – Variação espacial da razão Si/PT nas três épocas de amostragem no lago Carvão com Azeite.....	273

## Capítulo V

Figura 1 - Carta IBGE de parte da região do Vale do Rio Doce, com a localização dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite e das estações de amostragem. Fonte: CNPM-EMBRAPA. ....	291
Figura 2 – Variação temporal da densidade fitoplanctônica (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) total (A) e da classe Cyanophyceae (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. ...	296
Figura 3 – Variação temporal da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) das classes Chlorophyceae (A) e Conjugatophyceae (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.....	297
Figura 4 – Variação temporal da densidade (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) da classe Bacillariophyceae (A) e dos Fitoflagelados (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. ....	298
Figura 5 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). ....	299
Figura 6 – Variação vertical da densidade total fitoplanctônica (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). ....	301
Figura 7 – Variação vertical da densidade da classe Cyanophyceae (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).....	302

Figura 8 – Variação vertical da densidade da classe Chlorophyceae (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).....	303
Figura 9 – Variação vertical da densidade da classe Conjugatophyceae (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).....	304
Figura 10 – Variação vertical da densidade dos fitoflagelados (ind.10 <sup>4</sup> .ml <sup>-1</sup> ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D). ....	305
Figura 11 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite em junho de 1999, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C) e 15,0m (D). ....	306
Figura 12 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite em agosto de 1999, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C), 15,0m (D) e 20,0m (E). ....	307
Figura 13 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal e Dom Helvécio em fevereiro de 2000, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C) e 15,0m (D). ....	308
Figura 14 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite em maio de 2000, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C) e 15,0m (D). ....	309
Figura 15 - Ordenação pela ACP dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis analisadas (B) - Componente 1 x Componente 2. ....	312
Figura 16 - Ordenação pela ACP dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis analisadas (B) - Componente 1 x Componente 3. ....	313

## **LISTA DE TABELAS**

### **Capítulo Introdutório**

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal. ....	12
Tabela 2 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio. ....	12
Tabela 3 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite. ....	12

## Capítulo I

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal. ....	33
Tabela 2 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio. ....	33
Tabela 3 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite. ....	33
Tabela 4 - Valores obtidos da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) na coluna d'água durante as quatro coletas realizadas nas seis estações de amostragem no lago Aníbal. ....	45
Tabela 5 – Índices de Estado Trófico (IET) para as estações amostradas nas quatro coletas realizadas no lago Aníbal em 1999 e 2000. ....	55
Tabela 6 – Número de <i>Eigenvalues</i> (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e locais de amostragem. ....	58
Tabela 7 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, das seis estações de amostragem do lago Aníbal, com os componentes principais 1, 2 e 3 (* corresponde aos valores mais significativos para cada fator). ....	58
Tabela 8 – Número de <i>Eigenvalues</i> (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e profundidades de amostragem na estação E3. ....	61
Tabela 9 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, da estação E3 do lago Aníbal, com os componentes principais 1, 2 e 3 (* corresponde aos valores mais significativos para cada fator). ....	61
Tabela 10 - Valores obtidos da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) obtidos na coluna d'água durante as quatro coletas nas onze estações de amostragem do lago Dom Helvécio. ....	73
Tabela 11 – Índices de Estado Trófico (IET) obtidos para as estações E1 a E11 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ....	86
Tabela 12 – Número de <i>Eigenvalues</i> (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e locais de amostragem no lago Dom Helvécio. ....	89
Tabela 13 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, das onze estações de amostragem do lago Dom Helvécio, com os componentes principais 1, 2 e 3 (* corresponde aos valores mais significativos para cada fator). ....	89

Tabela 14 – Número de <i>Eigenvalues</i> (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e profundidades de amostragem na estação E1 do lago Dom Helvécio. ....	92
Tabela 15 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, da estação E1 do lago Dom Helvécio, com os componentes principais 1, 2 e 3 (* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).....	92
Tabela 16 - Valores obtidos da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) na coluna d'água durante as três coletas realizadas nas duas estações de amostragem do lago Carvão com Azeite. ....	99
Tabela 17 - Índices de Estado Trófico (IET) obtidos para as estações E1 e E21 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite. ....	107
Tabela 18 – Número de <i>Eigenvalues</i> (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função dos locais (lagos) e épocas amostragem. ....	117
Tabela 19 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite com os componentes principais 1, 2 e 3 (* corresponde aos valores mais significativos para cada fator). ....	117
Tabela 20 – Relação de algumas características físicas, químicas e biológicas utilizadas para a tipificação dos lagos do Vale do Rio Doce e de lagos em geral, de acordo com TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982) (*) e OVERBECK (1988) (**), respectivamente. ....	134
Tabela 21 – Valores do índice de estado trófico estimados para o lago Dom Helvécio no ano de 1978, baseado nas concentrações de fósforo total obtidas por PONTES (1980). ....	135

## Capítulo II

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal .....	146
Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, matéria inorgânica e matéria orgânica em suspensão), da razão NT/PT e do índice de estado trófico obtidos no lago Aníbal durante as quatro coletas nas seis estações de amostragem realizadas. ....	149
Tabela 3 – Profundidade máxima, transparência da água e zona eufótica (m) obtidas na estação E3 nas quatro coletas realizadas no lago Aníbal.....	150

Tabela 4 - Frequência de ocorrência (%) dos táxons registrados nas amostras quantitativas, referentes à distribuição horizontal e vertical, do lago Aníbal (Ct: constantes; C: comuns; R: raros; <sup>A</sup>: abundantes; <sup>D</sup>: dominantes). .....161

Tabela 5 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada uma das estações de amostragem (E1 a E6) durante as quatro coletas realizadas no lago Aníbal.....164

Tabela 6 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada profundidade (superfície, meio e fundo) da estação E3 durante as quatro coletas realizadas no lago Aníbal. ....173

### **Capítulo III**

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio.....193

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, matéria inorgânica e matéria orgânica em suspensão), da razão nitrogênio/fósforo e do índice de estado trófico observados no lago Dom Helvécio durante as quatro coletas realizadas. ...  
.....196

Tabela 3 – Profundidade máxima, transparência da água e extensão da zona eufótica (m) verificadas na estação E1, nas quatro coletas realizadas no lago Dom Helvécio.....197

Tabela 4 – Frequência de ocorrência (%) dos táxons registrados nas amostras quantitativas, referentes à distribuição horizontal e vertical do lago Dom Helvécio (Ct: constantes; C: comuns; R: raros; <sup>A</sup>: abundantes; <sup>D</sup>: dominantes). .....207

Tabela 5 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada uma das estações de amostragem (E1 a E11) durante as quatro coletas realizadas no lago Dom Helvécio. ....211

Tabela 6 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade –  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada uma das profundidades avaliadas (0,0m, 5,0m, 10,0m, 15,0m e 20,0m) na estação E1 de amostragem durante as quatro coletas realizadas no lago Dom Helvécio. ....227

### **Capítulo IV**

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite.....246

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitrito,

nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, matéria inorgânica e matéria orgânica em suspensão) da razão nitrogênio/fósforo e do índice de estado trófico observados no lago Carvão com Azeite durante as quatro coletas realizadas. ....250

Tabela 3 – Profundidade máxima, transparência da água e extensão da zona eufótica (m) obtidas na estação E2 nas três coletas realizadas no lago Carvão com Azeite.....250

Tabela 4 - Frequência de ocorrência (%) dos táxons registrados nas amostras quantitativas, referentes à distribuição horizontal e vertical, do lago Carvão com Azeite (Ct: constantes; C: comuns; R: raros; <sup>A</sup>: abundantes; <sup>D</sup>: dominantes). ....259

Tabela 5 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>) para as duas estações de amostragem durante as três coletas realizadas no lago Carvão com Azeite.....261

Tabela 6 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada profundidade (0m, 5m e 10m) da estação E2 durante as três coletas realizadas no lago Carvão com Azeite. ....269

## **Capítulo V**

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal .....289

Tabela 2 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio.....289

Tabela 3 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite. ....289

Tabela 4 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade, OD, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NT, PTD, PT, Si(OH)<sub>4</sub>, MO e MI) razão NT/PT e IET obtidos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite durante o período de estudo. ....293

Tabela 5 – Profundidade máxima, transparência da água e extensão da zona eufótica (m) obtidas nas estações E3, E1 e E2 nas coletas realizadas nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, respectivamente.....294

Tabela 6 – Número de táxons fitoplanctônicos encontrados nas amostras quantitativas dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. ....295

Tabela 7 – Número de táxons registrados em comum entre os lagos e Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostras quantitativas e sua porcentagem. ....295

Tabela 8 – Valores médios da riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  ( $\text{bits.ind}^{-1}$ ) obtidos para os lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, durante o período de amostragem.....300

Tabela 9 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade –  $H'$  ( $\text{bits.ind}^{-1}$ ) para cada uma das profundidades avaliadas nas estações E3, E1 e E2 de amostragem durante o período de estudo nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, respectivamente. ....310

Tabela 10 – Número de *Eigenvalues* (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis químicas e do fitoplâncton total em função dos locais (lagos) e épocas de amostragem. ....311

Tabela 11 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis químicas e do fitoplâncton total dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, com os componentes principais 1, 2 e 3 (\* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).....311

Capítulo  
Introdutóri  
o

## RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido em três lagos naturais situados do Vale do Rio Doce (lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite) e objetivou caracterizá-los limnologicamente, com ênfase na comunidade fitoplanctônica, bem como realizar uma análise comparativa entre os três sistemas. Para tanto quatro amostragens foram consideradas, ou seja, junho e agosto de 1999, fevereiro e maio de 2000. A comunidade fitoplanctônica, bem como as seguintes variáveis físicas e químicas foram avaliadas: profundidade total, transparência da água, extensão da zona eufótica, temperatura da água, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato, amônio, nitrogênio total, ortofosfato, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, razão atômica NT/PT, material em suspensão e índice de estado trófico. Constatou-se que durante as épocas de estratificação térmica, ocorreu a estratificação química da coluna d'água nos três ambientes avaliados, de forma que os diferentes estratos puderam ser bem distinguidos (epilímnio, metalímnio e hipolímnio), ao passo que nos períodos isotérmicos a coluna d'água apresentou-se, de maneira geral, homogênea quimicamente. No entanto, o lago Dom Helvécio apresentou anoxia no fundo da coluna d'água em todas as amostragens. Evidenciou-se que no lago Aníbal as maiores densidades fitoplanctônicas e a presença em maior densidade relativa e número de espécies de Chlorococcales estiveram relacionadas às suas características mais eutróficas. Inversamente, a presença de Conjugatophyceae (desmídias) e as menores densidades fitoplanctônicas no lago Dom Helvécio foram associadas à oligotrofia deste ambiente. Verificou-se que as condições de luminosidade (maior transparência da água e extensão da zona eufótica) favoreceram o desenvolvimento das Chlorophyceae e Conjugatophyceae nos lagos Aníbal e Dom Helvécio. No lago Carvão com Azeite, as características distróficas e a total cobertura por macrófitas aquáticas favoreceram o desenvolvimento das Euglenophyceae, Bacillariophyceae e desmídias perifíticas, porém reduziram a riqueza específica e os índices de diversidade, quando comparados aos dos outros lagos. A classe Cyanophyceae foi considerada um importante grupo de algas no

fitoplâncton dos lagos do Vale do Rio Doce, especialmente no metalímnio durante períodos de estratificação térmica. Evidenciou-se que os lagos Aníbal e Dom Helvécio são mais semelhantes entre si e que o lago Carvão com Azeite é o que possui características físicas, químicas e biológicas mais distintas. Os resultados permitiram concluir que a principal função de força da variabilidade dos dados abióticos nos três lagos e do fitoplâncton nos lagos Aníbal e Dom Helvécio é o fator climático que condiciona os períodos de estratificação e circulação da coluna d'água. Entretanto, para o lago Carvão com Azeite, a principal função de força na variabilidade dessa comunidade é resultante das características físicas e químicas, seguida do fator climático. A partir das características abióticas, composição, densidade e diversidade do fitoplâncton apresentadas os lagos Dom Helvécio, Aníbal e Carvão com Azeite foram classificados como oligotrófico, oligo-mesotrófico e distrófico, respectivamente.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento e a caracterização dos diversos sistemas de lagos existentes no Brasil devem ser um dos principais objetivos da pesquisa limnológica, já que podem fornecer subsídios para uma melhor compreensão dos problemas limnológicos básicos de regiões tropicais, permitindo sua comparação com aqueles das regiões temperadas e possibilitando, assim, a utilização racional dos recursos hídricos, segundo conceitos ecológicos de conservação e manejo de ambientes naturais (BARBOSA, 1981).

A comunidade de algas planctônicas, juntamente com as perifíticas, assume papel fundamental na dinâmica e na estrutura biológica dos ecossistemas lacustres pois, além da contribuição na produção de matéria orgânica, contribuem também para a oxigenação do ambiente, tamponando os efeitos redutores do metabolismo saprofítico dos microrganismos (ODUM, 1988).

A grande variabilidade temporal e espacial da estrutura da comunidade fitoplanctônica possui relevante papel em estudos sobre a dinâmica de ecossistemas aquáticos (HUSZAR, 1994), uma vez que tal comunidade forma a base da cadeia de herbivoria e, portanto, o conhecimento de sua variação sazonal e espacial pode trazer elucidções sobre o metabolismo e o fluxo de energia nos ecossistemas aquáticos continentais.

De acordo com HUSZAR (1994), se corretamente amostrada e analisada, as modificações na comunidade fitoplanctônica podem adquirir caráter preditivo sobre as possíveis mudanças no meio onde ocorrem. FORSBERG *et al.* (1993) acentuaram essa importância ao considerar a significativa contribuição do fitoplâncton para o balanço do carbono em muitas espécies comerciais de peixes adultos na Amazônia central. Segundo estes autores, o fitoplâncton contribuiu, através da rede trófica, com cerca de 37% do carbono de caracíformes detritívoros. BARBOSA *et al.* (1993) salientaram também que o fitoplâncton é uma fonte confiável de informação sobre a ação antrópica em habitats naturais. Estes autores verificaram uma drástica redução na diversidade de espécies

devido à redução da zona fótica e ao aumento nas concentrações de nutrientes dissolvidos e na condutividade, resultados das ações antrópicas sobre a lagoa Santa, tais como urbanização e erosão, entre outras.

Infelizmente, o grau e os padrões da variabilidade temporal e espacial (horizontal e vertical) em ecossistemas de baixa latitude são inadequadamente documentados (MELACK, 1979) e, no Brasil, pouco tem sido realizado quanto à diversidade, estrutura e variações espacial e temporal da comunidade fitoplanctônica, sendo que a maioria das publicações existentes é referente às regiões Sul e Sudeste do Brasil e os principais ambientes enfocados são reservatórios, lagoas costeiras e lagos de planície de inundação (BARBOSA *et al.*, 1995).

No médio rio Doce, em uma área no planalto sudeste do Brasil, conhecida como “terras baixas interplanálticas do médio rio Doce”, encontram-se, aproximadamente, 150 lagos não conectados com o rio Doce, formando um sistema lacustre natural<sup>1</sup> (TUNDISI *et al.*, 1999a). Estes lagos são fragmentos de tributários do rio Doce, isolados entre 3000 e 10000 anos atrás no Pleistoceno Superior (PFLUG, 1969). Existem lagos que são circundados por floresta tropical e outros localizados em áreas de reflorestamento de *Eucalyptus* sp. o que interfere de forma diferenciada no funcionamento dos ecossistemas aquáticos e sua dinâmica (TUNDISI *et al.*, 1997d).

Estudos limnológicos nos lagos do Vale do Rio Doce vêm sendo realizados desde 1976. Os estudos referentes ao fitoplâncton estão relacionados à produtividade primária e a alguns problemas como eficiência fotossintética, taxas de assimilação e disponibilidade nutricional (BARBOSA & TUNDISI, 1980; PONTES, 1980; BARBOSA, 1981; MITAMURA *et al.*, 1997a, 1997b; NAKAMOTO & HINO, 1997; TUNDISI *et al.* 1997b, 1997c), a processos de enriquecimento artificial (HENRY *et al.*, 1997 e IBAÑEZ *et al.*, 1997) e à abundância, distribuição e caracterização de pigmentos fotossintetizantes (BARBOSA, 1979; PONTES, 1980; ALEIXO, 1981).

Apesar da relevância nos estudos sobre a composição, diversidade e variações temporal e espacial da comunidade fitoplanctônica, estas informações são ainda bem escassas e fragmentadas, restringindo-se somente aos trabalhos de PONTES (1980), que investigou a variação estacional e distribuição vertical do fitoplâncton no lago Dom

---

<sup>1</sup> Segundo TUNDISI *et al.* (1999b) lagos naturais referem-se, especificamente, a sistemas aquáticos não conectados a um rio e que funcionam a partir de funções de força climatológicas, sem a interferência de entradas de energia e material oriundos do rio.

Helvécio, HINO *et al.* (1986), que avaliaram a distribuição vertical do fitoplâncton neste mesmo lago, REYNOLDS *et al.* (1983), cujo foco foi a estratificação no metalímnio de *Planktolyngbya limnetica* (Cyanophyceae) na lagoa Carioca e REYNOLDS (1997), que tratou sobre aspectos gerais da distribuição vertical fitoplanctônica em vários lagos do sistema em questão. Existem, ainda, os trabalhos de MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI (1995), TUNDISI *et al.* (1997a; 1997b), nos quais essa comunidade foi classificada apenas em nível genérico.

## **OBJETIVOS & HIPÓTESES DE TRABALHO**

Sabendo-se da importância do melhor conhecimento sobre a variabilidade espacial (horizontal e vertical) e temporal da comunidade fitoplanctônica e devido às poucas informações existentes para lagos tropicais, de forma especial os existentes no Vale do Rio Doce, os objetivos do presente estudo foram:

- caracterizar a comunidade fitoplanctônica nos lagos Dom Helvécio, Aníbal e Carvão com Azeite, através do estudo taxonômico mais aprofundado possível e levantamento quantitativo;
- caracterizar os diferentes lagos com relação às variáveis físicas e químicas e procurar estabelecer relações entre estas e o fitoplâncton;
- verificar se há variação temporal na composição de espécies e na densidade da comunidade fitoplanctônica entre períodos amostrados (períodos de estabilidade e circulação da coluna d'água) e qual o efeito das mudanças ambientais sobre o fitoplâncton, uma vez que o regime climático é o principal vetor que determina a estratificação e, possivelmente, a variação dessa comunidade;
- analisar a variação espacial (horizontal e vertical) da comunidade fitoplanctônica em cada lago e entre os lagos, procurando estabelecer quais são os fatores relacionados a essa variabilidade, visto que os lagos possuem posição e morfologia distintas, bem como de diferentes estados de trofia, o que, provavelmente, interfere na variabilidade espacial;
- realizar uma análise comparativa entre os lagos estudados no que se refere à estrutura da comunidade fitoplanctônica.

Os objetivos acima mencionados foram baseados nas seguintes hipóteses de trabalho:

- por possuírem morfometria e posição distintas e diferentes estágios sucessionais, espera-se que os lagos apresentem diferenças nas características físicas e químicas da água, bem como na composição e estrutura da comunidade fitoplanctônica;

- espera-se que ocorram diferenças na estrutura da comunidade fitoplanctônica entre os períodos de estudo, causadas pelo regime de chuvas, temperatura e mudanças nas características físicas e químicas da água;
- em cada lago, a comunidade fitoplanctônica da região litorânea deve ser diferente da região limnética, pois a região litorânea, por ser um local de interface terra-água, sofre grande influência de material alóctone e presença de macrófitas aquáticas, onde a ciclagem de nutrientes e matéria diferencia-se da região limnética; além disso, na região litorânea pode ocorrer exportação de algas perifíticas para o plâncton;
- devido às diferenças na profundidade e temperatura da coluna d'água, espera-se que a distribuição vertical do fitoplâncton se diferencie entre os lagos e também dentro de cada lago entre os períodos de amostragem, devido, principalmente, à ocorrência ou não de estratificação térmica da coluna d'água.

## ÁREA DE ESTUDO

### CARACTERIZAÇÃO GERAL

O sistema de lagos do Vale do Rio Doce situa-se na grande área fisiográfica denominada “depressão Interplanáltica do rio Doce”, confinada entre as elevações correspondentes ao planalto do reverso da serra do Mar, com uma altitude média de 300m e localizada sobre um embasamento de gnaisses variados, micaxistos, quartzitos e granitos, que afloram nas elevações do planalto circundante à depressão do médio rio Doce (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

O Vale do Rio Doce é formado por, aproximadamente 150 lagos, permanentes (MOUSINHO-DE-MEIS & MONTEIRO, 1979), em diferentes estágios de eutrofização natural. Dessa forma, seu ciclo hidrológico é regido pelo aporte de água das chuvas, pelo escoamento da bacia de drenagem e do lençol freático e por perdas por evapotranspiração (MORETTO, 2001). Esses lagos formaram-se no Quaternário, durante o Pleistoceno Superior, devido a um processo de represamento provocado por deposição de sedimentos aluviais dos rios coletores (rios Doce e Piracicaba), os quais não tinham correnteza suficiente para carrear estes depósitos (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

Segundo GUILHUIS (1986), o clima regional é classificado como Aw, de acordo com o sistema de KÖPPEN, com um período chuvoso no verão (outubro a março) e um seco no inverno. A média anual de precipitação pluviométrica é de 1480mm e a temperatura do ar é de 21,9°C, com máxima de 40°C no verão e mínima de 3°C no inverno.

O Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PERD) possui 35974ha da área, com altitude de 230 a 515m acima do nível do mar, com áreas no distrito de Marliéria, e municípios de Dionísio e Timóteo, no Vale do Rio Doce. Os limites naturais do Parque são o rio Doce ao Leste e rio Piracicaba ao Norte (CETEC, 1981 *apud* ANDRADE *et al.*, 1997). A vegetação é constituída por floresta tropical úmida, do tipo Mata Atlântica, enquanto que a região circundante é coberta por *Eucalyptus* sp. e, em menor proporção,

por pastagens, áreas de agricultura e floresta natural (SIF, 1990). Dos 150 lagos existentes no Vale do Rio Doce, 38 estão localizados dentro dos limites do Parque Florestal, ocupando 6% desta área (GUILHUIS, 1986) (Fig. 1).

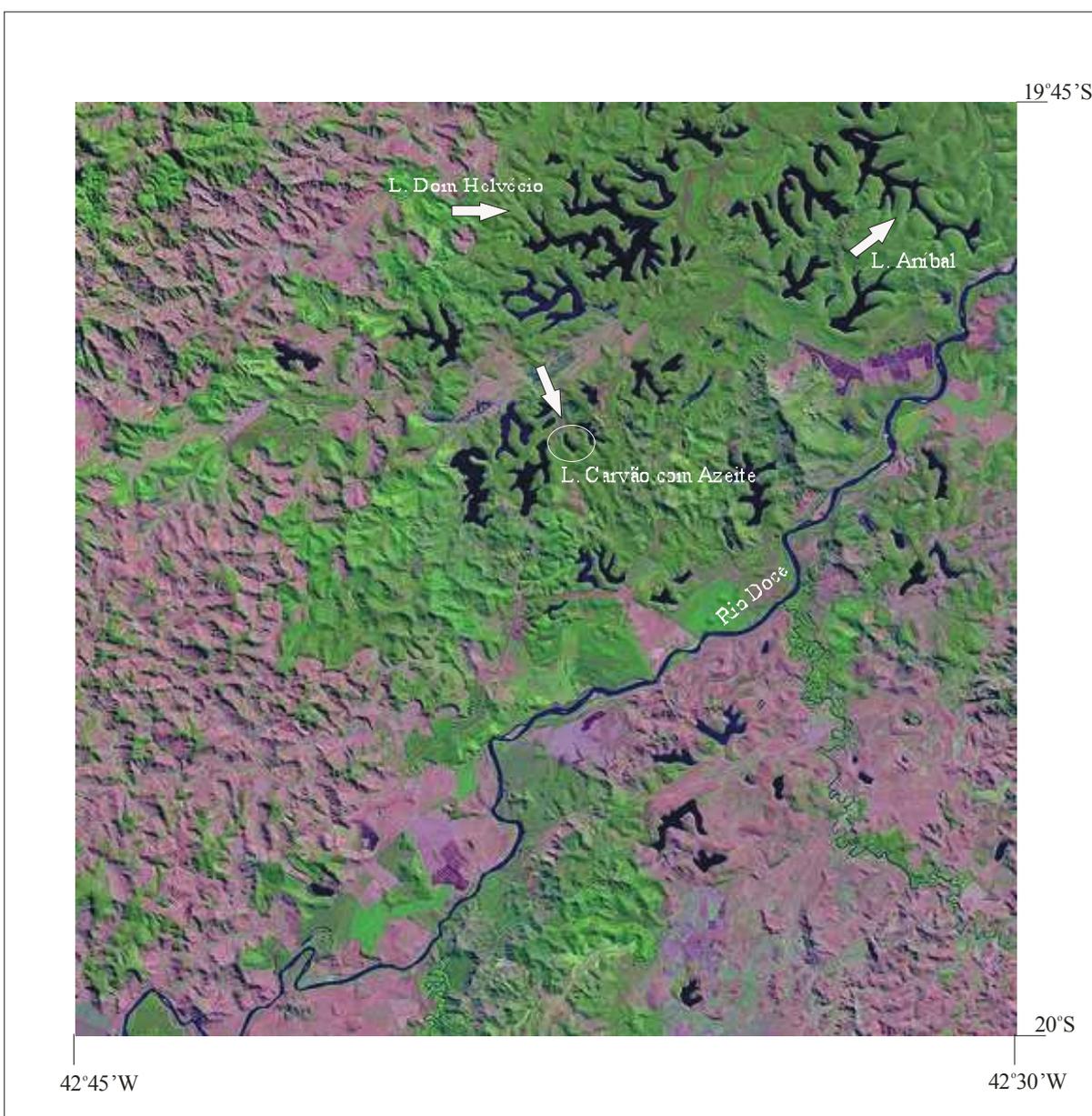


Figura 1 - Carta IBGE de parte da região do Vale do Rio Doce, com a localização dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. Escala = 1:50000. Fonte: CNPM-EMBRAPA.

## **LOCAIS DE AMOSTRAGEM**

### **Lago Aníbal**

Está localizado sob coordenadas 19°45'-19°48'45''S e 42°33'45''-42°30'W e constitui-se o segundo maior lago do sistema do médio rio Doce (TUNDISI *et al.*, 1997a). A profundidade máxima é de 16m e sua morfometria possui o padrão dendrítico predominante. Assim como o lago Dom Helvécio, o lago Aníbal possui um estrato metalimnético bem definido e grande diferença de temperatura entre o epilímnio e o hipolímnio (TUNDISI *et al.*, 1997b).

### **Lago Dom Helvécio**

É o maior lago presente no sistema do vale do médio rio Doce, situado entre 19°45'-19°48'45''S e 42°41'15''-42°33'45''W. Possui 32,5m de profundidade máxima (média de 12m) e 6,87km<sup>2</sup>, com forma dendrítica (TUNDISI & MUSARRA, 1986). Segundo MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI (1995), é um lago quente, monomítico (período de estratificação compreendido entre setembro a maio), com um metalímnio altamente estável. De acordo com HINO *et al.* (1986), esta estratificação exerce grande influência sobre a distribuição da biomassa fitoplanctônica, fluxo de energia e ciclagem de material no lago.

### **Lago Carvão com Azeite**

É o único dentre os do presente estudo situado fora dos limites do Parque Florestal Estadual do Rio Doce (19°48'45''-19°52'30'' e 42°37'30''-42°33'45''W). É um lago que apresenta estratificação, porém o metalímnio é menos definido (TUNDISI *et al.*, 1997b).

## MATERIAIS & MÉTODOS

Baseando-se em dados existentes, as coletas foram realizadas em junho e agosto de 1999, meses caracteristicamente isotérmicos e fevereiro e maio de 2000, meses estratificados termicamente. As Tabelas 1, 2 e 3 trazem as datas de coleta referentes a cada lago estudado. No lago Aníbal, seis foram as estações de amostragem, três na região limnética (E1, E3 e E5) e três na região litorânea (E2, E4 e E6) (Fig. 2). No lago Dom Helvécio totalizaram-se onze estações, seis na região limnética (E1, E3, E5, E6, E8 e E10) e cinco na região litorânea (E2, E4, E7, E9 e E11) (Fig. 3). E no lago Carvão com Azeite, as coletas foram desenvolvidas em duas estações de amostragem, uma na região litorânea (E1) e uma na região limnética (E2) (Fig. 4). A coleta para caracterização da distribuição vertical foi realizada em E3, E1 e E2, para os lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, respectivamente.

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal.

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>
Coleta 1 (C1)	14/06/1999
Coleta 2 (C2)	11/08/1999
Coleta 3 (C3)	05/02/2000
Coleta 4 (C4)	17/05/2000

Tabela 2 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio.

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>
Coleta 1 (C1)	11/06/1999
Coleta 2 (C2)	09/08/1999
Coleta 3 (C3)	04/02/2000
Coleta 4 (C4)	16/05/2000

Tabela 3 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite.

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>
Coleta 1 (C1)	15/06/1999

Coleta 2 (C2)

12/08/1999

Coleta 3 (C3)

18/05/2000

---

É importante salientar que, devido às dificuldades encontradas no dia de coleta referente ao mês de fevereiro de 2000, o lago Carvão com Azeite não foi amostrado.

## **VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS ABIÓTICAS**

A transparência da água foi medida com o uso de um disco de SECCHI (LUND & TALLING, 1957), a zona eufótica (Zeu) foi estimada com base nos valores de transparência multiplicados por 3,0 (COLE, 1994) e as medidas referentes à temperatura da água, ao pH, à condutividade elétrica e ao oxigênio dissolvido foram realizadas com o multi-sensor Horiba, modelo U10. As amostras para análise de nutrientes foram acondicionadas em frascos de polietileno de, aproximadamente, 2 litros. Parte das amostras foi utilizada para a determinação das concentrações totais de nitrogênio e fósforo e parte para as análises dos nutrientes dissolvidos, que foi filtrada em filtros GF/C, à pressão de no máximo 0,3atm, conforme recomendações de WETZEL & LIKENS (1991). As análises dos seguintes nutrientes seguiram a metodologia descrita em MACKERETH *et al.* (1978): nitrito (NO<sub>2</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>), amônio (NH<sub>4</sub>), nitrogênio total (NT), ortofosfato (PO<sub>4</sub>), fósforo total dissolvido (PTD), fósforo total (PT) e ortossilicato (Si(OH)<sub>4</sub>). A razão atômica NT/PT foi estimada a partir dos resultados obtidos para nitrogênio e fósforo totais. Os resultados foram expressos em µg.L<sup>-1</sup> do elemento considerado e em mg.L<sup>-1</sup> para o ortossilicato. A determinação do material em suspensão seguiu TEIXEIRA *et al.* (1965). A partir dos dados de fósforo total, foi estimado o índice de estado trófico (IET) para cada sistema estudado de acordo com SALAS & MARTINO (1988).

Com relação às amostragens de perfil vertical, estas foram feitas a cada 5,0m de profundidade.

## **VARIÁVEIS BIOLÓGICAS**

### **Taxonomia e Análise Quantitativa do Fitoplâncton**

As coletas para análise qualitativa do fitoplâncton foram realizadas por meio de arrastos verticais com rede de plâncton com 20µm de abertura de malha e foram preservadas com solução de formol 4%. A identificação das algas foi realizada em um microscópio binocular da marca Zeiss, modelo Axioscop, sob aumentos de até 2560 vezes. Para a análise quantitativa do fitoplâncton as coletas foram realizadas com bomba de sucção (sem filtragem) e as amostras (150ml) foram acondicionadas em frascos de vidro e preservadas com solução de lugol acético a 0,5% e mantidas no escuro. A quantificação das populações algais foi realizada segundo o método descrito por UTERMÖHL (1958) e feita com o auxílio de um microscópio invertido da marca Zeiss, em aumento de 400 vezes. O tempo de sedimentação foi de três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983). O limite de contagem foi estabelecido pelo método da saturação taxonômica, conforme o procedimento descrito em BICUDO (1990). As quantificações foram expressas tanto em termos das espécies raras como das dominantes, segundo os critérios propostos por LOBO & LEIGHTON (1986). A fórmula para o cálculo da densidade seguiu aquela apresentada por ROS (1979):

$$N = \frac{n \times 1000 \times 10^6}{Ac (\mu m^2) \times h (mm) \times Nc}$$

onde:

N: densidade fitoplanctônica (ind.ml<sup>-1</sup>);

Ac: área do campo de contagem;

H: altura da câmara de sedimentação;

Nc: número de campos contados;

1000 e 10<sup>6</sup>: fatores de correção para as unidades.

## **ANÁLISE NUMÉRICA**

### **Análise de Biodiversidade**

Com os dados obtidos na análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica, foram estimados alguns índices biológicos como citados em ODUM (1988) e MAGURRAN (1988): o índice de diversidade de SHANNON-WIENER ( $H'$ ), o índice de uniformidade ou equitabilidade de PIELOU ( $J$ ), o índice de dominância de SIMPSON ( $D$ ) e a riqueza específica ( $R$ ).

### **Análise Estatística**

Para a ordenação das estações e profundidades de amostragem e épocas de coleta referente somente aos dados abióticos de distribuição horizontal e vertical de cada um dos lagos estudados foram aplicadas:

- a Análise de Componentes Principais – ACP (matriz de correlação), seguindo o método de KAISER (MANLY, 1986) para os dados do lago Aníbal e lago Dom Helvécio e
- a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), utilizando a Distância Euclidiana como fator de ligação (MANLY, 1986) para o lago Carvão com Azeite e para a ordenação dos três lagos e períodos de amostragem.

Para a ordenação das estações de amostragem e profundidades de amostragem e épocas de coleta referente somente aos dados quantitativos da comunidade fitoplanctônica de cada um dos lagos estudados foram aplicados:

- no Lago Aníbal, a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), usando a Distância Euclidiana como fator de ligação:
  - para os dados de distribuição horizontal (três categorias): 1) espécies abundantes, comuns e constantes, 2) espécies não abundantes, comuns e constantes e 3) espécies raras;
  - para os dados de distribuição vertical (três categorias): 1) espécies constantes, 2) espécies comuns e 3) espécies raras.
- no lago Dom Helvécio, a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), usando a Distância Euclidiana como fator de ligação:
  - para os dados de distribuição horizontal (duas categorias): 1) espécies abundantes, comuns e constantes juntamente com espécies não abundantes, comuns e 2) espécies raras;

- para os dados de distribuição vertical (três categorias): 1) espécies abundantes, comuns e constantes, 2) espécies não abundantes, comuns e constantes e 3) espécies raras;

➤ no lago Carvão com Azeite, a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), usando a Distância Euclidiana como fator de ligação:

- para os dados de distribuição horizontal: todos os táxons;

- para os dados de distribuição vertical: todos os táxons.

Para a ordenação dos lagos e épocas de amostragem referente aos dados químicos (pH, OD, condutividade,  $\text{NH}_4$ , NT, PTD, PT,  $\text{Si(OH)}_4$ , MI e MO) e biológicos (densidade fitoplanctônica total) foi realizada a Análise de Componentes Principais – ACP (matriz de correlação).

Todos os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa “Statistica for Windows – Versão 5.5” (STATSOFT, INC.,2000), licenciado para a Universidade Federal de São Carlos.



Figura 2 - Lago Aníbal com a localização das estações de amostragem E1 a E6. Fonte: CNPM-EMBRAPA

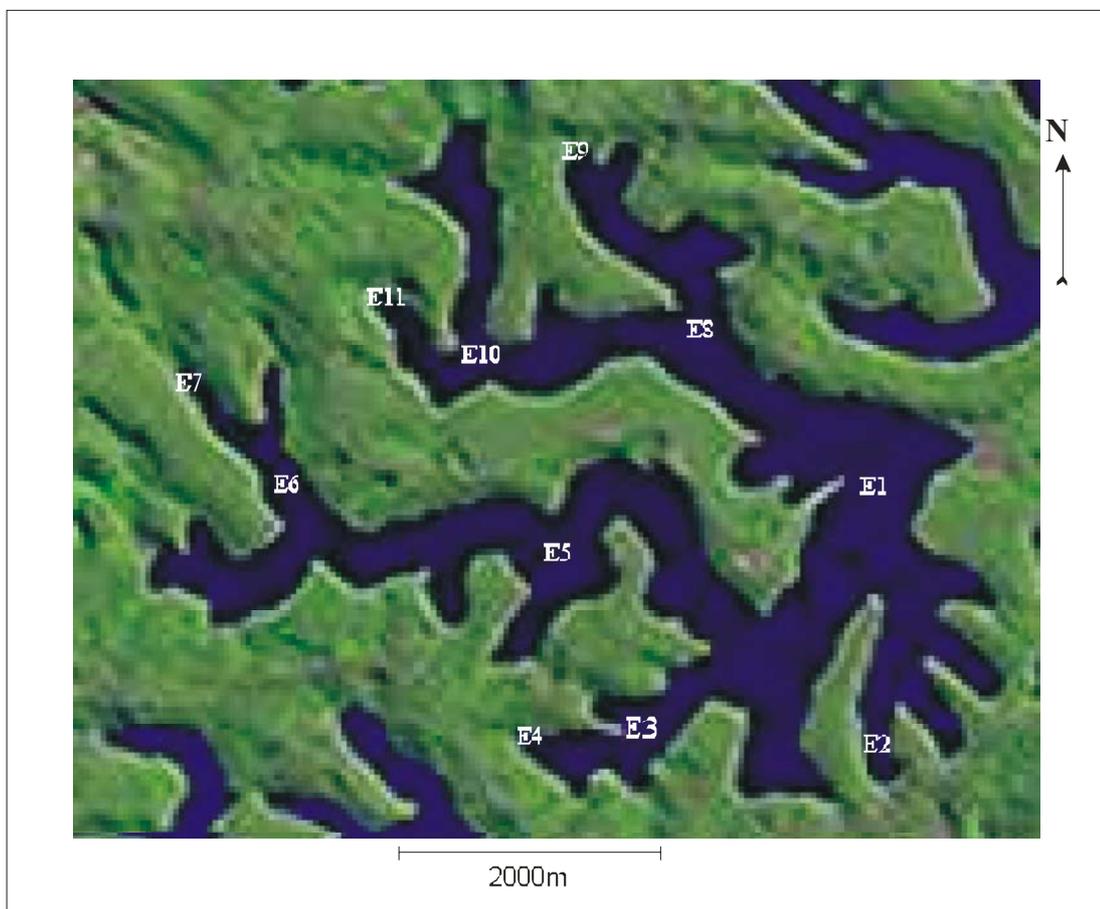


Figura 3 - Lago Dom Helvécio com a localização das estações de amostragem E1 a E11.  
Fonte: CNPM-EMBRAPA

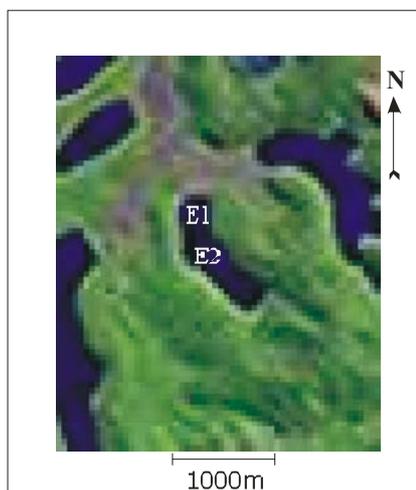


Figura 4 - Lago Carvão com Azeite com a localização das estações de amostragem E1 e E2. Fonte: CNPM-EMBRAPA

## RESULTADOS & CONCLUSÕES GERAIS

Baseado nos objetivos e nas hipóteses de trabalho, verificou-se que:

- durante as épocas de estratificação térmica, ocorreu a estratificação química e biológica da coluna d'água nos três ambientes avaliados, de forma que os diferentes estratos puderam ser bem distinguidos (epilímnio, metalímnio e hipolímnio), ao passo que nos períodos isotérmicos a coluna d'água apresentou-se, de maneira geral, quimicamente homogênea;
- de acordo com os resultados das variáveis físicas, químicas e biológicas (fitoplâncton) os lagos Aníbal e Dom Helvécio foram considerados mais semelhantes entre si e o lago Carvão com Azeite foi o que apresentou características mais distintas, pela sua morfometria mais simples, coloração amarelada da água, baixo pH, baixa oxigenação, maiores concentrações de matéria em suspensão, cobertura de macrófitas aquáticas em toda sua extensão, maior contribuição de Euglenophyceae, menor de Conjugatophyceae e Chlorophyceae nas análises quantitativas e maior representatividade de espécies perifíticas nas análises qualitativas;
- no lago Aníbal não houve distinção entre as regiões limnética e litorânea com relação às variáveis químicas e biológicas (fitoplâncton) analisadas. Porém, o lago pôde ser dividido em dois grandes compartimentos: um formado pela porção noroeste (estações E1 a E4) e outro pela porção sudeste (estações E5 e E6);
- no lago Dom Helvécio, três compartimentos foram distinguidos em relação às variáveis químicas e físicas: a zona limnética (estações E1, E5 e E8), a zona litoral (estações E2, E4, E7, E9 e E11) e uma região de interface entre as duas anteriores (estações E6 e E10). Contudo, em relação à densidade das populações fitoplanctônicas não há diferenciação entre região limnética e litorânea, esta diferença é observada somente através da composição de espécies nas análises qualitativas;

- no lago Carvão com Azeite, a zona litoral distingue-se da limnética principalmente durante o período de estabilidade da coluna d'água;
- as maiores densidades fitoplanctônicas observadas no lago Aníbal foram relacionadas à maior concentração de nutrientes, principalmente NT;
- a presença em maior densidade relativa e número de espécies de Chlorococcales esteve relacionado às características mais eutróficas do lago Aníbal;
- a presença em maior densidade relativa e número de espécies de Conjugatophyceae (desmídias) no lago Dom Helvécio foi associada às condições mais oligotróficas;
- provavelmente, as condições de luminosidade (maior transparência da água e extensão da zona eufótica) favoreceram o desenvolvimento das Chlorophyceae e Conjugatophyceae nos lagos Aníbal e Dom Helvécio;
- as características distróficas e a cobertura por macrófitas aquáticas no lago Carvão com Azeite favoreceram o desenvolvimento das Euglenophyceae, Bacillariophyceae (especialmente do gênero *Eunotia*) e desmídias perifíticas;
- a classe Cyanophyceae foi considerado um importante grupo de algas no fitoplâncton dos lagos do Vale do Rio Doce, especialmente no metalímnio durante períodos de estratificação térmica;
- em relação à variação vertical do fitoplâncton dos lagos Aníbal e Dom Helvécio, durante o período isoterma, os grupos algais apresentaram distribuição semelhante ao longo da coluna d'água, enquanto que, no período estratificado, esta distribuição vertical foi diferenciada. Para o lago Carvão com Azeite, no período isotérmico, a contribuição relativa dos grupos foi semelhante apenas aos 0,0m e 5,0m de profundidade.
- nos lagos Aníbal e Dom Helvécio, a diversidade fitoplanctônica aumentou em períodos de isoterma e diminuiu nos períodos de estabilidade térmica, porém este fator não alterou a diversidade ao longo da coluna d'água. No lago Carvão com Azeite, a diversidade foi principalmente influenciada pelos locais de amostragem, seguida pela variação temporal (épocas de circulação e estabilidade); a estação limnética apresentou maior diversidade no período isotérmico e a estação litorânea no período de estratificação. Verticalmente, a diversidade foi maior nas camadas superiores e menor no fundo da coluna d'água. Entre os três corpos d'água o lago

Carvão com Azeite foi o que apresentou menores riqueza específica e índices de diversidade, relacionadas à distrofia do sistema;

- a principal função de força da variabilidade dos dados abióticos nos três lagos e do fitoplâncton nos lagos Aníbal e Dom Helvécio é o fator climático que condiciona os períodos de estratificação e circulação da coluna d'água. Para o lago Carvão, a principal função de força na variabilidade dessa comunidade é resultante das características físicas e químicas, seguida do fator climático;
- de acordo com as características apresentadas, os lagos Dom Helvécio, Aníbal e Carvão com Azeite puderam ser classificados como oligotrófico, oligo-mesotrófico e distrófico, respectivamente;
- os três lagos têm sofrido alterações físicas e químicas, quando comparados com estudos anteriores, indicando a evolução no processo de sucessão natural. O lago Carvão com Azeite é o que apresenta estágio mais avançado e o lago Dom Helvécio o mais tardio nesse processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEIXO, R. C. 1981. **Fatores ecológicos, concentração de clorofila-a e feofitina em cinco lagos do vale do rio Doce, MG: um estudo comparativo.** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 220 p. Dissertação (Mestrado).
- ANDRADE, P. M.; PEREIRA, M. C. A. & SILVA, L. V. C. 1997. The vegetation of Rio Doce State Park. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 15-21.
- BARBOSA, F. A. R. 1979. **Produção primária e fatores ambientais na lagoa Carioca – Parque Florestal do rio Doce, MG.** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 205 p. Dissertação (Mestrado).
- BARBOSA, F. A. R. 1981. **Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na lagoa Carioca – Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil.** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. Tese (Doutorado).
- BARBOSA, F. A. R.; BICUDO, C. E. M. & HUSZAR, V. L. M. 1995. Phytoplankton studies in Brazil: community structure variation and diversity. *In*: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (eds.) **Limnology in Brazil.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Sociedade Brasileira de Limnologia. pp. 19-36.
- BARBOSA, F. A. R.; RYLANDS, A. B. & OLIVEIRA, S. J. 1993. Drastic decrease in algal diversity caused by human impact on an urban lake in South-east Brazil. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie** 25: 939-941.
- BARBOSA, F. A. R. & TUNDISI, J. G. 1980. Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow Quaternary lake at Eastern Brazil. **Archiv für Hydrobiologie** 90(2): 139-161.
- BICUDO, D. C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifiton. **Acta Limnologica Brasiliensia** 3: 459-475.

- CNPM – EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Carta IBGE**. Disponível em < [www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br](http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br) >. Acesso em outubro de 2002.
- COLE, G. 1994 **Textbook of limnology**. Saint Louis : The C. V. Mosby. 283 p.
- FORSBERG, B. R.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. & BONASSI, J. A. 1993. Autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon. **Ecology** 74(3): 643-652.
- GUILHUIS, J. P. 1986. **Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil**. Wageningen: Agricultural University of Wageningen. 112 p.
- HENRY, R.; TUNDISI, J. G. & IBAÑEZ, M. S. R. 1997. Enrichment experiments and their effects on phytoplankton (biomass and primary productivity). *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp.243-263.
- HINO, K.; TUNDISI, J. G. & REYNOLDS, C. S. 1986. Vertical distribution of phytoplankton in a stratified lake (lago Dom Helvecio, Southeastern Brazil) with special reference to the metalimnion. **Japanese Journal of Limnology** 47(3): 239-246.
- HUSZAR, V. L. M. 1994. **Fitoplâncton de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita (lago Batata, Pará, Brazil):** estrutura da comunidade, flutuações espaciais e temporais. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 219 p. Tese (Doutorado).
- IBAÑEZ, M. S. R.; TUNDISI, J. G.; HENRY, R.; MATSUMURA- TUNDISI, T.; ROCHA, O. & CALIJURI, M. C. 1997. Phytoplankton response to enrichment. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp.399-407.
- LOBO, E. & LEIGHTON, G. 1986 Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biologia Marinha** 22(1): 1-29.
- LUND, H. W. G. & TALLING, J. F. 1957. Botanical limnological methods with special reference to the algae. **The Botan. Rev.** 23(8/9): 485-583.

- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J. & TALLING, J. F. 1978. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. Ambleside: Freshwater Biological Association Scientific Publication, n. 36. 120 p.
- MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press. 179p.
- MANLY, B. F. J. 1986. **Multivariate statistical methods: a primer**. New Cork: Chapman, 215 p.
- MARGALEF, R. 1983. **Limnologia**. Barcelona: Ed. Omega. 1010 p.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. & TUNDISI, J. G. 1995. Limnology of a warm monomitic lake at rio Doce Forest Park (lake Dom Helvecio, MG, Eastern Brazil). *In*: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (eds.) **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Sociedade Brasileira de Limnologia. pp. 245-256.
- MELACK, J. M. 1979. Temporal variability of phytoplankton in tropical lakes. **Oecologia** 44: 1-7.
- MITAMURA, O.; SAIJO, Y. & HINO, K. 1997a. Cycling of urea associated with photosynthetic activity of phytoplankton in the euphotic layer in Lakes Dom Helvécio, Jacaré and Carioca. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 129-139.
- MITAMURA, O.; SAIJO, Y.; HINO, K. & BARBOSA, F. A. R. 1997b. The significance of the regenerated nitrogen for phytoplankton productivity in Lakes Dom Helvécio, Jacaré and Carioca. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 141-153.
- MORETTO, E. M. 2001. **Diversidade zooplanctônica e variáveis limnológicas das regiões limnética e litorânea de cinco lagoas do Vale do Rio Doce – MG, e suas relações com o entorno**. São Carlos: Universidade de São Paulo. 268p. Dissertação (Mestrado).
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. 1977. As unidades morfo-estratigráficas neoquaternárias do médio rio Doce. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 49(3): 443-459.

- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. & MONTEIRO, A. M. F. 1979. Upper Quaternary “rampas”. Rio Doce valley, Southeastern Brazilian Plateau. **Zeitschr. Für Geomorph.** 23: 132-151.
- NAKAMOTO, N. & HINO, K. 1997. Nutritional matter available for phytoplankton growth. *In*: TUNDISI, J. G. & SAJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 119-128.
- ODUM, E. P. 1988. **Fundamentos de ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 927 p.
- PFLUG, R. 1969. Quaternary lakes of Eastern Brazil. **Photogrammetria** 24: 29-35.
- PONTES, M. C. F. 1980. **Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago Dom Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce – MG**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 293 p. Dissertação (Mestrado).
- REYNOLDS, C. S. 1997. On the vertical distribution of phytoplankton in the middle Rio Doce Vale lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 227-241.
- REYNOLDS, C. S.; TUNDISI, J. G. & HINO, K. 1983. Observations on a metalimnetic *Lyngbya* population in a stably stratified tropical lake (lagoa Carioca, Eastern Brazil). **Archiv für Hydrobiologie** 97(1): 7-17.
- ROS, J. 1979. **Práctica de ecologia**. Barcelona: Ed. Omega. 181 p.
- SALAS, H. J. & MARTINO, P. 1988. **Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales**. Organización Mundial de la Salud / Organización Pan-Americana de la Salud – OPS / Centro Pan-Americano de Ingeniería Sanitária y Ciencias del Ambiente – CEPIS: 51p.
- SIF. 1990. **Plano diretor do Parque Florestal Estadual do Rio Doce**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais/Instituto Estadual de Florestas – MG. 99 p.
- STATSOFT, INC., 2000. **Statistica for Windows** (Computer Program Manual). Statsoft, Inc., Tulsa.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G. & KUTNER, M. B. 1965. Plankton studies in a mangrove. II: The standing-stock and some ecological factors. **Boletim do Instituto Oceanográfico** 24: 23-41.

- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA- TUNDISI, T.; CALIJURI, M. C.; HENRY, R.; IBAÑEZ, M. S. R. & NAKAMOTO, N. 1997a. Limnological survey of lake Anibal. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 441-447.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA- TUNDISI, T.; FUKUHARA H.; MITAMURA, O.; GUILLÉN, S. M.; HENRY, R.; ROCHA, O.; CALIJURI, M. C.; IBAÑEZ, M. S. R.; ESPÍNDOLA, E. L. G. & GOVONI, S. 1997b. Limnology of fifteen lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 410-439.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA- TUNDISI, T. & ROCHA, O. 1999a. Ecosistemas de águas interiores. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (eds.). **Águas doces do Brasil : capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora. pp. 153-192.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA- TUNDISI, T. & ROCHA, O. 1999b. Limnologia de águas interiores. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (eds.). **Águas doces do Brasil : capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora. pp. 195-223.
- TUNDISI, J. G. & MUSARRA, M. L. 1986. Morphometry of four lakes in the Rio Doce Valley Lakes system and its relationships with primary production of phytoplankton. **Revista Brasileira de Biologia** 46(1): 159-171.
- TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y.; HENRY, R. & NAKAMOTO, N. 1997c. Primary productivity, phytoplankton biomass and light photosynthesis responses in four lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 199-225.
- TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y. & SUNAGA, T. 1997d. Ecological effects of human activities in the middle rio Doce lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 477-482.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen** 9: 1-38.

WETZEL, R. G. & LIKENS, G. E. 1991. **Limnological analysis**. New York: Springer-Verlag. 391 p.

## **CAPÍTULO I**

As Características  
Abióticas em  
Três Lagos do Vale  
do Rio Doce,  
Minas Gerais

## RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido em três lagos naturais situados do Vale do Rio Doce (lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite) e objetivou caracterizá-los limnologicamente, bem como realizar uma análise comparativa entre os três sistemas. Para tanto quatro períodos de amostragem foram consideradas, ou seja, junho e agosto de 1999, fevereiro e maio de 2000 e as seguintes variáveis foram avaliadas: profundidade máxima, transparência, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, nitrito, nitrato, amônio, nitrogênio total, ortofosfato, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, matéria orgânica e matéria inorgânica em suspensão. Foram estimados ainda: a extensão da zona eufótica, a razão NT/PT e índice de estado trófico. Constatou-se que durante as épocas de estratificação térmica, ocorre a estratificação química da coluna d'água nos três ambientes avaliados, de forma que os diferentes estratos puderam ser bem distinguidos (epilímnio, metalímnio e hipolímnio), ao passo que nos períodos isotérmicos a coluna d'água apresentou-se, de maneira geral, quimicamente homogênea. A região litorânea foi diferenciada da limnética nos lagos Dom Helvécio e Carvão com Azeite, ao passo que no lago Aníbal houve a separação das regiões noroeste e sudeste. Dentre os três lagos estudados, o lago Carvão com Azeite foi o que apresentou características mais distintas devido à sua morfometria mais simples, à cobertura de macrófitas aquáticas em toda sua extensão, à coloração amarelada da água, ao baixo pH, à baixa oxigenação, às maiores concentrações de matéria em suspensão e ao acúmulo da maioria dos nutrientes no metalímnio no período de estabilidade térmica. As maiores concentrações de amônio, nitrato, nitrogênio total, ortossilicato e índices de estado trófico foram verificadas no lago Aníbal. De acordo com as características apresentadas os lagos Dom Helvécio, Aníbal e Carvão com Azeite puderam ser classificados como oligotrófico, oligo-mesotrófico e distrófico,

respectivamente. Os resultados permitiram concluir que a principal função de força da variabilidade das variáveis limnológicas abióticas nos três lagos é o fator climático que condiciona os períodos de estratificação e circulação da coluna d'água e que a segunda função de força é a morfometria dos lagos que interfere na duração destes períodos.

## **ABSTRACT**

The present study was carried out at three natural lakes located at Rio Doce Valley (Lakes Aníbal, Dom Helvécio and Carvão com Azeite) aiming to limnologically characterize them, as well as to comparatively analyze the three systems. In order to accomplish that, four samplings were performed in the periods of June/1999, August/1999, February/2000 and May/2000. The following variables were evaluated: maximum depth, transparency, water temperature, dissolved oxygen concentration, electrical conductivity, pH, nitrite, nitrate, ammonium, total nitrogen, orthophosphate total dissolved phosphorus, total phosphorus, ortossilicate, organic and inorganic suspended matter. Also, the euphotic zone extension, the NT/PT ratio and the trophic state index were evaluated. Were observed that chemical stratification of the water column exists in all three lakes evaluated during periods of thermal stratification, and that three different layers could be distinguished (epilimnion, metalimnion and hypolimnion), whereas during periods of isothermy the water column was mainly chemically almost homogeneous. The water chemistry at the littoral region was different from that of the limnetic region for the Lakes Dom Helvécio and Carvão com Azeite, whereas in Lake Aníbal there was differentiation among the Northwest and the Southeast portions of the lake. Lake Carvão com Azeite had distinctive characteristics among the three lakes studied regarding its morphometry, small extension, simple shape (contour), yellow colored water, low pH, low oxygen, high suspended matter concentrations, water surface completely covered by macrophytes, besides having the nutrients accumulation in the metalimnion during the stability thermal period. In Lake Aníbal the highest concentrations of ammonium, nitrate, total nitrogen, ortossilicate and trophic state index were registered. According to the characteristics observed, the lakes Dom Helvécio, Aníbal and Carvão com Azeite were classified as oligotrophic, oligo-

mesotrophic and dystrophic, respectively. The results indicate that the main forcing function determining the abiotic characteristics variability of these three lakes is the climatic factor, which determines the periods of stratification and circulation of the water column. Lake morphometry interferes with the duration of these periods.

## **INTRODUÇÃO**

Os estudos limnológicos devem considerar o lago como centro coletor de eventos no qual todas as interações destes ecossistemas aquáticos com os ecossistemas terrestres circundantes são levados em conta (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982). Nas regiões tropicais, a grande maioria dos lagos é fundamentalmente caracterizada por suas ligações com os rios. No Brasil, de acordo com TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982), três grandes sistemas lacustres podem ser destacados: os lagos de várzea do Amazonas, o Pantanal Matogrossense e os lagos do Vale do Rio Doce. Os dois primeiros são caracteristicamente denominados como sistemas rio-planície de inundação, cujos alagamentos periódicos são mantidos por mecanismos de pulsos representados pelas flutuações periódicas do nível da água. Tais pulsos são considerados como o principal fator que determina a natureza e a produtividade biológica desses ambientes (JUNK *et al.*, 1989). Já o terceiro, o complexo lacustre Vale do Rio Doce difere dos dois anteriores, pois é formado por lagos isolados (não conectados ao rio) que funcionam a partir de funções de força climáticas.

Devido à peculiaridade do sistema lacustre do Vale do Rio Doce e à escassez de dados sobre lagos naturais brasileiros, os estudos nestes ambientes iniciaram-se em 1976, através da parceria Brasil-Japão, que culminaram com a publicação de TUNDISI & SAIJO (1997). No entanto, pouco ainda se conhece sobre o funcionamento desses ambientes. Embora estes lagos já tenham sido estudados, as variações interanuais no clima e a ocorrência de eventos periódicos como o *El Niño* tem acarretado mudanças no regime de funcionamento dos sistemas lacustres, ainda pouco compreendidas para as regiões tropicais.

Dessa forma, muito ainda precisa ser feito, pois o processo do conhecimento limnológico é longo e, quando se trata de um ecossistema pouco conhecido, mais árduo se torna e, portanto, mais esforços são necessários.

Assim sendo, os principais objetivos deste trabalho são:

- caracterizar os lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite com relação às variáveis abióticas físicas e químicas;
- verificar se há variação dos dados entre os períodos avaliados (estratificação térmica e isoterma);
- analisar a variação espacial (horizontal e vertical) dos dados em cada lago e entre os lagos, procurando estabelecer quais são os fatores relacionados a essa variabilidade, visto que os lagos possuem posição e morfologia distintas, bem como estados de trofia diferentes.

O presente estudo visa contribuir com os trabalhos já existentes e fornecer novos dados referentes aos lagos do Vale do Rio Doce e, em seu aspecto mais amplo, fornecer subsídios para estudos em lagos naturais.

## ÁREA DE ESTUDO

O sistema de lagos do Vale do Rio Doce situa-se na área fisiográfica denominada “depressão Interplanáltica do rio Doce”, confinada entre as elevações correspondentes ao planalto do reverso da serra do Mar, com uma altitude média de 300m. (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977). O clima regional é classificado como Aw, de acordo com o sistema de Köppen, com um período chuvoso no verão (outubro a março) e um seco no inverno. A média anual de precipitação pluviométrica é de 1480mm e a temperatura do ar é de 21,9°C, com máxima de 40°C no verão e mínima de 3°C no inverno (GUILHUIS, 1986).

O sistema lacustre é constituído por aproximadamente 150 lagos. Estes formaram-se entre 3000 a 10000 anos atrás, durante o Pleistoceno Superior, devido a um processo de represamento provocado por deposição de sedimentos aluviais dos rios coletores (rios Doce e Piracicaba), os quais não tinham correnteza suficiente para carrear estes depósitos (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

O Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PERD) possui 35974ha de área, com altitude de 230 a 515m acima do nível do mar, com áreas no distrito de Marliéria e municípios de Dionísio e Timóteo, no Vale do Rio Doce. Os limites naturais do Parque são o rio Doce ao Leste e rio Piracicaba ao Norte (CETEC, 1981 *apud* ANDRADE *et al.*, 1997). No Parque Florestal a vegetação é constituída por floresta tropical úmida, do tipo Mata Atlântica. A região circundante é coberta por cultivos de *Eucalyptus* sp. e, em menor proporção, por pastagens, áreas de agricultura e floresta natural (SIF, 1990).

As coletas foram realizadas nos lagos Aníbal (19°45’-19°48’45’’S e 42°33’45’’-42°30’W), Dom Helvécio (19°45’-19°48’45’’S e 42°37’30’’-42°33’45’’W) e Carvão com Azeite (19°48’45’’-19°52’30’’S e 42°37’30’’-42°33’45’’W). Destes, os dois

primeiros estão situados dentro dos limites do Parque Florestal e o último localiza-se fora deste.

## MATERIAIS & MÉTODOS

As coletas foram realizadas em junho e agosto de 1999 e fevereiro e maio de 2000. As Tabelas 1, 2 e 3 trazem as datas de coleta referentes a cada lago estudado. No lago Aníbal, seis foram as estações de amostragem, três na região limnética (E1, E3 e E5) e três na região litorânea (E2, E4 e E6) (Fig. 2). No lago Dom Helvécio totalizaram-se onze estações, seis na região limnética (E1, E3, E5, E6, E8 e E10) e cinco na região litorânea (E2, E4, E7, E9 e E11) (Fig. 3). E no lago Carvão com Azeite, as coletas foram desenvolvidas em duas estações de amostragem, uma na região litorânea (E1) e uma na região limnética (E2) (Fig. 4). A coleta para caracterização da distribuição vertical foi realizada em E3, E1 e E2, para os lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, respectivamente.

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal.

Coleta	Data
Coleta 1 (C1)	14/06/1999
Coleta 2 (C2)	11/08/1999
Coleta 3 (C3)	05/02/2000
Coleta 4 (C4)	17/05/2000

Tabela 2 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio.

Coleta	Data
Coleta 1 (C1)	11/06/1999
Coleta 2 (C2)	09/08/1999
Coleta 3 (C3)	04/02/2000
Coleta 4 (C4)	16/05/2000

Tabela 3 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite.

Coleta	Data
Coleta 1 (C1)	15/06/1999
Coleta 2 (C2)	12/08/1999
Coleta 3 (C3)	18/05/2000

É importante salientar que, devido às dificuldades encontradas no dia de coleta referente ao mês de fevereiro de 2000, o lago Carvão com Azeite não foi amostrado.

A transparência da água foi medida com o uso de um disco de SECCHI (LUND & TALLING, 1957), a zona eufótica (Zeu) foi estimada com base nos valores de transparência multiplicados por 3,0 (COLE, 1994) e as medidas referentes à temperatura da água, ao pH, à condutividade elétrica e ao oxigênio dissolvido foram realizadas com o multi-sensor Horiba, modelo U10. As amostras para análise de nutrientes foram acondicionadas em frascos de polietileno de, aproximadamente, 2 litros. Parte das amostras foi utilizada para a determinação das concentrações totais de nitrogênio e fósforo e parte para as análises dos nutrientes dissolvidos, que foi filtrada em filtros GF/C, à pressão de no máximo 0,3atm, conforme recomendações de WETZEL & LIKENS (1991). As análises dos seguintes nutrientes seguiram a metodologia descrita em MACKERETH *et al.* (1978): nitrito (NO<sub>2</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>), amônio (NH<sub>4</sub>), nitrogênio total (NT), ortofosfato (PO<sub>4</sub>), fósforo total dissolvido (PTD), fósforo total (PT) e ortossilicato (Si(OH)<sub>4</sub>). A razão atômica NT/PT foi estimada a partir dos resultados obtidos para nitrogênio e fósforo totais. Os resultados foram expressos em µg.L<sup>-1</sup> do elemento considerado e em mg.L<sup>-1</sup> para o ortossilicato. A determinação do material em suspensão seguiu TEIXEIRA *et al.* (1965). A partir dos dados de fósforo total, foi estimado o índice de estado trófico (IET) para cada sistema estudado de acordo com SALAS & MARTINO (1988).

Para a ordenação das estações de amostragem e coleta referente aos dados de distribuição horizontal e vertical de cada um dos lagos estudados foram aplicados:

- a Análise de Componentes Principais – ACP (matriz de correlação), seguindo o método de KAISER (MANLY, 1986) para os dados do lago Aníbal e lago Dom Helvécio e
- a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), usando a Distância Euclidiana como fator de ligação (MANLY, 1986), para o lago Carvão com Azeite.

Para a ordenação dos lagos e épocas de amostragem foi aplicada a Análise de Componentes Principais – ACP (matriz de correlação), utilizando as variáveis: pH, OD, condutividade, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NT, PTD, PT, Si(OH)<sub>4</sub>, MI e MO.

Todos os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa “Statistica for Windows – Versão 5.5” (STATSOFT, INC.,2000), licenciado para a Universidade Federal de São Carlos.

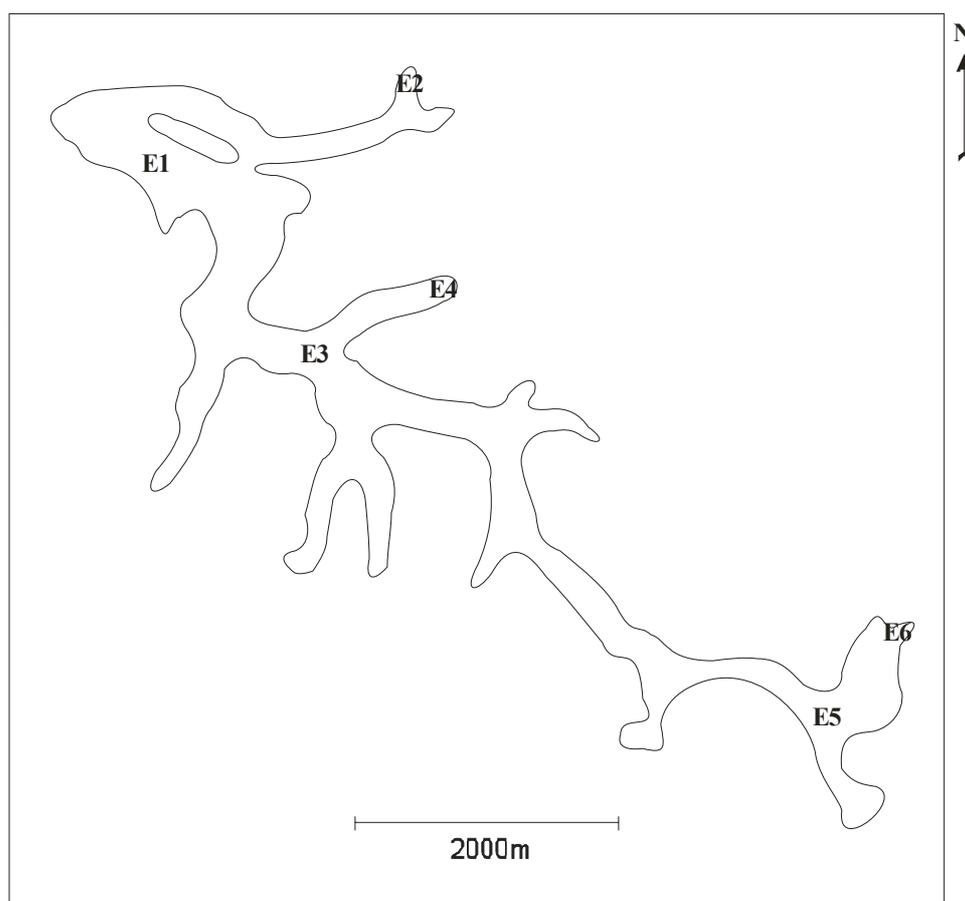


Figura 1 - Lago Aníbal com a localização das estações de amostragem E1 a E6.

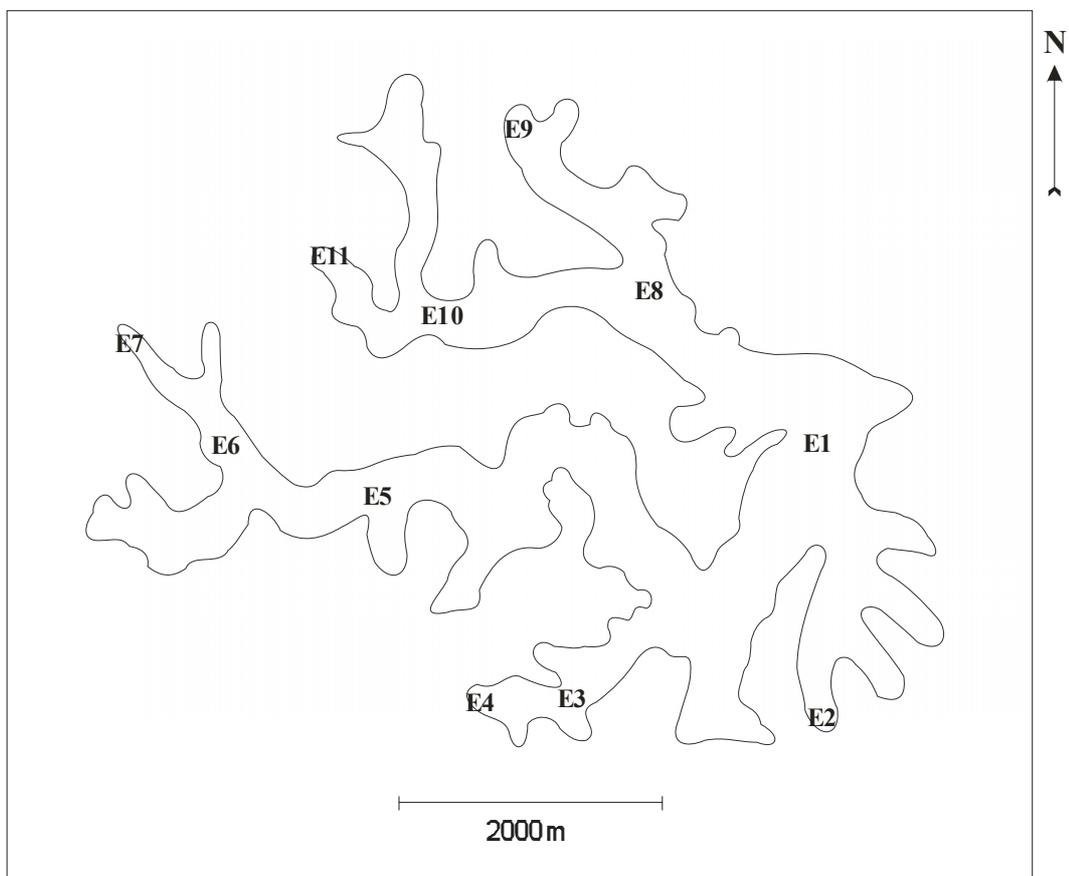


Figura 2 - Lago Dom Helvécio com a localização das estações de amostragem E1 a E11..

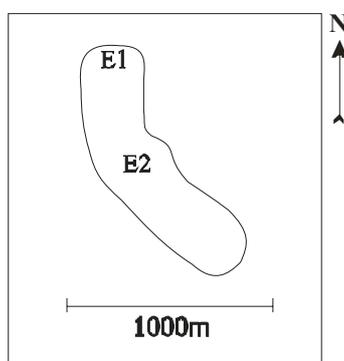


Figura 3 - Lago Carvão com Azeite com a localização das estações de amostragem E1 e E2.

## **RESULTADOS**

### **LAGO ANÍBAL**

A profundidade máxima do lago na estação E1 foi de 12,5m em maio de 2000. As estações E1 e E3, localizadas na região limnética, tiveram maiores profundidades que a estação E5 (também limnética) durante todo o período de estudo. Para as estações localizadas na região litorânea (E2, E4 e E6), registrou-se um valor máximo de 1,5m de profundidade. Com relação à transparência da água e extensão da zona eufótica (Zeu), E2, E4 e E6 sempre apresentaram transparência total e, conseqüentemente, na coluna d'água os valores de extensão da zona eufótica foram coincidentes com a profundidade total. Nas estações limnéticas os valores de transparência tiveram pequena amplitude de variação (2,25 a 2,6m) em todo o período de estudo, exceção feita ao valor registrado em E5 em maio de 2000, cujo valor foi coincidente com a profundidade total em todas as coletas realizadas (Fig. 4).

Os resultados referentes à temperatura da água estão apresentados nas Figuras 5 e 6. Os menores valores foram observados em junho e agosto de 1999 e maiores em fevereiro de 2000. Com relação aos perfis térmicos, nos meses de junho e agosto de 1999 e maio de 2000 observou-se isoterмия, ao passo que em fevereiro de 2000 observou-se a ocorrência de estratificação térmica. Nos meses de junho e agosto de 1999, maiores valores de temperatura da água foram observados nas estações E5 e E6 do que nas demais estações.

As Figuras 7 e 8 ilustram os resultados obtidos para a concentração de oxigênio dissolvido na água. De forma geral, as menores concentrações de oxigênio dissolvido foram obtidas em junho de 1999 e em maio de 2000 enquanto as maiores foram

registradas em agosto de 1999 e fevereiro 2000. Para as coletas realizadas em junho de 1999 e agosto de 1999 houve maior homogeneidade na distribuição vertical do oxigênio dissolvido, ao passo que, nas amostragens efetuadas em fevereiro e maio de 2000, observou-se a presença de uma oxiclina nas estações situadas na região limnética (Fig.7). Na Figura 9 são apresentados os perfis de temperatura juntamente com os de oxigênio dissolvido na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas.

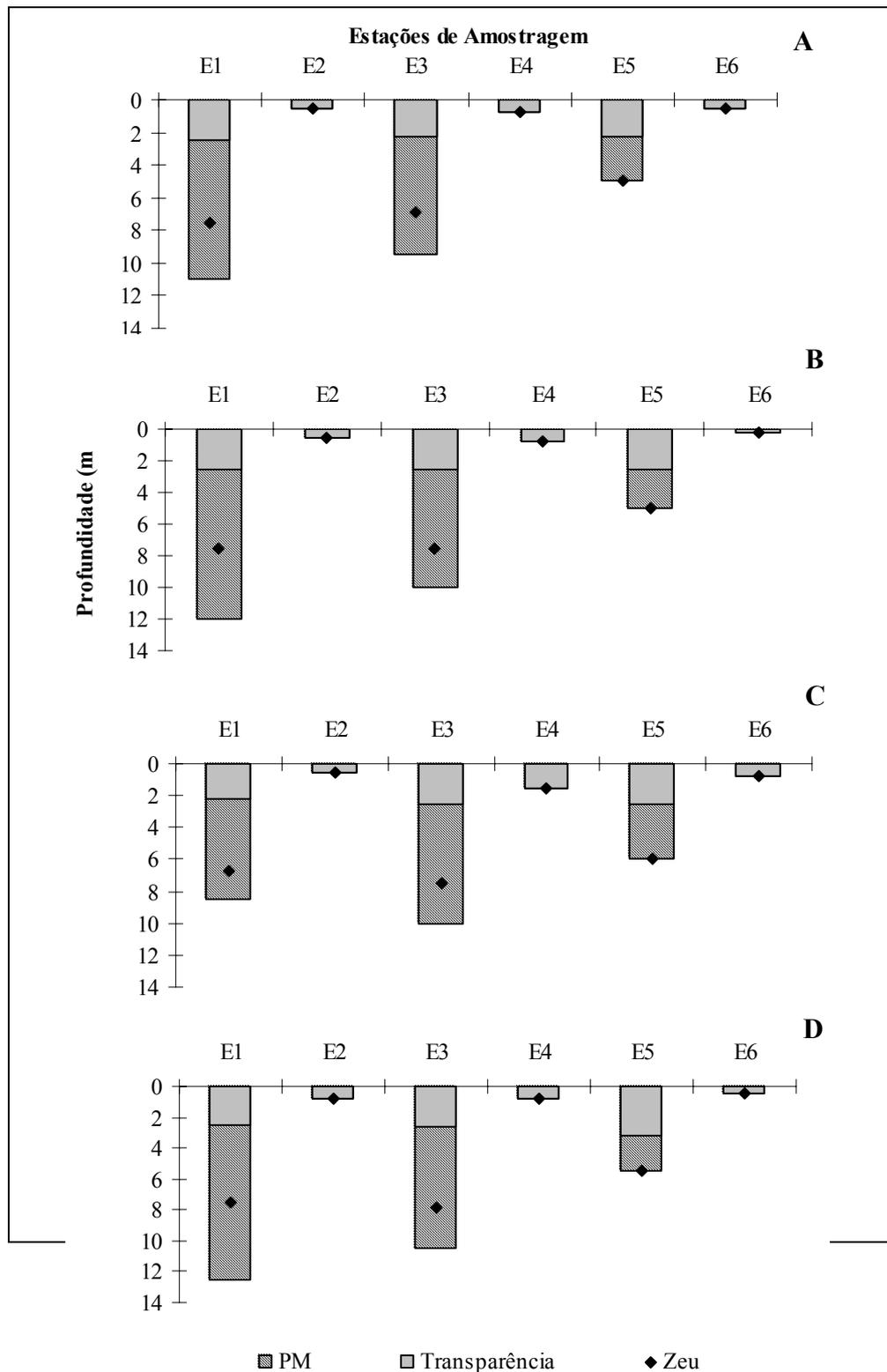




Figura 4 - Profundidade máxima (PM), transparência e extensão da zona eufótica (Zeu) obtidas para as estações E1 a E6 do lago Aníbal durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

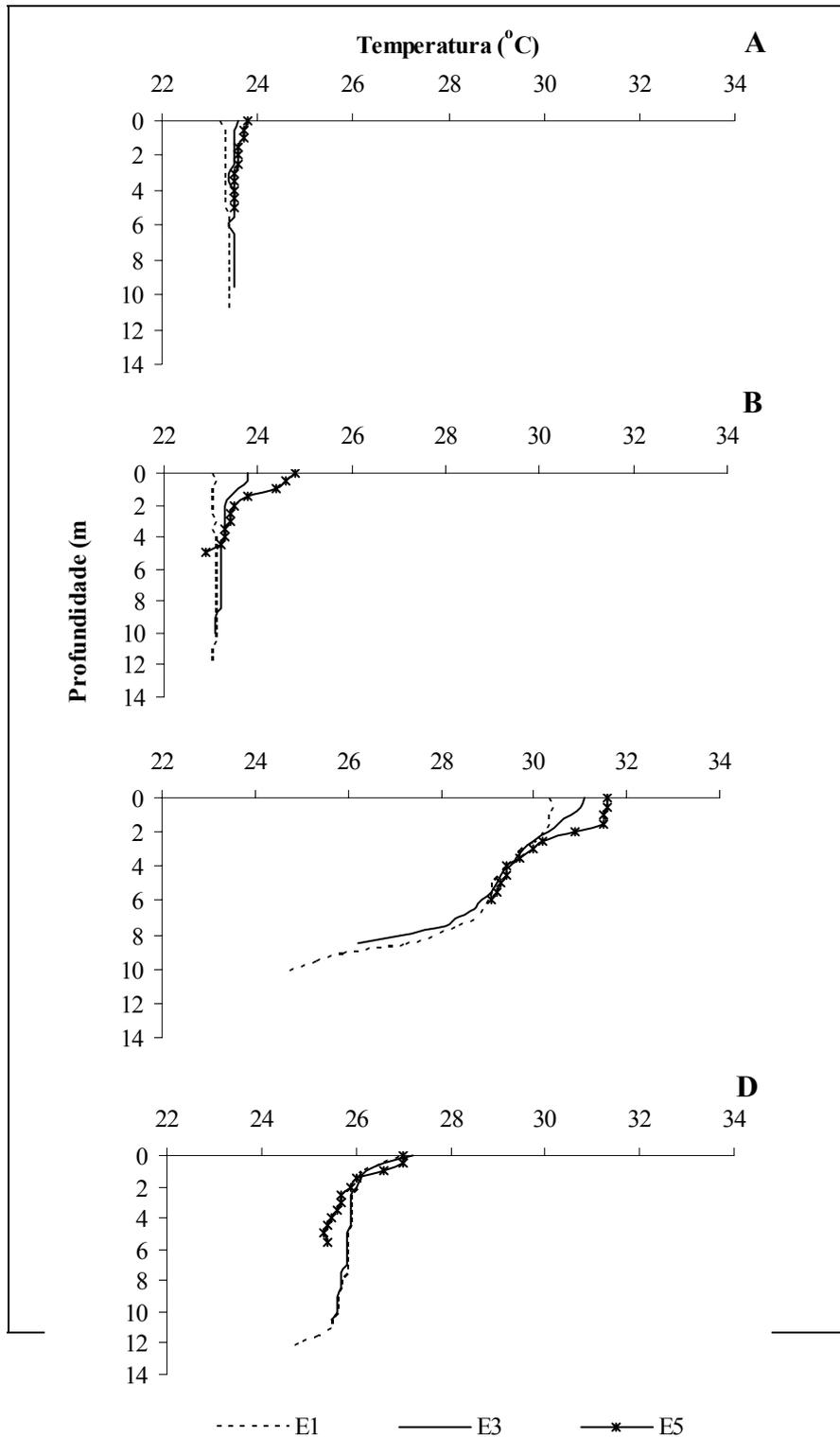




Figura 5 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos nas estações limnéticas (E1, E3 e E5) do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

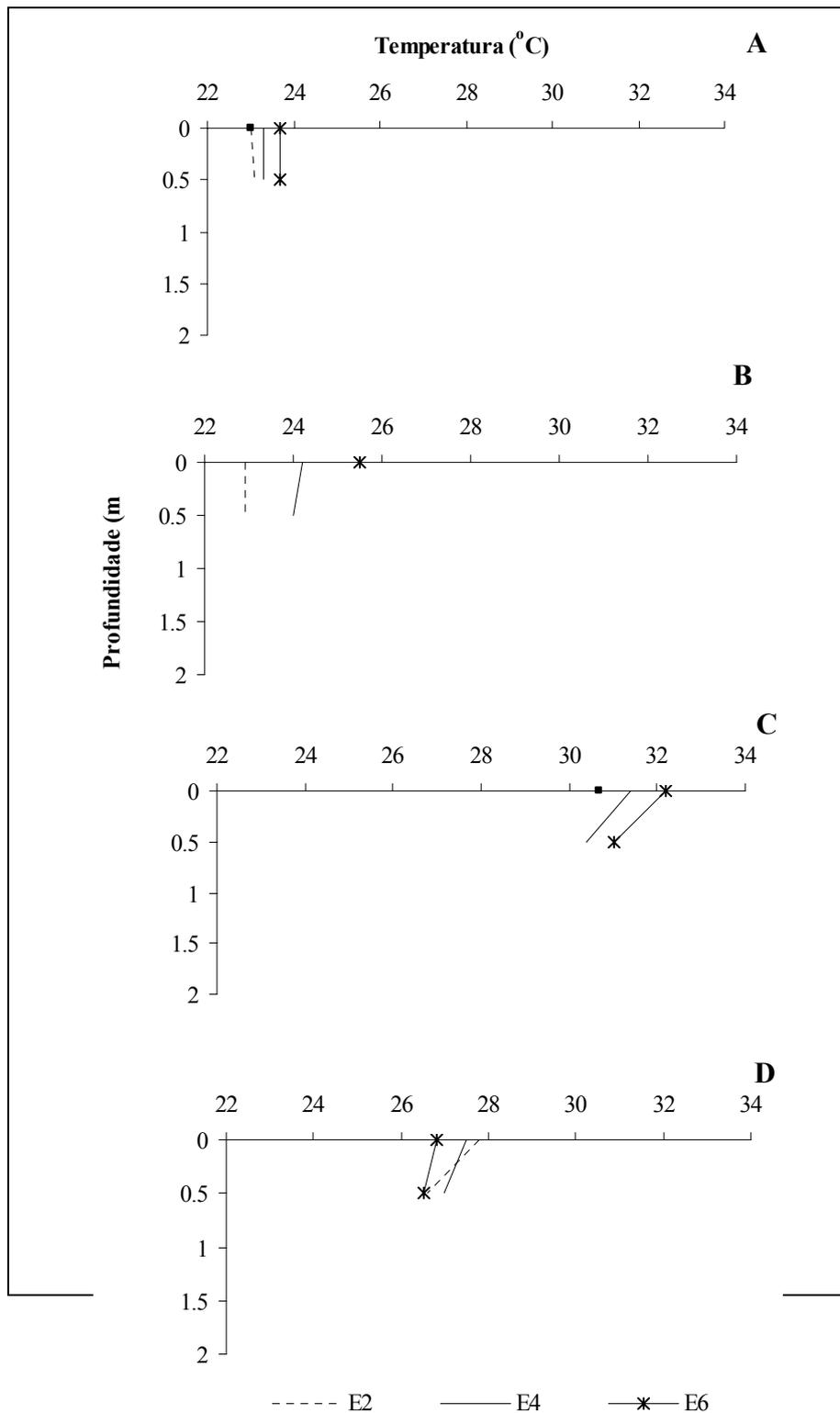




Figura 6 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos nas estações litorâneas (E2, E4 e E6) do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

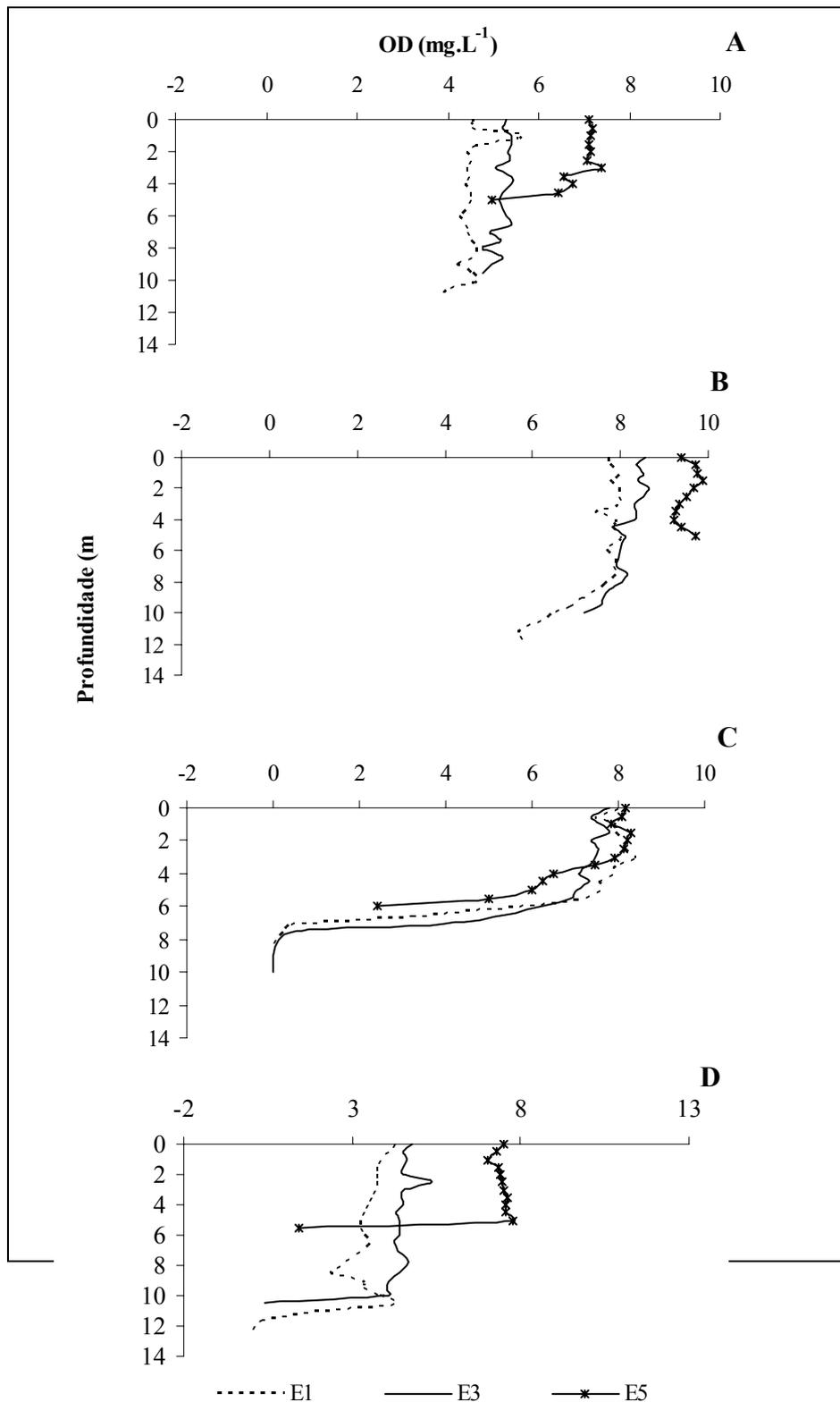




Figura 7 - Perfis de oxigênio dissolvido - OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos nas estações limnéticas (E1, E3 e E5) do lago Anibal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

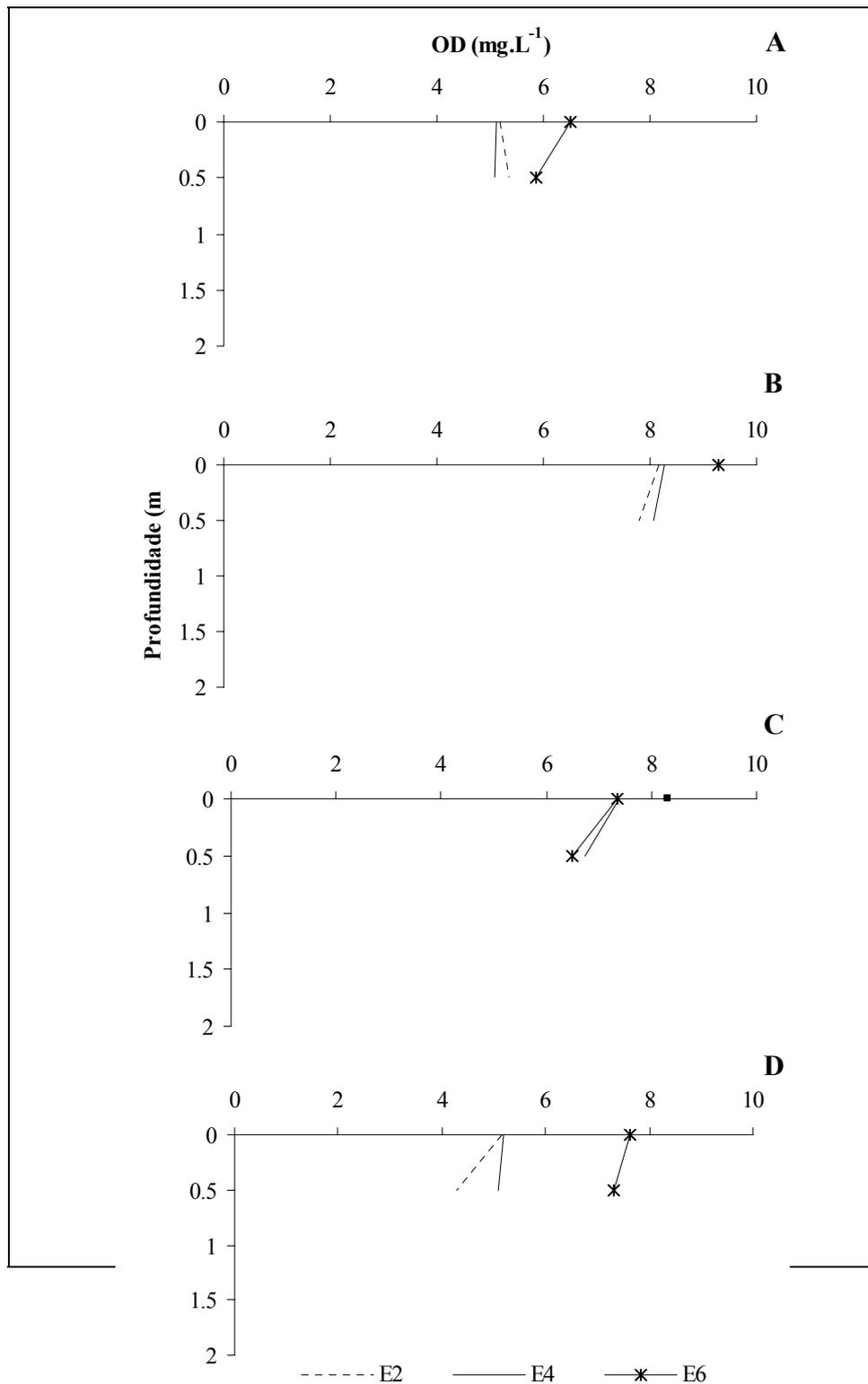
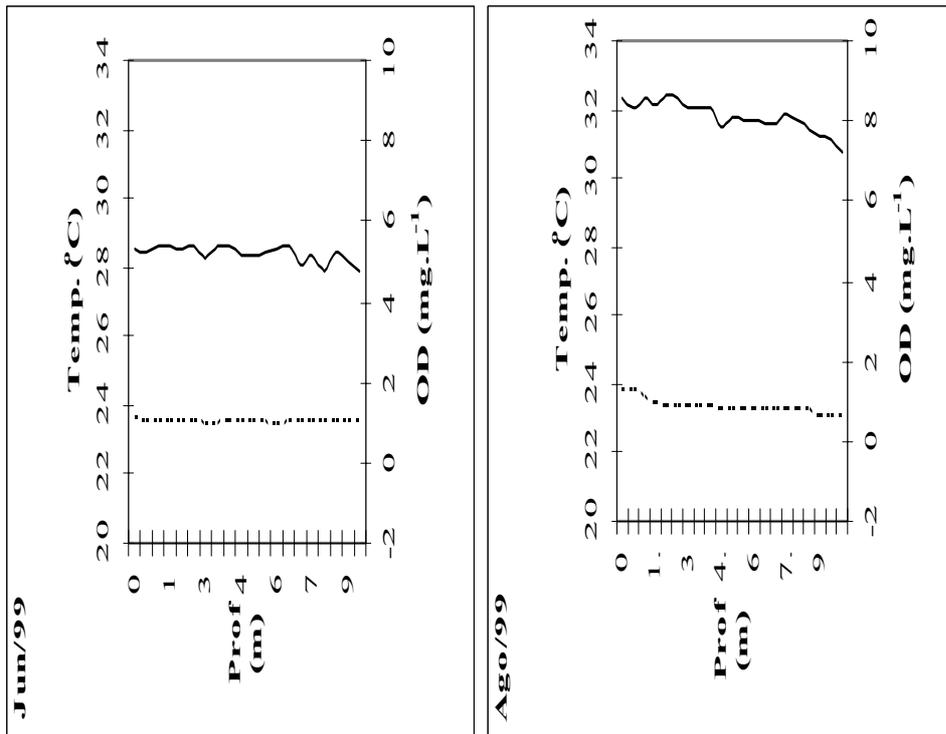




Figura 8 - Perfis de oxigênio dissolvido - OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos nas estações litorâneas (E2, E4 e E6) do lago Anibal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).



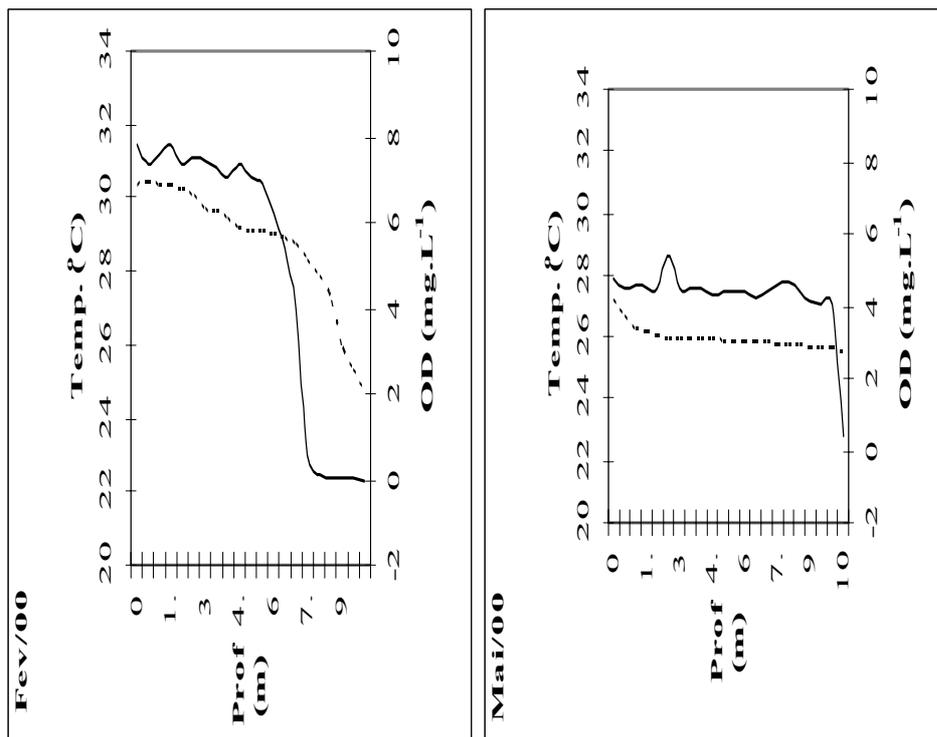


Figura 9 - Perfis verticais da temperatura (°C) e do oxigênio dissolvido - OD (mg.L<sup>-1</sup>) na coluna d'água durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal (- - - Temperatura; \_\_\_\_ OD).

No lago Aníbal a maior condutividade registrada ocorreu em junho de 1999 e a menor em fevereiro de 2000 (Tab. 4). O perfil vertical desta variável foi homogêneo nas amostragens de junho, agosto e maio de 2000. Em fevereiro de 2000, observou-se um aumento da condutividade a partir dos 8,0m de profundidade (Fig. 10). Nas estações E5 e E6 registraram-se valores de condutividade inferiores àqueles registrados nas demais estações, nas medições feitas em junho de 1999 e fevereiro de 2000.

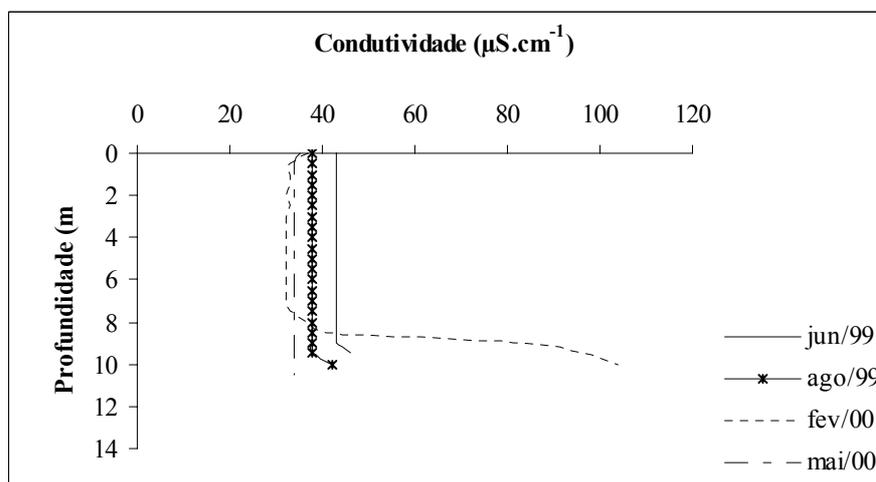


Figura 10 - Perfis de condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

O pH do lago Aníbal esteve sempre próximo da neutralidade na superfície da coluna d'água, havendo redução dos valores com o aumento da profundidade. O menor pH registrado foi de 4,7, na profundidade de 8,5m, para a estação E1 em maio de 2000 (Figs. 11 e 12).

Os resultados referentes às concentrações de nitrato, amônio e nitrogênio total encontram-se nas Figuras 13 e 14. Com relação à distribuição horizontal (Fig. 13), os menores valores de nitrato foram obtidos em agosto de 1999 e os maiores, foram registrados nas estações E5 e E6, ambos na coleta realizada em junho de 1999. As menores concentrações de amônio foram registradas na estação E5 em maio de 2000 e as maiores na estação E3 em fevereiro de 2000. Em todas as amostragens, nas estações E5 e E6 sempre foram registrados menores valores de amônio do que nas demais estações. As concentrações de nitrogênio total foram mais baixas em maio de 2000 e mais elevadas na amostragem realizada em fevereiro de 2000, principalmente na estação E3. Em relação à distribuição vertical das formas nitrogenadas na estação E3 (Fig. 14),

Tabela 4 - Valores obtidos da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) na coluna d'água durante as quatro coletas realizadas nas seis estações de amostragem no lago Aníbal.

Profundidade (m)	Junho/1999						Agosto/1999					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E1	E2	E3	E4	E5	E6
0,0	45	43	43	43	41	41	42	38	38	38	38	38
0,5	44	43	43	43	41	41	42	38	38	38	38	
1,0	44		43		41		40		38		38	
1,5	44		43		41		39		38		38	
2,0	44		43		41		39		38		38	
2,5	44		43		41		39		38		38	
3,0	44		43		41		39		38		38	
3,5	44		43		41		39		38		38	
4,0	44		43		41		39		38		38	
4,5	44		43		41		39		38		38	
5,0	44		43		42		39		38		38	
5,5	44		43				39		38			
6,0	44		43				39		38			
6,5	44		43				39		38			
7,0	44		43				39		38			
7,5	44		43				39		38			
8,0	44		43				39		38			
8,5	44		43				39		38			
9,0	44		43				39		38			
9,5	44		46				39		38			
10,0	44						39		42			
10,5	44						39					
11,0	44						39					
11,5							39					
12,0							39					

Tabela 4 - continuação

Profundidade (m)	Fevereiro/2000						Maio/2000					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E1	E2	E3	E4	E5	E6
0,0	32	32	37	32	32	32	37	35	35	34	31	30
0,5	32		33	35	32	39	37	35	34	34	31	30
1,0	32		33		32		37		34		31	
1,5	32		33		32		37		34		31	
2,0	32		32		32		37		34		31	
2,5	32		33		32		37		34		30	
3,0	33		32		32		37		34		30	
3,5	32		32		32		37		34		30	
4,0	32		32		32		37		34		30	
4,5	32		32		32		37		34		30	
5,0	32		32		32		37		34		30	
5,5	32		32		32		37		34		30	
6,0	32		32		33		37		34			
6,5	32		32				37		34			
7,0	32		32				37		34			
7,5	32		33				39		34			
8,0	36		37				40		34			
8,5	50		41				39		34			
9,0			83				38		34			
9,5			96				37		34			
10,0			104				37		34			
10,5							37		34			
11,0							49					
11,5							112					
12,0							147					
12,5							214					

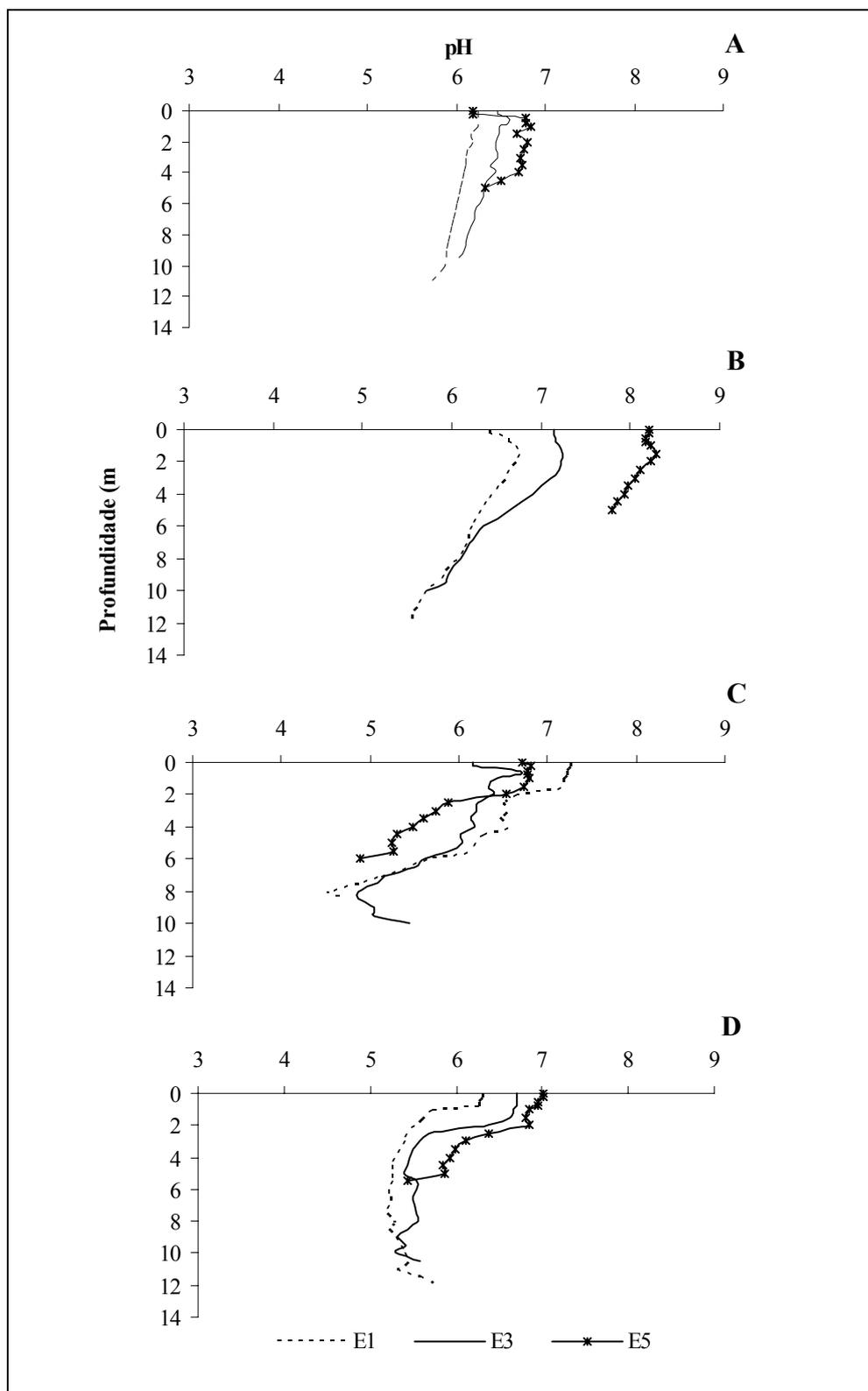


Figura 11 - Perfis de pH nas estações limnéticas (E1, E3 e E5) durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) do lago Aníbal.

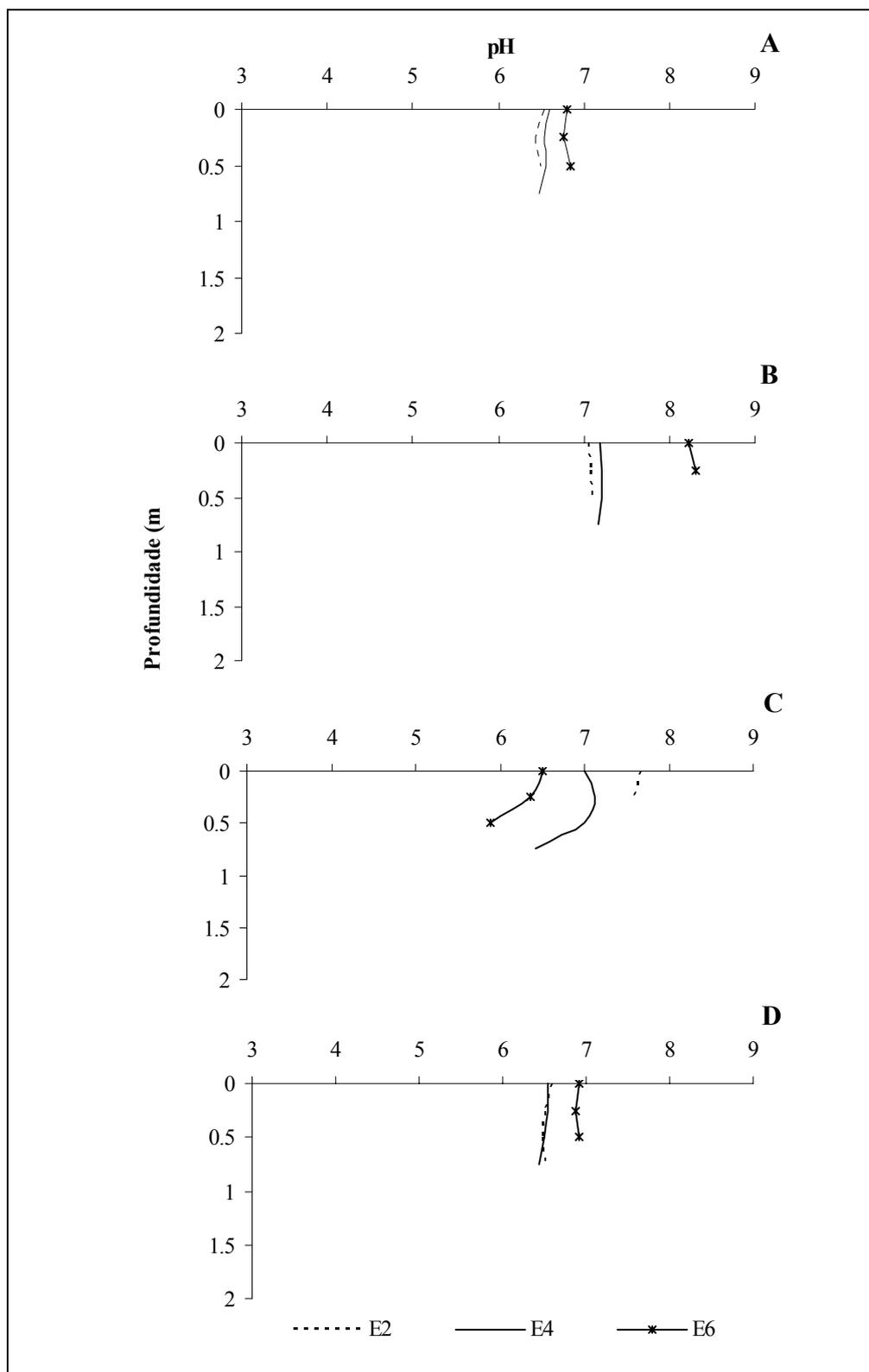


Figura 12 - Perfis de pH nas estações litorâneas (E2, E4 e E6) durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) do lago Aníbal.

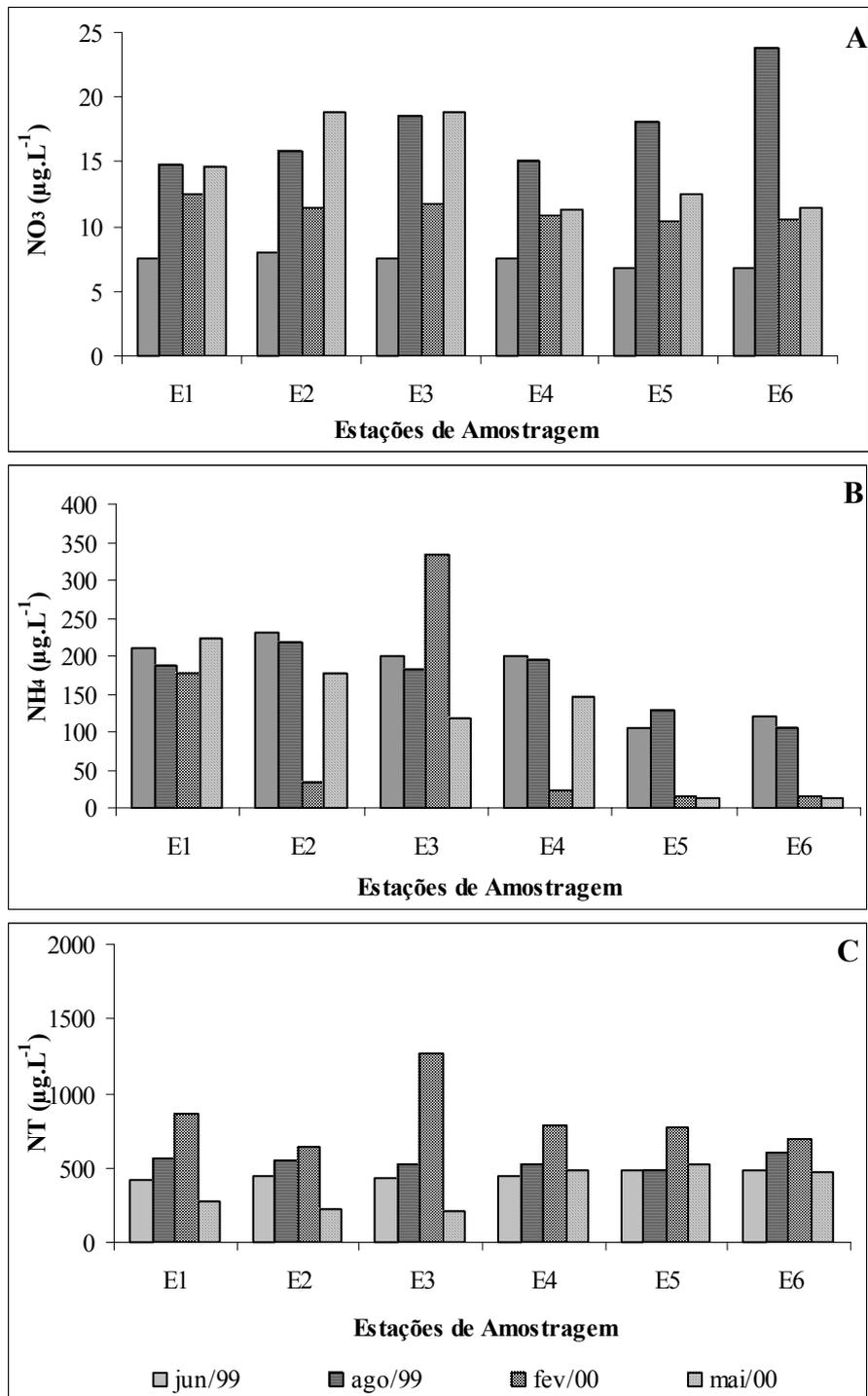


Figura 13 - Distribuição espacial e temporal de nitrato - NO<sub>3</sub> (A), amônio - NH<sub>4</sub> (B) e nitrogênio total - NT (C) nas seis estações e quatro épocas de amostragem realizadas no lago Aníbal.

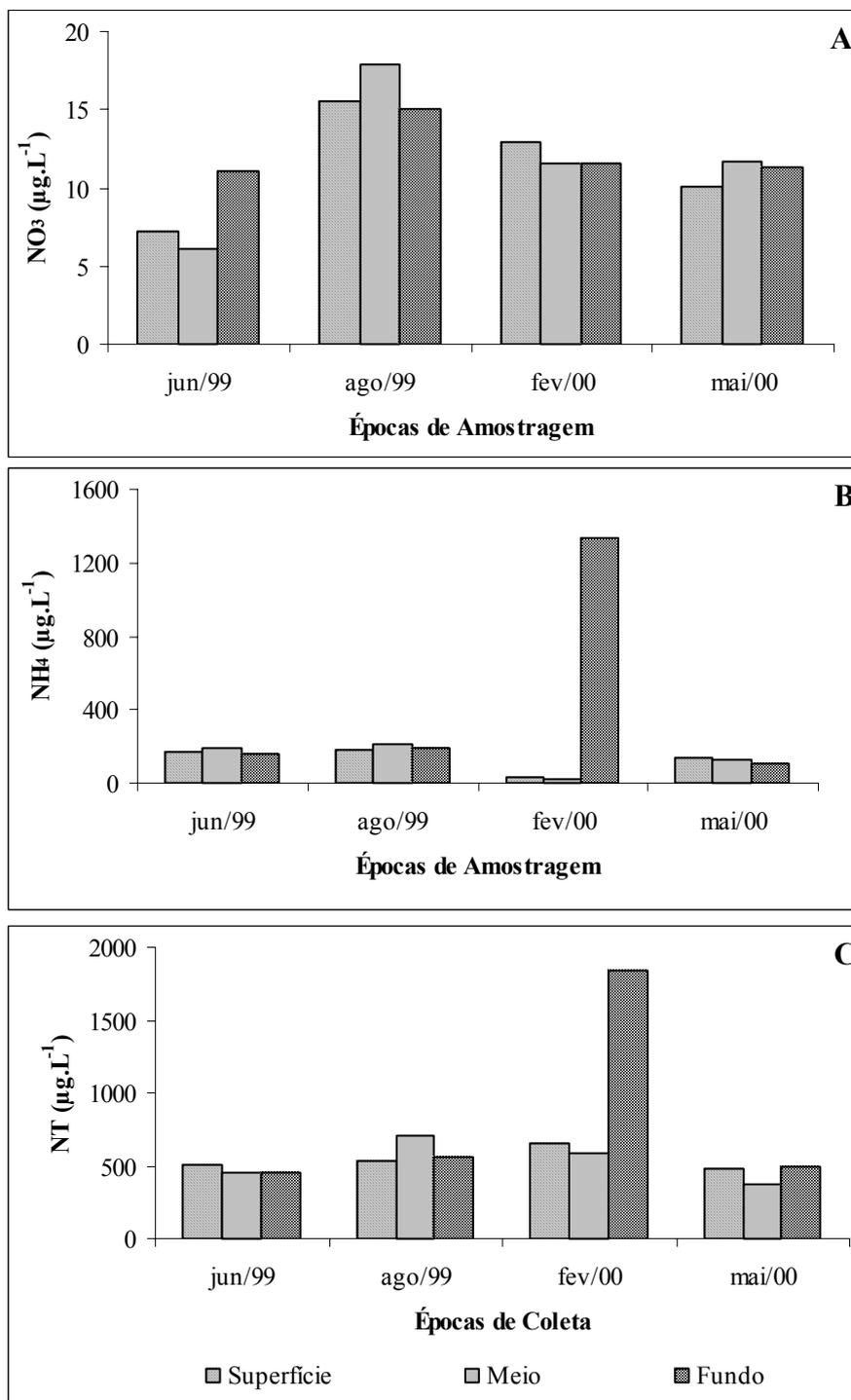


Figura 14 - Distribuição vertical do nitrato - NO<sub>3</sub> (A), amônio - NH<sub>4</sub> (B) e nitrogênio total - NT (C) na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

as maiores concentrações de nitrato registradas ocorreram no meio da coluna d'água (5,0m) em agosto de 1999 e as de amônio e nitrogênio total na camada mais profunda (10,0m), em fevereiro de 2000. As concentrações de nitrito estiveram sempre abaixo do nível de detecção do método adotado (limite =  $1,52\mu\text{gNO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ ).

As maiores concentrações de fósforo total dissolvido foram observadas na estação E5 em maio de 2000, e as menores em junho e agosto de 1999. Para o fósforo total, as maiores concentrações foram verificadas em fevereiro de 2000 (nas estações E1 a E3) e em maio de 2000 nas estações E4 a E6 (Figs. 15A e 15B). Na estação, a concentração de fósforo total foi maior na profundidade correspondente ao meio da coluna d'água e menor na superfície, com exceção da concentração registrada em fevereiro de 2000 (Fig. 16B). As concentrações de fósforo dissolvido total por outro lado, não tiveram um padrão de distribuição vertical definido (Fig. 16A). Os resultados referentes ao ortofosfato estiveram, quase sempre abaixo do nível de detecção do método (limite =  $3,26\mu\text{gPO}_4\cdot\text{L}^{-1}$ ). A concentração de ortossilicato variou de 1,95 a  $5,48\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . De forma geral, as maiores concentrações foram observadas em agosto de 1999 e fevereiro de 2000 (Fig. 15C). Com relação à distribuição vertical deste nutriente, geralmente os menores valores ocorreram no fundo da coluna d'água, com exceção do mês de agosto de 1999 (Figs. 16C).

A razão NT/PT variou de 9,88, registrada na estação E2 em maio de 2000, a 51,90 nesta mesma estação, registrada em fevereiro de 2000, comparando-se as concentrações entre as estações de amostragem no eixo horizontal (Fig. 17). Analisando-se a distribuição vertical destes nutrientes na estação E3 observa-se uma variação de 11,50 a 58,18 nesta razão. As maiores razões foram encontradas geralmente na superfície da coluna d'água, com exceção feita em fevereiro de 2000, e as menores no meio da coluna d'água, com exceção de agosto de 1999 (Fig. 18).

As maiores concentrações de material em suspensão foram observados nas amostragens realizadas em junho de 1999 e em fevereiro de 2000 e as menores em maio de 2000. O material suspenso conteve uma maior fração de matéria orgânica em junho e agosto de 1999, ao passo que no material coletado em fevereiro e em maio de 2000 a contribuição de matéria inorgânica aumentou, (Fig. 19). Analisando-se a distribuição vertical de material em suspensão na estação E3, observa-se essa variação sazonal na

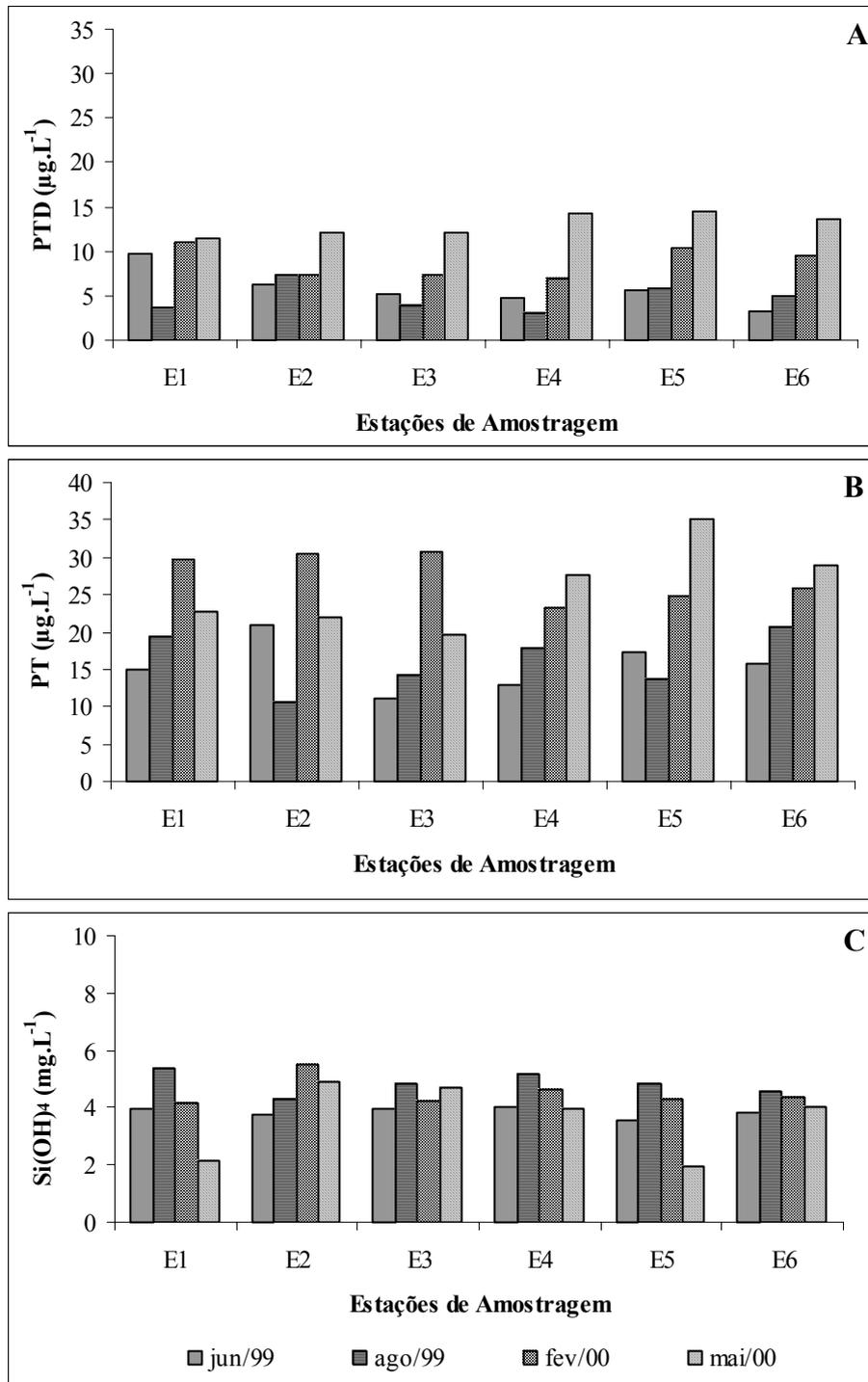


Figura 15 - Variação espacial e temporal do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato - Si(OH)<sub>4</sub> (C) nas seis estações e quatro épocas de amostragem realizadas no lago Aníbal.

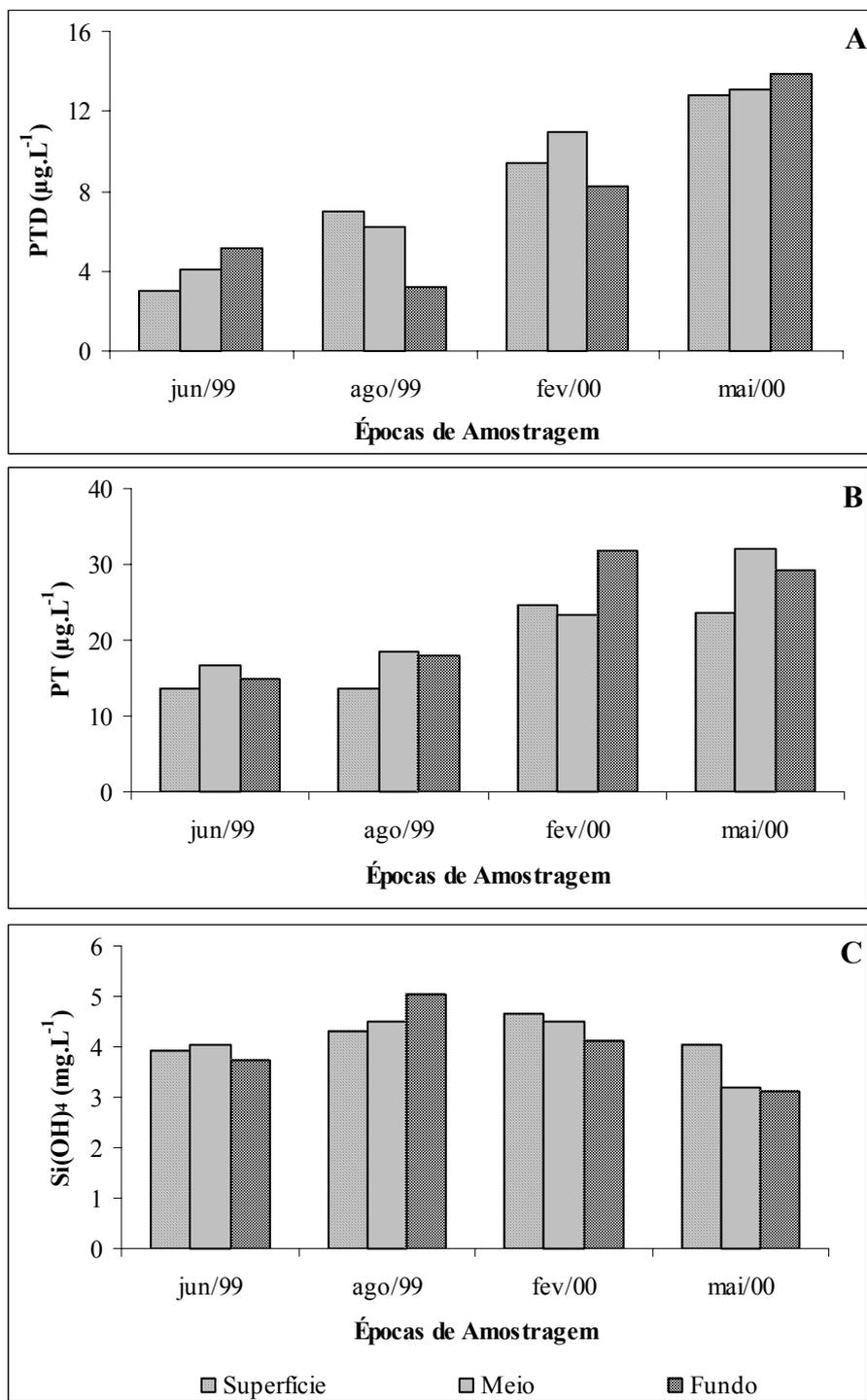


Figura 16 - Distribuição vertical do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato - Si(OH)<sub>4</sub> (C) na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

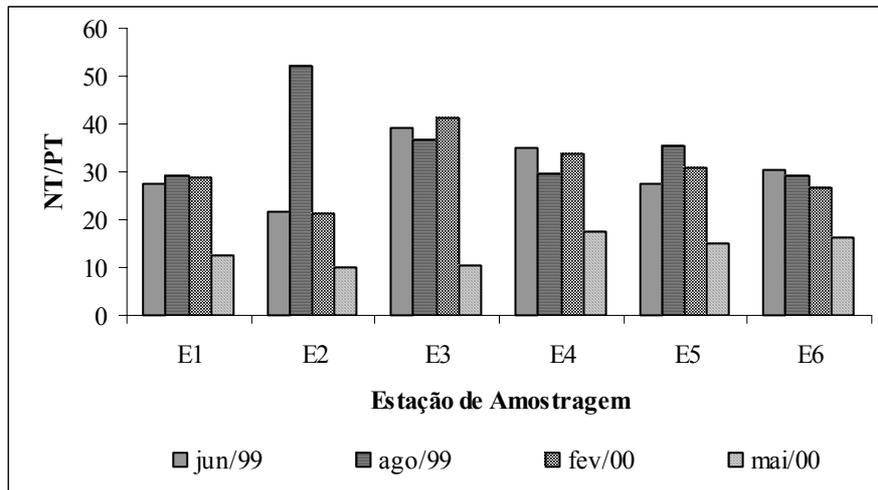


Figura 17 - Variação espacial e temporal da razão atômica NT/PT nas seis estações e quatro épocas de amostragem realizadas no lago Aníbal.

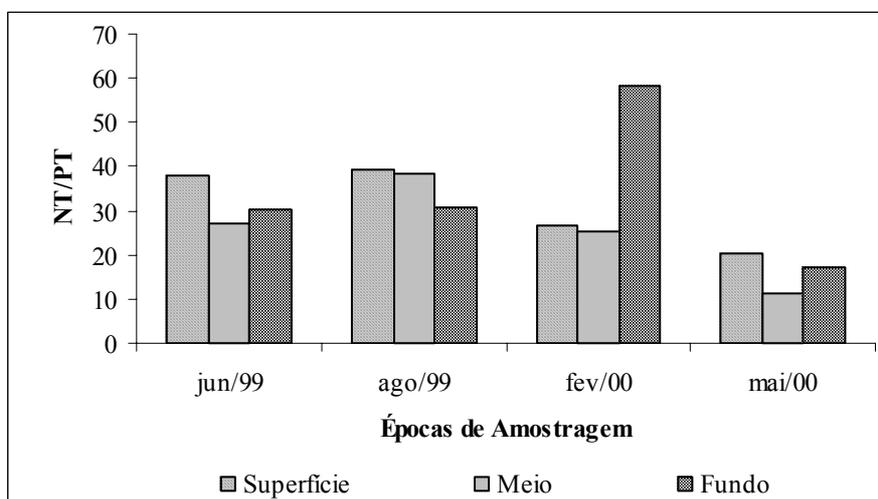


Figura 18 - Variação vertical da razão atômica NT/PT na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

proporção de matéria orgânica e inorgânica nas três profundidades amostradas, não se observando, contudo, um padrão de distribuição vertical definido (Fig. 20).

Os Índices de Estado Trófico estimados para o lago Aníbal variaram de 38,8 a 55,4, sendo que os maiores índices foram observados nas amostragens realizadas em fevereiro e maio de 2000 (Tab. 5).

Tabela 5 – Índices de Estado Trófico (IET) para as estações amostradas nas quatro coletas realizadas no lago Aníbal em 1999 e 2000.

	<b>Junho de 1999</b>	<b>Agosto de 1999</b>	<b>Fevereiro de 2000</b>	<b>Mai de 2000</b>
<b>E1</b>	43,3086	46,88121	53,11005	49,13069
<b>E2</b>	48,04975	38,10904	53,42279	48,70798
<b>E3</b>	38,78398	42,34138	53,57666	47,12261
<b>E4</b>	40,94181	45,60962	49,54136	51,95877
<b>E5</b>	45,34128	42,00401	50,51964	55,44052
<b>E6</b>	43,91916	47,82349	51,07627	52,62785
<b>Valor Médio</b>	43,39076	43,79479	51,87446	50,8314

A análise multivariada (Análise de Componentes Principais - ACP) referente à distribuição das variáveis no eixo horizontal, no lago Aníbal, explicou 69,7% da variabilidade dos dados em seus três primeiros eixos. O componente 1 (33,9%) esteve associado positivamente, pela ordem, com a concentração de fósforo total, temperatura, concentração de matéria inorgânica e de fósforo total dissolvido e, negativamente, com a condutividade. O componente 2 (23,1%) esteve relacionado com a concentração de oxigênio dissolvido e com o pH enquanto o componente 3 (12,6%) esteve relacionado às concentrações de nitrogênio total. Em relação à ordenação das estações e épocas de coleta, o componente 1 evidenciou a existência de três grupos: o primeiro formado pelas coletas de junho e agosto de 1999, o segundo por maio de 2000 e o terceiro por fevereiro de 2000. Ainda em relação ao fator 1, as estações E6 na coleta de maio de 2000, E5 de fevereiro e de maio de 2000 se distanciaram das demais nas respectivas coletas. No fator 2, houve clara separação de junho e agosto de 1999 e também foram discriminadas as estações E5 e E6 das demais, em ambos os períodos de amostragem. Pelo fator 3, a separação de fevereiro e agosto de 2000 foi mais pronunciada (Figs. 21 e 22, Tabs. 6 e 7).

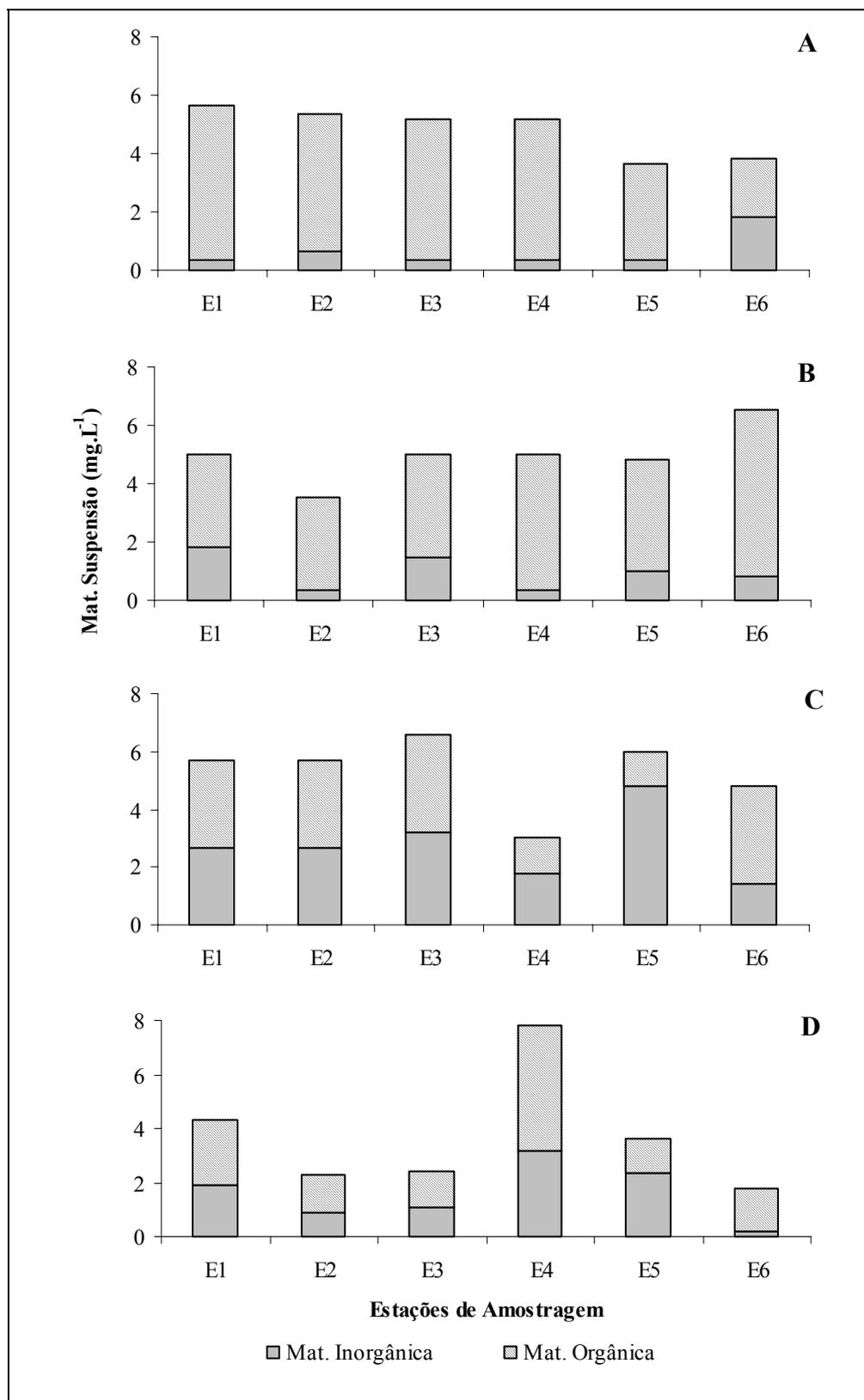


Figura 19 - Variação espacial do material em suspensão ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas seis estações de amostragem do lago Aníbal durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

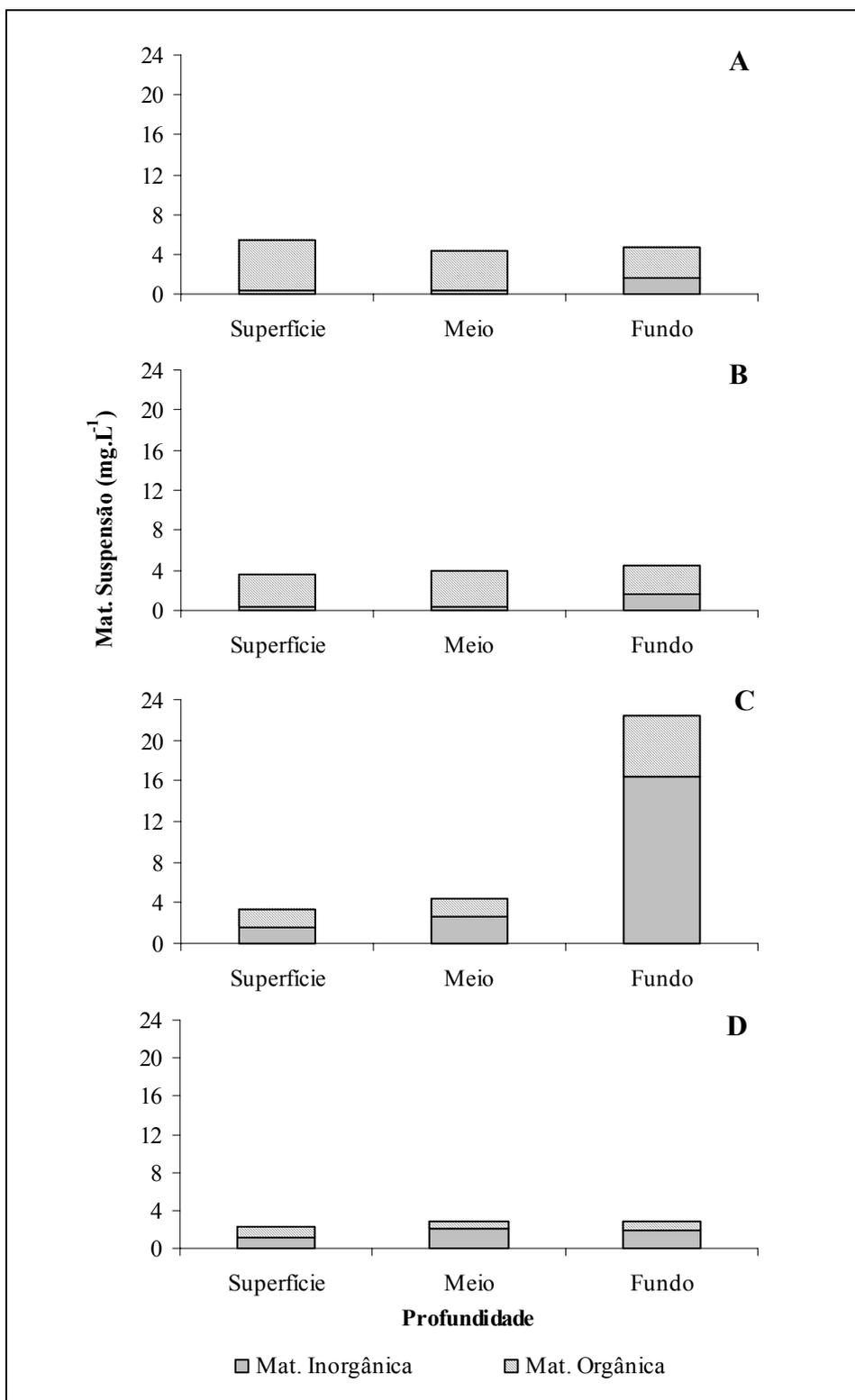


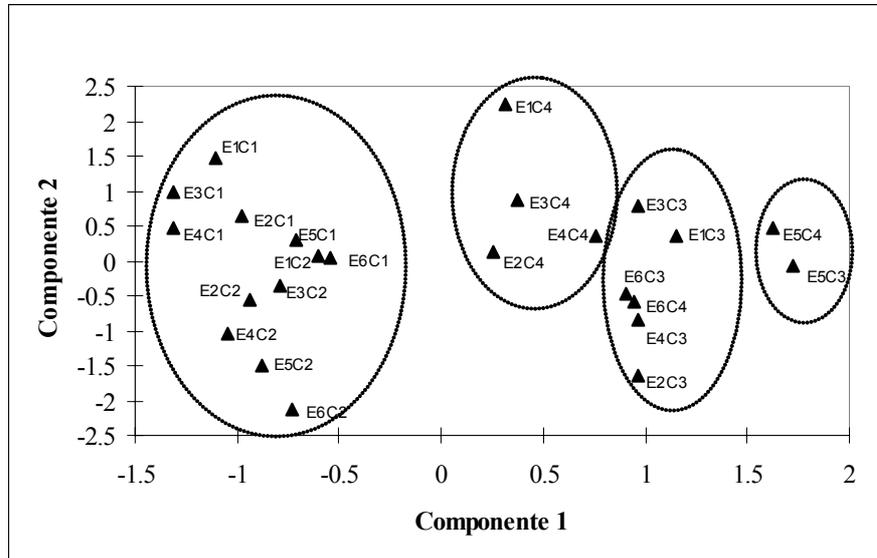
Figura 20 - Distribuição vertical do material em suspensão ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na estação E3 do lago Aníbal durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

Tabela 6 – Número de *Eigenvalues* (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e locais de amostragem.

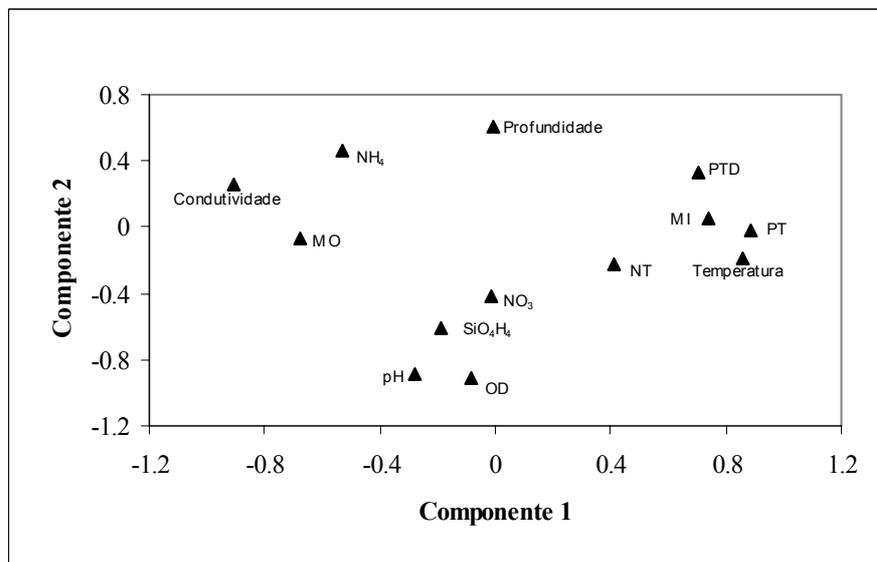
<b>Número do <i>Eigenvalue</i></b>	<b>Valor do <i>Eigenvalue</i></b>	<b>% total da variância</b>	<b>% acumulada da variância</b>
1	4,4168	33,9760	33,9760
2	3,0096	23,1511	57,1272
3	1,6434	12,6417	69,7689

Tabela 7 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, das seis estações de amostragem do lago Aníbal, com os componentes principais 1, 2 e 3 (\* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).

<b>Variáveis</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>
Profundidade	-0,00514	0,60801	0,328969
Temperatura	0,857426*	-0,192356	0,191843
OD	-0,083023	-0,905675*	0,061503
pH	-0,279214	-0,88675*	-0,140658
Condutividade	-0,910098*	0,260202	0,068652
NO <sub>3</sub>	-0,010693	-0,416734	-0,13914
NH <sub>4</sub>	-0,528456	0,462984	0,467078
NT	0,410864	-0,22206	0,80109*
PTD	0,704775*	0,331867	-0,437561
PT	0,88697*	-0,02176	0,059135
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,187761	-0,610995	0,324267
MI	0,737882*	0,049284	0,430756
MO	-0,676175	-0,070767	0,324349

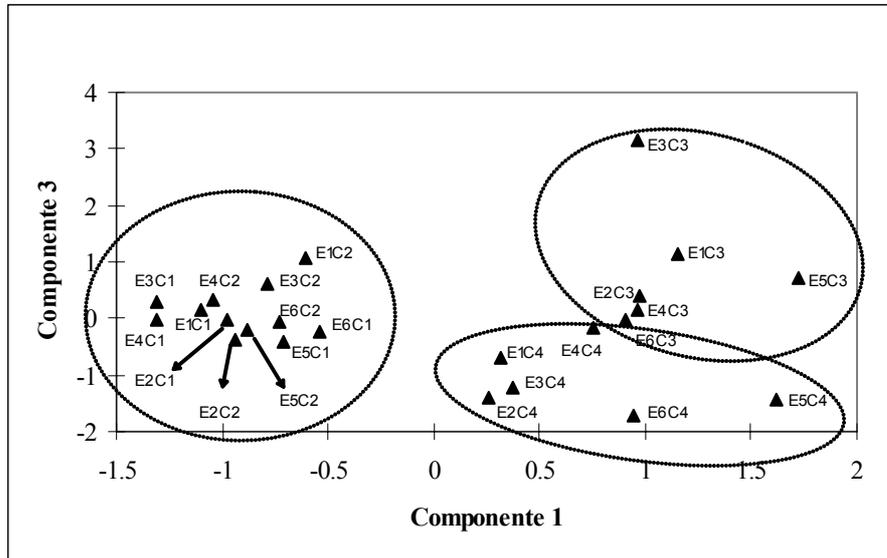


A

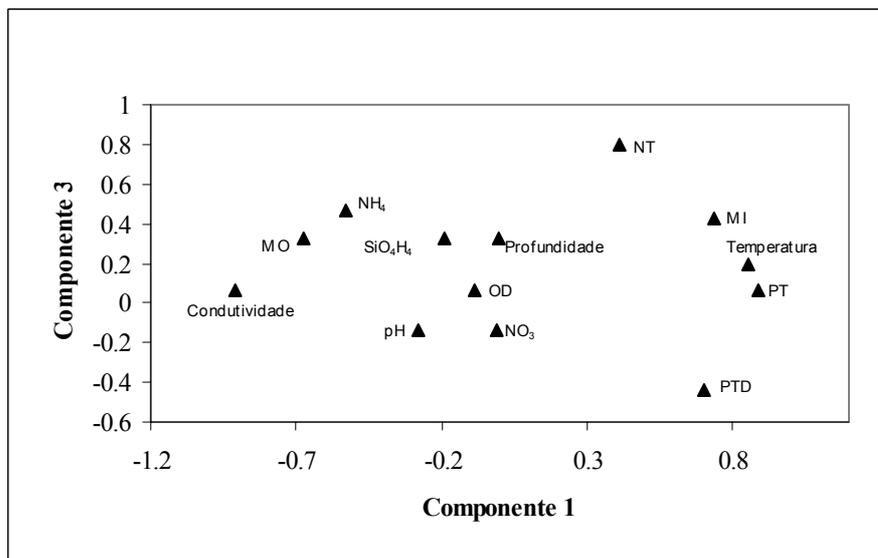


B

Figura 21 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Aníbal (Componente 1 x Componente 2). (C1: junho de 1999, C2: agosto de 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000).



A



B

Figura 22 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Aníbal (Componente 1 x Componente 3). (C1: junho de 1999, C2: agosto 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000).

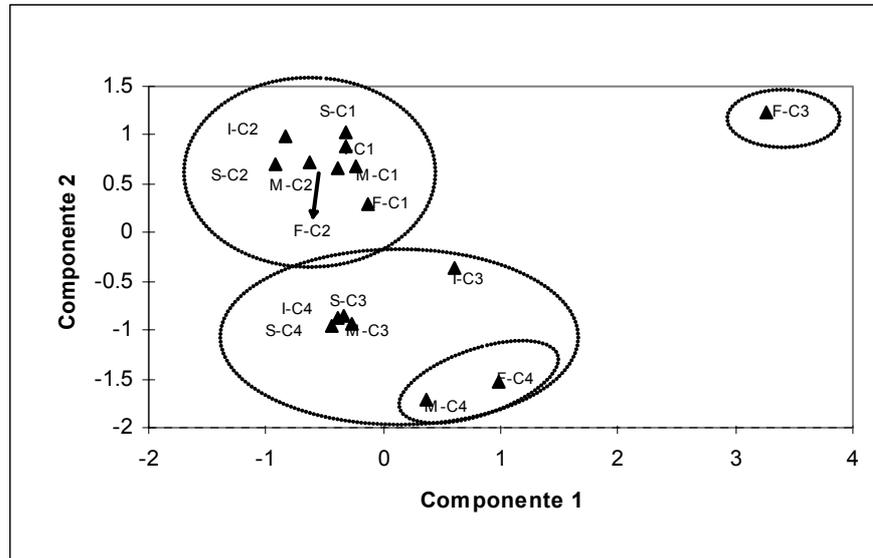
A Análise de Componentes Principais realizada com os dados referentes à estação E3 apresentou 82,1% de explicação, pelos três primeiros fatores (Tab. 8). O fator 1 (40,8%) esteve relacionado positivamente com o material em suspensão inorgânico, a temperatura e as concentrações de amônio e de nitrogênio total, e negativamente com a condutividade. O fator 2 (26,21%) associou-se positivamente à concentração de matéria orgânica do material em suspensão e negativamente com a concentração de fosfato total dissolvido, enquanto que o fator 3 (15,0%) foi relacionado às concentrações de ortossilicato. No componente 1 houve, principalmente, a separação da profundidade de fundo das demais profundidades em fevereiro de 2000. No componente 2, as coletas realizadas em junho e agosto de 1999 distanciaram-se daquelas de fevereiro e maio de 2000, ocorrendo ainda a separação das profundidades meio e fundo em maio de 2000. No fator 3, a amostragem de junho de 1999 e as profundidades meio e fundo para a coleta de maio de 2000 estiveram separadas das demais coletas (Figs. 23 e 24, Tab. 9).

Tabela 8 – Número de *Eigenvalues* (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e profundidades de amostragem na estação E3.

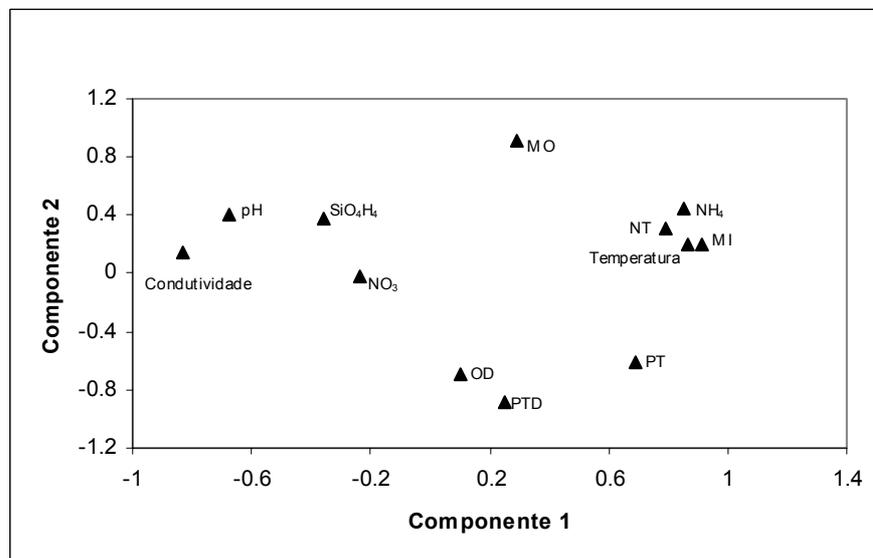
Número do <i>Eigenvalue</i>	Valor do <i>Eigenvalue</i>	% total da variância	% acumulada da variância
1	4,90243	40,8536	40,8536
2	3,14505	26,2087	67,0624
3	1,80367	15,0306	82,0903

Tabela 9 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, da estação E3 do lago Aníbal, com os componentes principais 1, 2 e 3 (\* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Temperatura	0,867134*	0,201259	0,137201
OD	0,104376	-0,687535	-0,431892
pH	-0,674554	0,408873	-0,061509
Condutividade	-0,833403*	0,140473	-0,407217
NO <sub>3</sub>	-0,23412	-0,024472	-0,696729
NH <sub>4</sub>	0,849049*	0,441674	-0,193205
NT	0,793555*	0,304797	-0,393923
PTD	0,250634	-0,881438	-0,084848
PT	0,688525	-0,613203	-0,238702
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,357711	0,376757	-0,775493*
MI	0,912867*	0,195705	-0,280869
MO	0,294017	0,907283*	0,079497

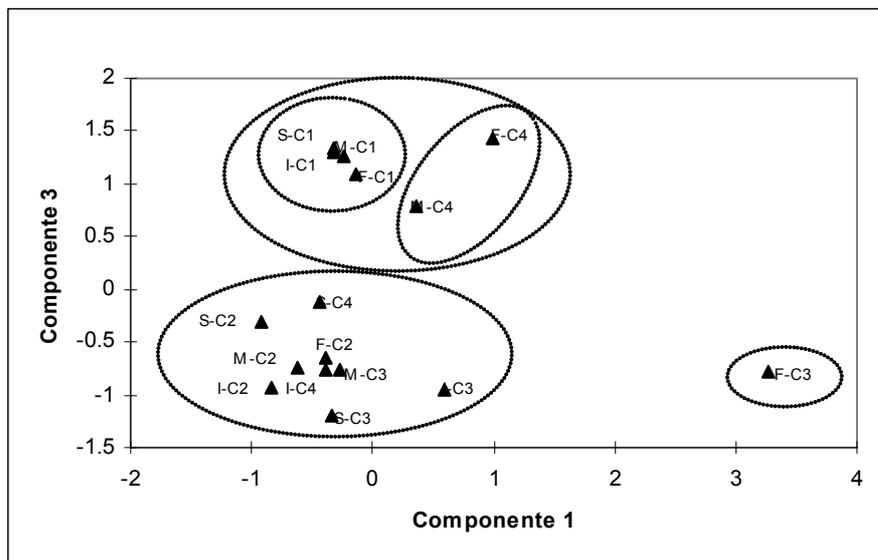


**A**

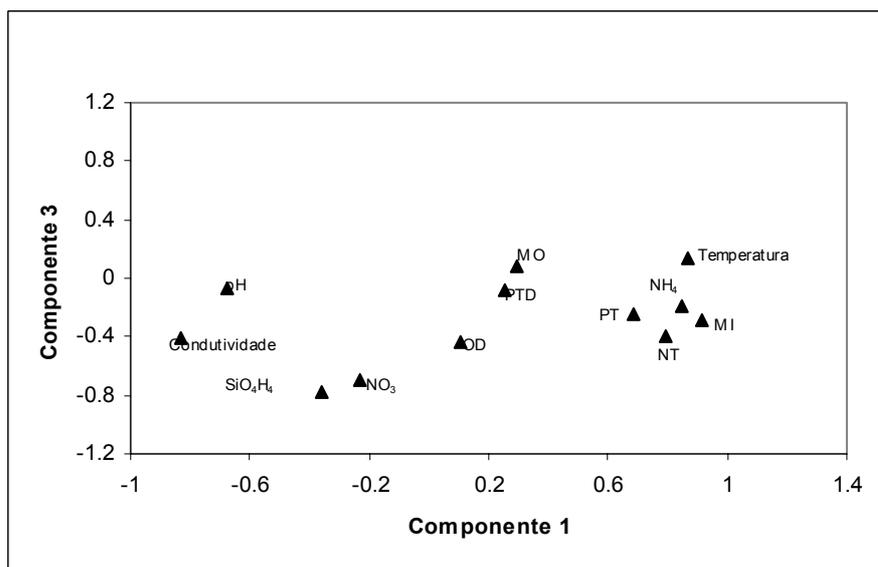


**B**

Figura 23 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E3 do lago Aníbal - Componente 1 x Componente 2. (I: amostragem integrada; S: superfície; M: meio; F: fundo; C1: junho de 1999; C2: agosto de 1999; C3: fevereiro de 2000; C4: maio de 2000).



**A**



**B**

Figura 24 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E3 do lago Aníbal -Componente 1 x Componente 3 (I: amostragem integrada; S: superfície; M: meio; F: fundo; C1: junho de 1999; C2: agosto de 1999; C3: fevereiro de 2000; C4: maio de 2000).

## LAGO DOM HELVÉCIO

Os dados referentes à profundidade, transparência e extensão da zona eufótica (Zeu) do lago Dom Helvécio são apresentados na Figura 25. A profundidade máxima atingida foi de 30,0m, na região limnética, estação E8, em maio de 2000. Entre as estações limnéticas, a estação E8 sempre apresentou maiores profundidades que as demais. Nas estações localizadas na região litorânea (E2, E4, E7, E9 e E11) registrou-se a profundidade máxima de 1,5m em todo o período amostrado. Com relação à transparência da água e extensão da zona eufótica (Zeu), nas estações litorâneas foi sempre observada transparência total e, portanto, a extensão da zona eufótica coincidiu com a profundidade total. Para as estações limnéticas os valores de transparência variaram de 2,2 a 4,2m. A extensão da zona eufótica variou de 6,5 a 12,7m. Na estação E6 observou-se que a zona eufótica foi correspondente à totalidade da coluna d'água em três das quatro coletas realizadas.

A temperatura da água no lago Dom Helvécio foi maior em fevereiro de 2000 e menor em junho e agosto de 1999. O perfil térmico foi homogêneo nas amostragens de junho e agosto de 1999 (isotérmico) e estratificado em fevereiro e maio de 2000, chegando a atingir uma diferença máxima de 8,8°C entre a temperatura da superfície e do fundo, nas estações limnéticas (Figs. 26 a 28).

As maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram observadas em fevereiro de 2000. Em todas as coletas houve a ocorrência de anoxia no fundo da coluna d'água, porém, em junho e agosto de 1999, esta ocorreu somente nas estações de maior profundidade (E1 e E8) (Figs. 29 a 31). Na Figura 32 estão apresentados os perfis de temperatura juntamente com os de oxigênio dissolvido obtidos para a estação E1 durante as quatro coletas.

Os resultados da condutividade elétrica da água encontram-se na Tabela 10 e Figura 33. Para a condutividade observou-se pequena variação durante o período avaliado, com os menores valores ocorrendo em fevereiro e maio de 2000 e os maiores em junho e agosto de 1999. O perfil vertical foi homogêneo em junho de 1999. Nas demais amostragens, observou-se aumento da condutividade nas maiores profundidades.

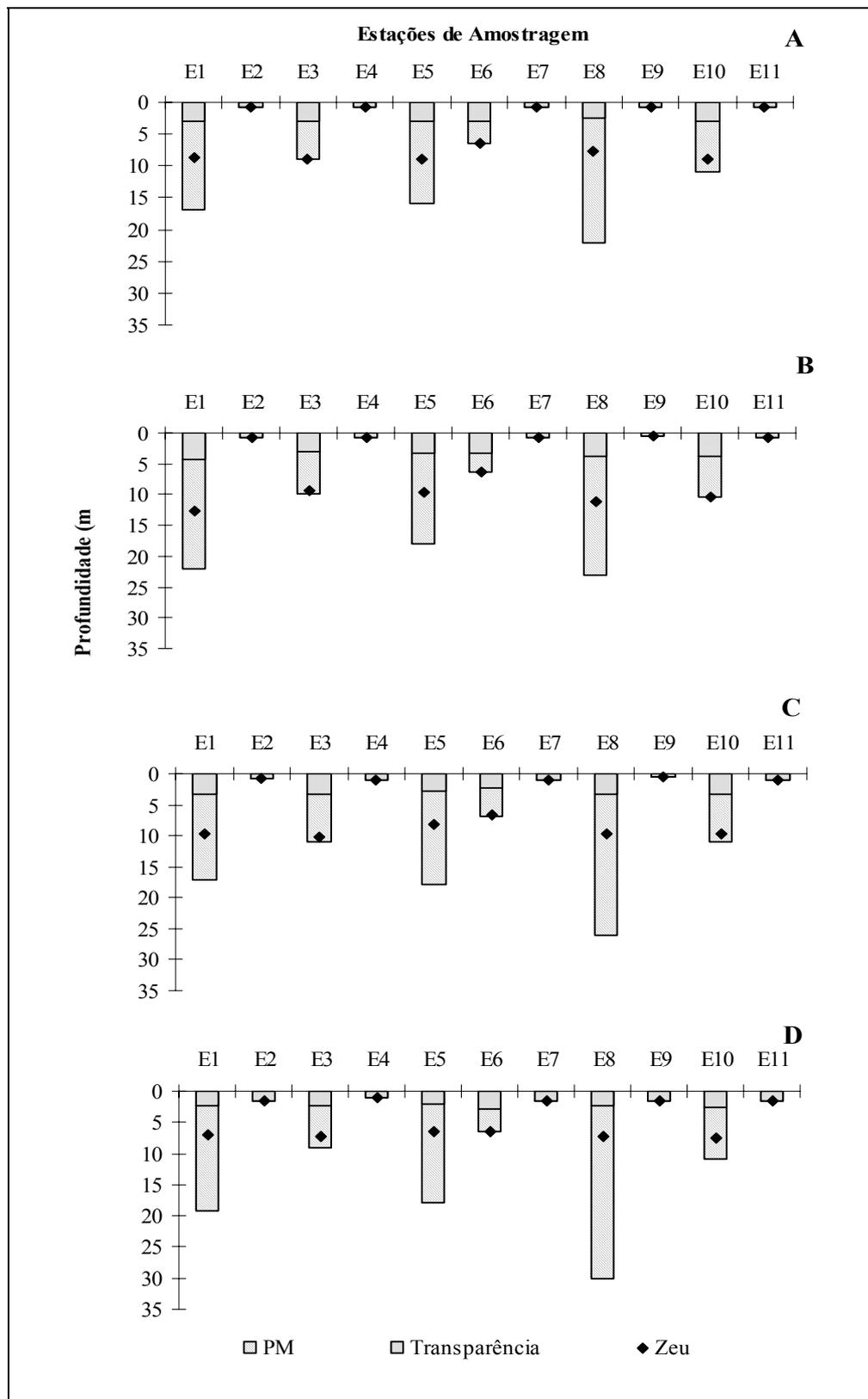


Figura 25 - Profundidade máxima (PM), transparência e zona eufótica (Zeu) obtidas para as estações de amostragem E1 a E11 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

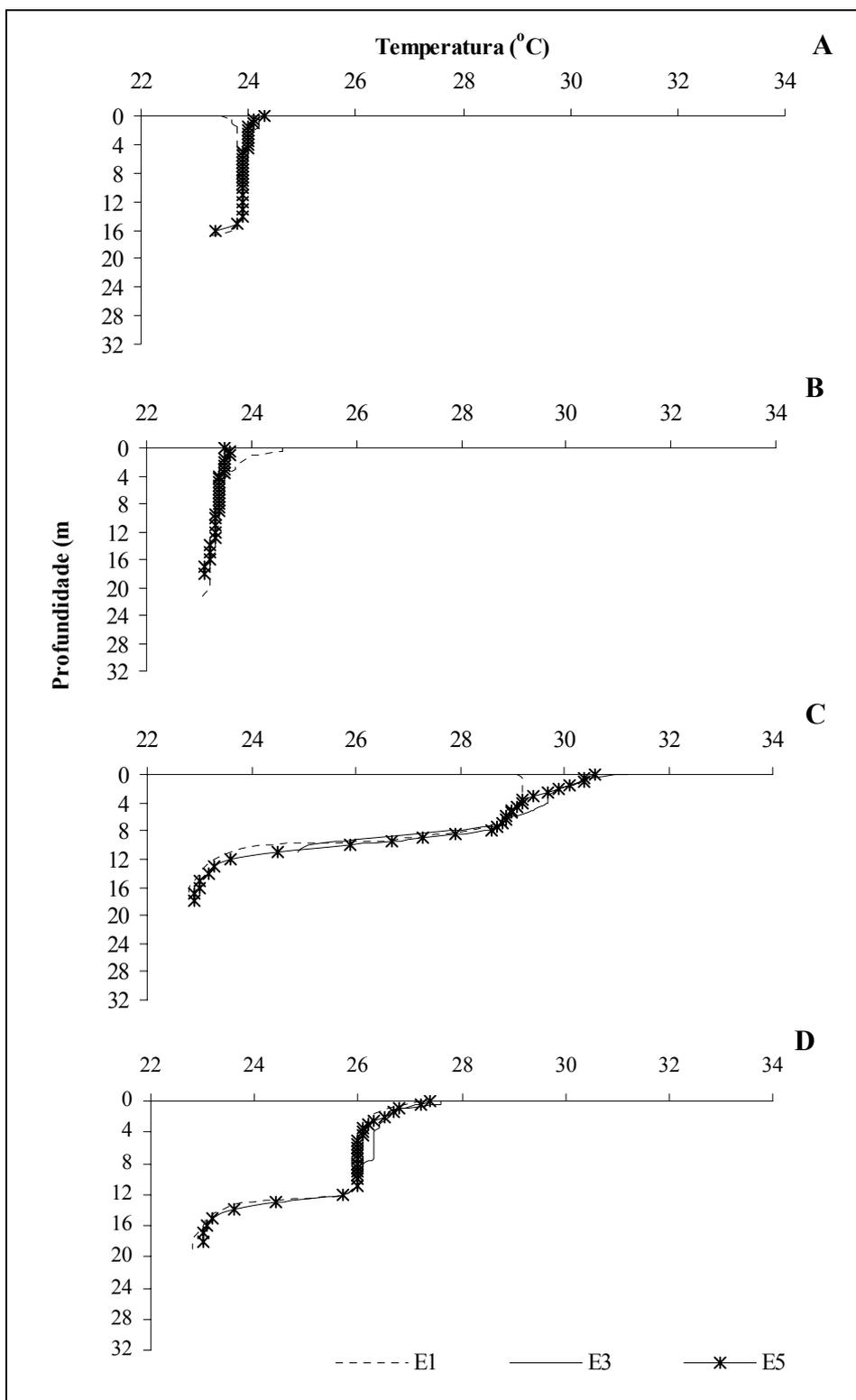


Figura 26 - Perfis térmicos (°C) obtidos para as estações limnéticas E1, E3 e E5 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

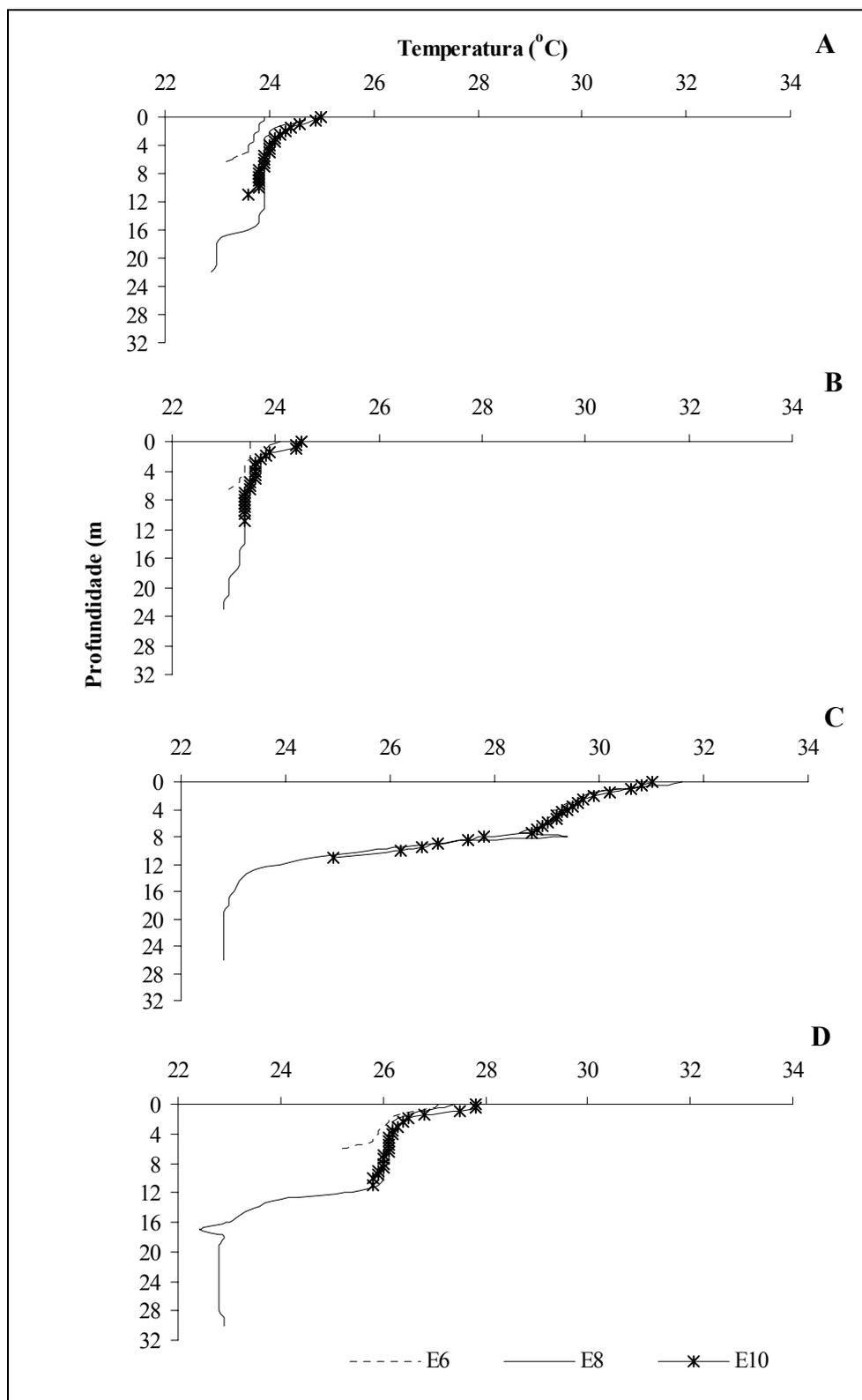


Figura 27 - Perfis térmicos (°C) obtidos para as estações limnéticas E6, E8 e E10 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

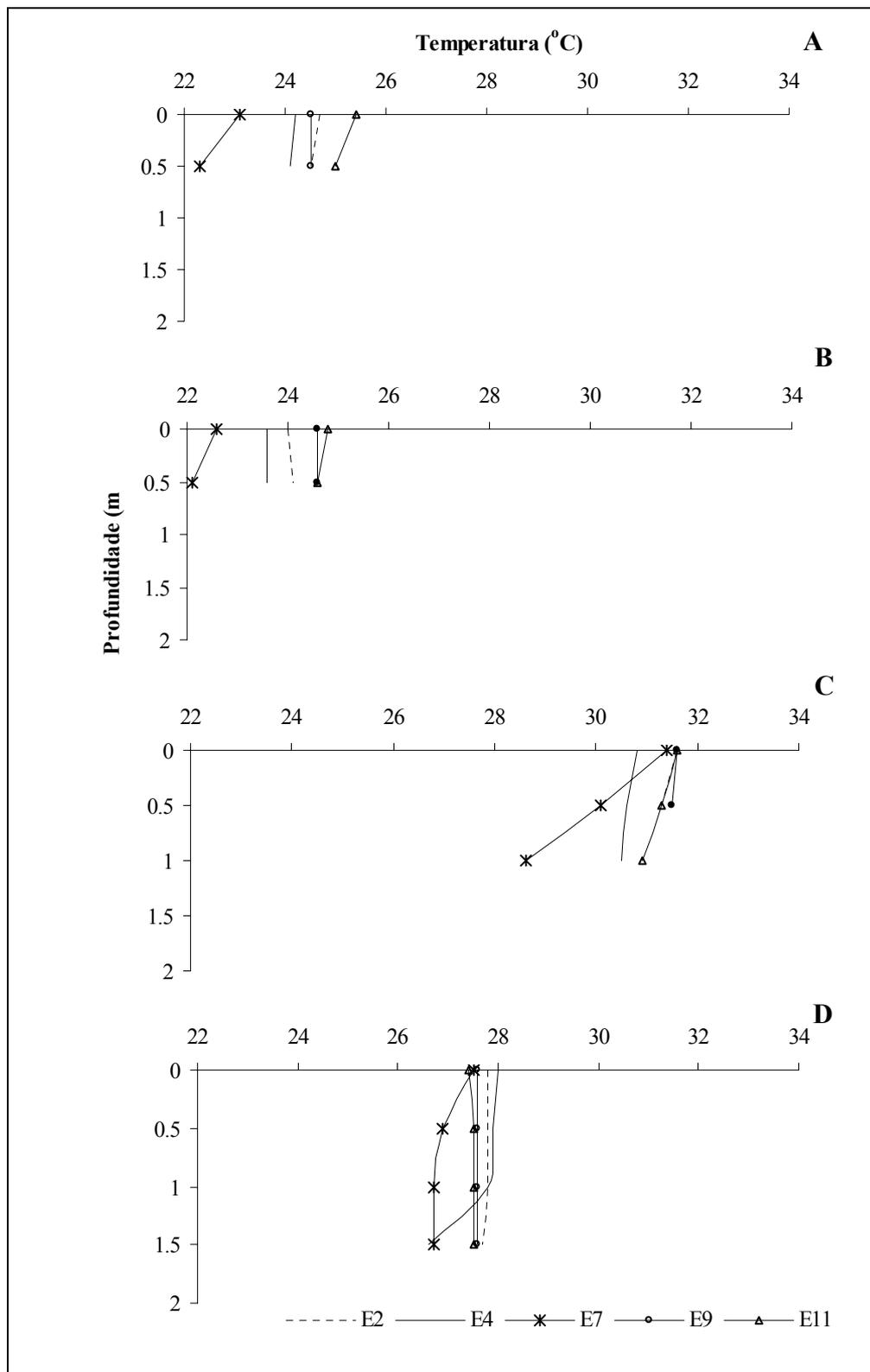


Figura 28 - Perfis térmicos ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtidos nas estações litorâneas (E2, E4, E7, E9 e E11) durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

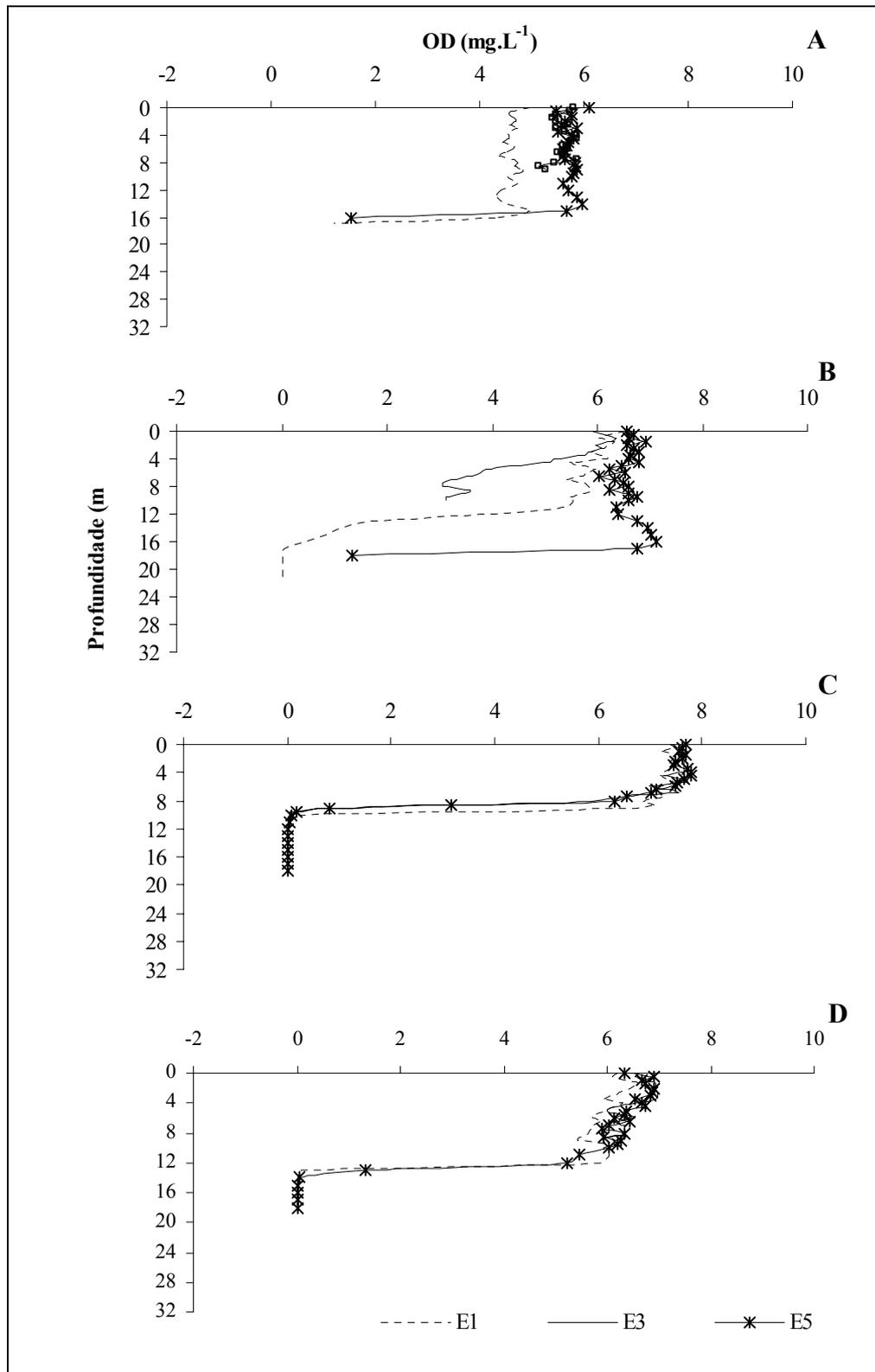


Figura 29 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) obtidos para as estações limnéticas E1, E3 e E5 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

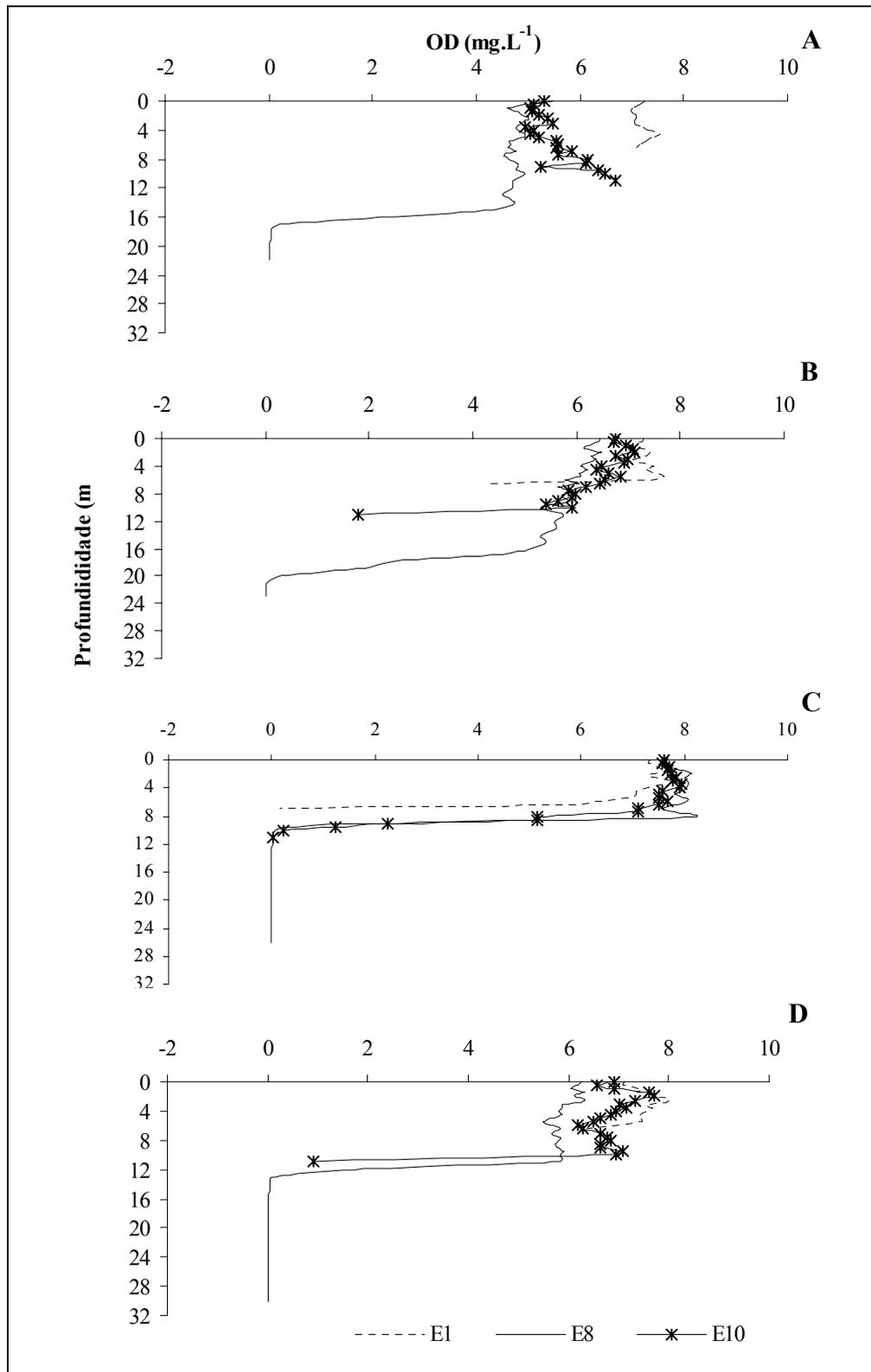


Figura 30 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) obtidos para as estações limnéticas E6, E8 e E10 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

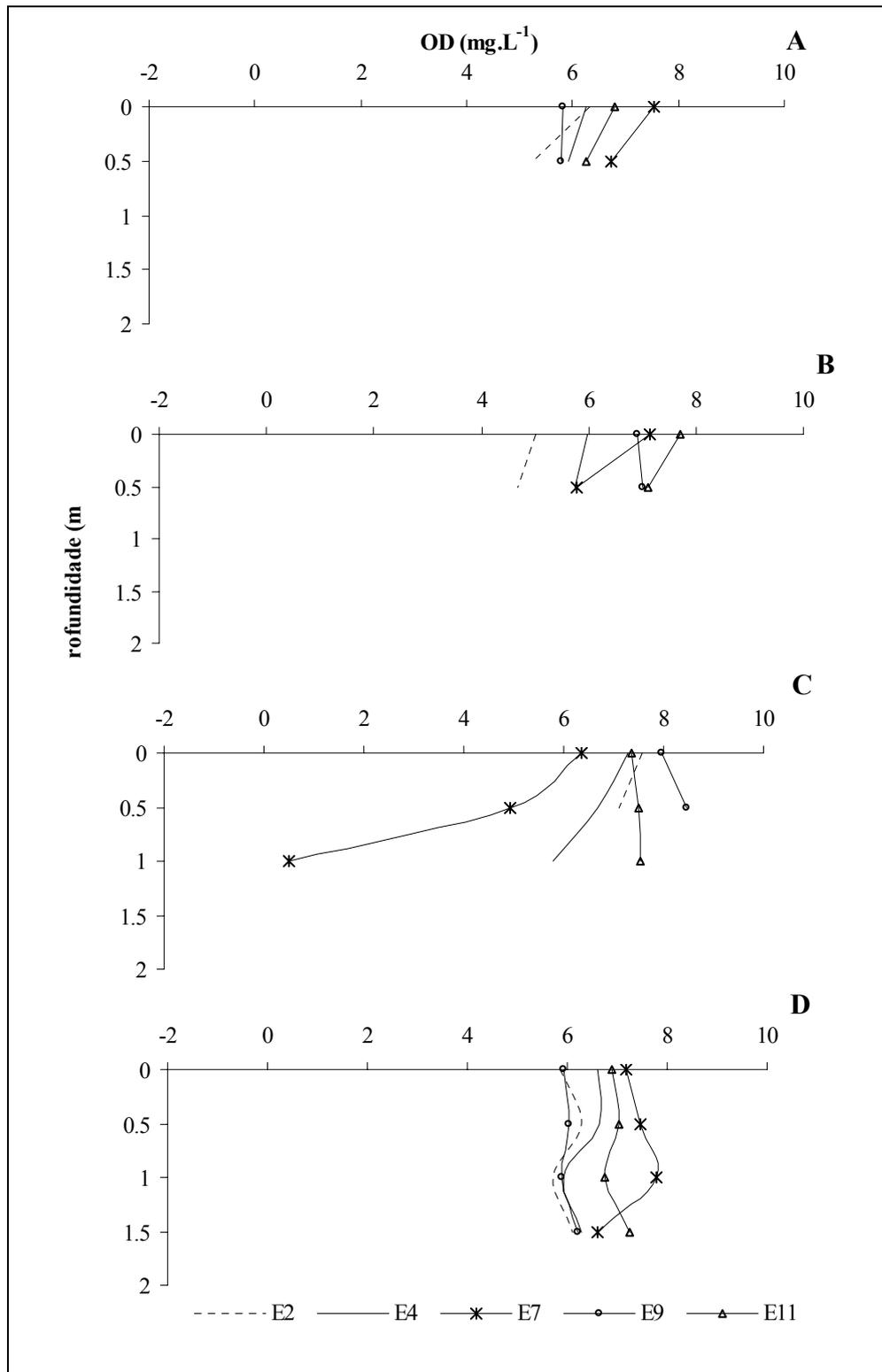


Figura 31 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) obtidos para as estações litorâneas E2, E4, E7, E9 e E11 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

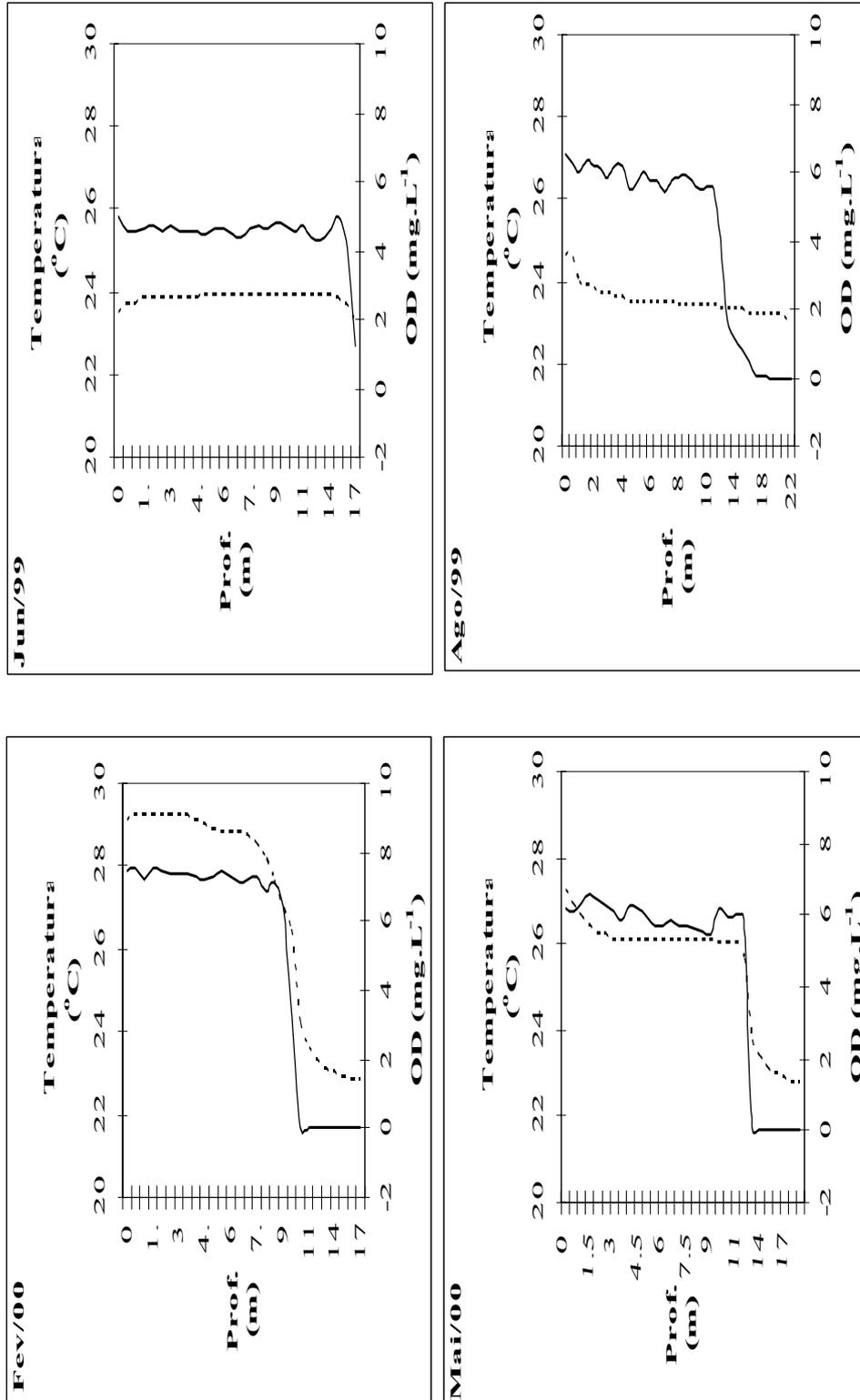


Figura 32 - Perfis verticais da temperatura (°C) e do oxigênio dissolvido - OD (mg.L<sup>-1</sup>) na coluna d'água na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio. ( \_ \_ \_ Temperatura; \_\_\_ OD).

Tabela 10 - Valores obtidos da condutividade elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) obtidos na coluna d'água durante as quatro coletas nas onze estações de amostragem do lago Dom Helvécio.

Profundidade (m)	Junho/1999										
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
0	32	32	31	31	34	30	30	32	32	32	31
0.5	32	32	31	31	31	30	30	32	32	32	31
1	32		31		31	30		32		32	
1.5	32		31		31	30		32		32	
2	32		31		31	30		32		31	
2.5	32		31		31	30		32		31	
3	32		31		31	30		32		31	
3.5	32		31		31	30		32		31	
4	32		31		31	30		32		31	
4.5	32		31		31	30		32		31	
5	32		31		31	30		32		31	
6	32		31		31	30		32		31	
7	32		31		31			32		31	
8	32		31		31			32		31	
9	32		31		31			32		31	
10	32				31			31		31	
11	32				31			31		31	
12	32				30			31		30	
13	32				30			31			
14	31				30			31			
15	31				32			32			
16	33				32			41			
17	36							69			
18								74			
19								75			
20								76			
21								77			
22								80			

Tabela 10 - continuação

Profundidade (m)	Agosto/1999										
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
0	32	32	32	32	31	31	33	32	32	32	31
0.5	32	33	32	32	32	31	32	32	32	32	31
1	32		32		32	31		32		32	
1.5	32		32		32	31		32		32	
2	32		32		32	31		32		32	
2.5	32		32		32	31		32		32	
3	32		32		32	31		32		32	
3.5	32		32		32	31		32		32	
4	32		32		32	31		32		32	
4.5	32		32		32	31		32		32	
5	32		32		32	31		32		32	
6	32		32		32	31		32		32	
7	32		32		32			32		32	
8	32		32		31			32		32	
9	32		32		31			32		32	
10	32		35		31			32		32	
11	32				31			32		32	
12	32				31			32			
13	32				31			32			
14	33				30			31			
15	34				30			31			
16	40				30			33			
17	43				30			33			
18	48				30			40			
19	55							43			
20	52							67			
21	65							91			
22	87							101			
23								177			

Tabela 10 – continuação

Profundidade (m)	Fevereiro/2000										
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
0	30	30	30	29	29	29	28	30	29	30	30
0.5	30	29	30	28	29	29	29	30	30	30	30
1	30		30	28	29	29	71	30	29.5	30	32
1.5	30		30		29	29		30		30	
2	30		30		29	29		30		30	
2.5	30		30		29	29		30		29	
3	30		30		30	29		30		29	
3.5	30		30		30	29		30		29	
4	30		30		30	29		30		29	
4.5	30		30		30	29		30		29	
5	30		30		30	29		30		29	
6	30		29		29	29		30		29	
7	30		29		29	29		29		29	
8	29		28		29			29		28	
9	27		26		26			27		25	
10	40		38		27			28		25	
11	44		51		45			40		25	
12	50				51			46			
13	51				53			52			
14	50				53			51			
15	49				53			50			
16	50				53			49			
17	51				54			50			
18					54			51			
19								54			
20								55			
21								56			
22								56			
23								56			
24								57			
25								62			
26								62			

Tabela 10 - continuação

Profundidade (m)	Maio/2000										
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
0	29	29	29	28	29	28	28	29	29	29	28
0.5	29	29	29	29	29	28	28	29	29	29	28
1	29	29	29	28	29	28	27	29	29	28	28
1.5	29	29	29	28	29	28	27	29	29	28	28
2	29		29		29	28		29		28	
2.5	29		29		28	28		29		28	
3	29		29		28	28		29		28	
3.5	29		29		28	28		29		28	
4	29		29		28	28		29		28	
5	29		29		28	28		29		28	
6	29		28		28	27		29		28	
7	29		28		28			29		28	
8	29		28		28			29		28	
9	29		28		28			28		28	
10	29				28			28		28	
11	29				28			29		28	
12	30				30			43			
13	61				59			61			
14	63				65			63			
15	61				67			62			
16	60				68			61			
17	60				68			59			
18	60				68			65			
19	60							66			
20								66			
21								69			
22								71			
23								72			
24								74			
25								75			
26								75			
27								75			
28								75			
29								75			

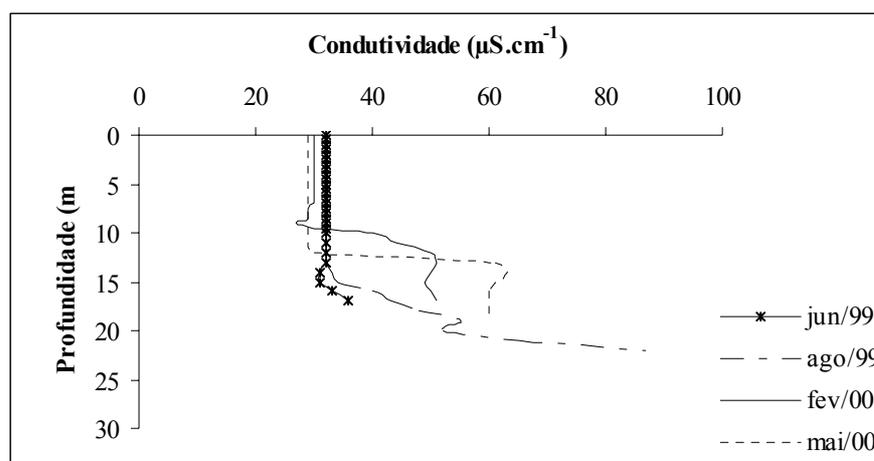


Figura 33 - Perfis de condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

O pH do lago Dom Helvécio variou de levemente ácido a levemente básico. Os menores valores foram observados em maio de 2000 e os maiores em fevereiro de 2000. Em relação ao perfil vertical, houve um gradiente de pH, com maiores valores na superfície e redução destes com o aumento da profundidade (Figs. 34 a 36).

Os resultados obtidos para nitrato, amônio e nitrogênio total encontram-se nas Figuras 37 e 38. Com relação à distribuição horizontal (Fig. 37), os menores valores de nitrato foram observados, em geral, em junho de 1999 e os maiores em agosto de 1999. As menores concentrações de amônio foram registradas em maio de 2000 e as maiores em agosto de 1999 e fevereiro de 2000. O nitrogênio total teve valores mais baixos em junho de 1999 e maio de 2000 e mais elevados durante fevereiro de 2000. Em relação à distribuição vertical em E1 (Fig. 38) a maior concentração de nitrato observada foi aos 20,0m (agosto de 1999) e as menores foram, geralmente, encontradas aos 10,0m. O amônio e o nitrogênio total foram maiores no fundo da coluna d'água (15,0 e 20,0m), exceção feita em junho de 1999. O nitrito apresentou concentrações sempre abaixo do nível de detecção do método.

Os maiores valores de fósforo total foram verificados em maio de 2000, para a maioria das estações de amostragem e o fósforo total dissolvido não apresentou uma variação sazonal definida (Figs. 39A e 39B). Em E1, estes nutrientes apresentaram maiores concentrações na camada entre 10,0 a 20,0m e menores na superfície (0,0m) (Fig. 40A e 40B). Os resultados referentes ao ortofosfato estiveram, quase que em sua totalidade, abaixo do nível de detecção do método.

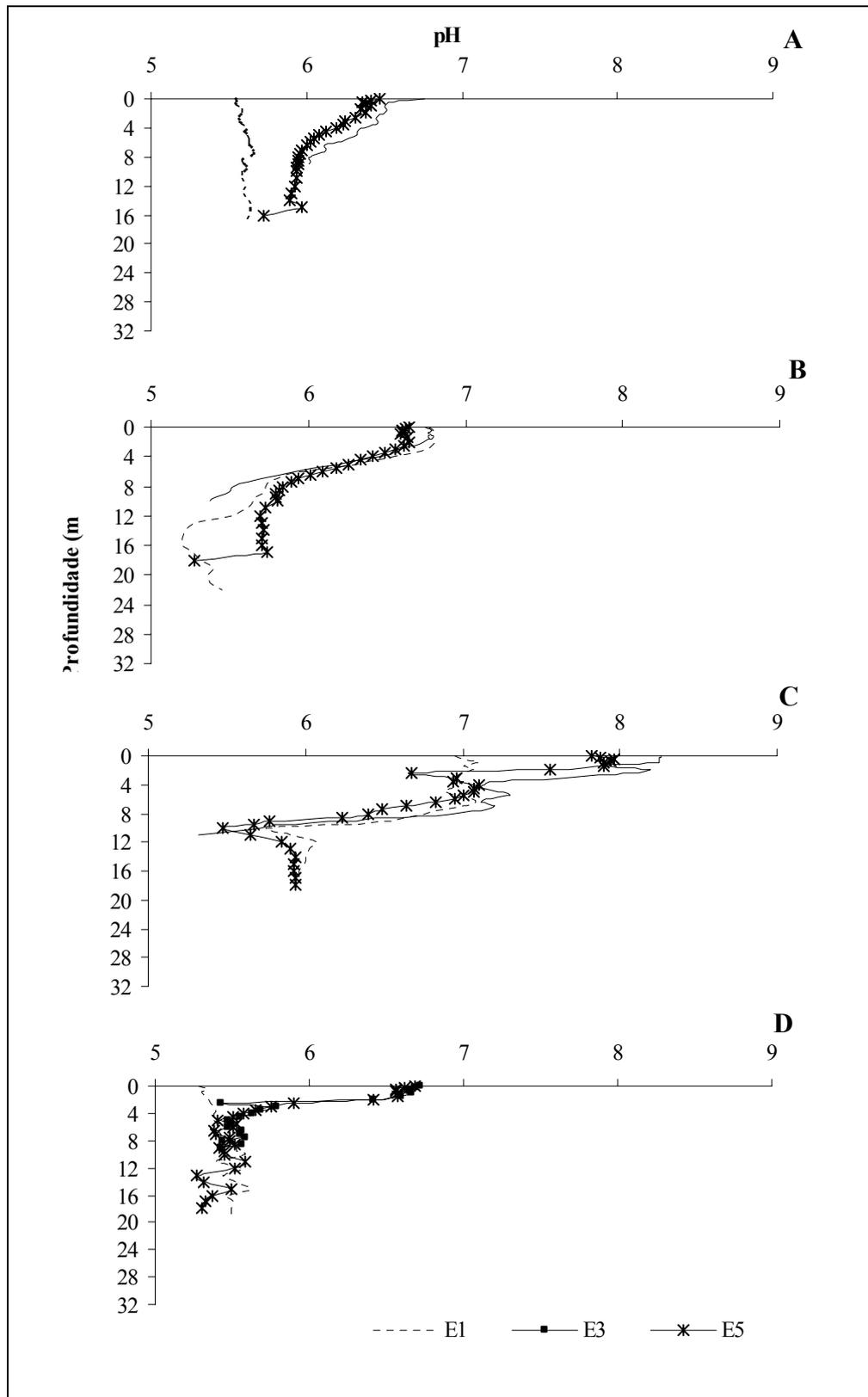


Figura 34 - Perfis do pH nas estações limnéticas E1, E3 e E5 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

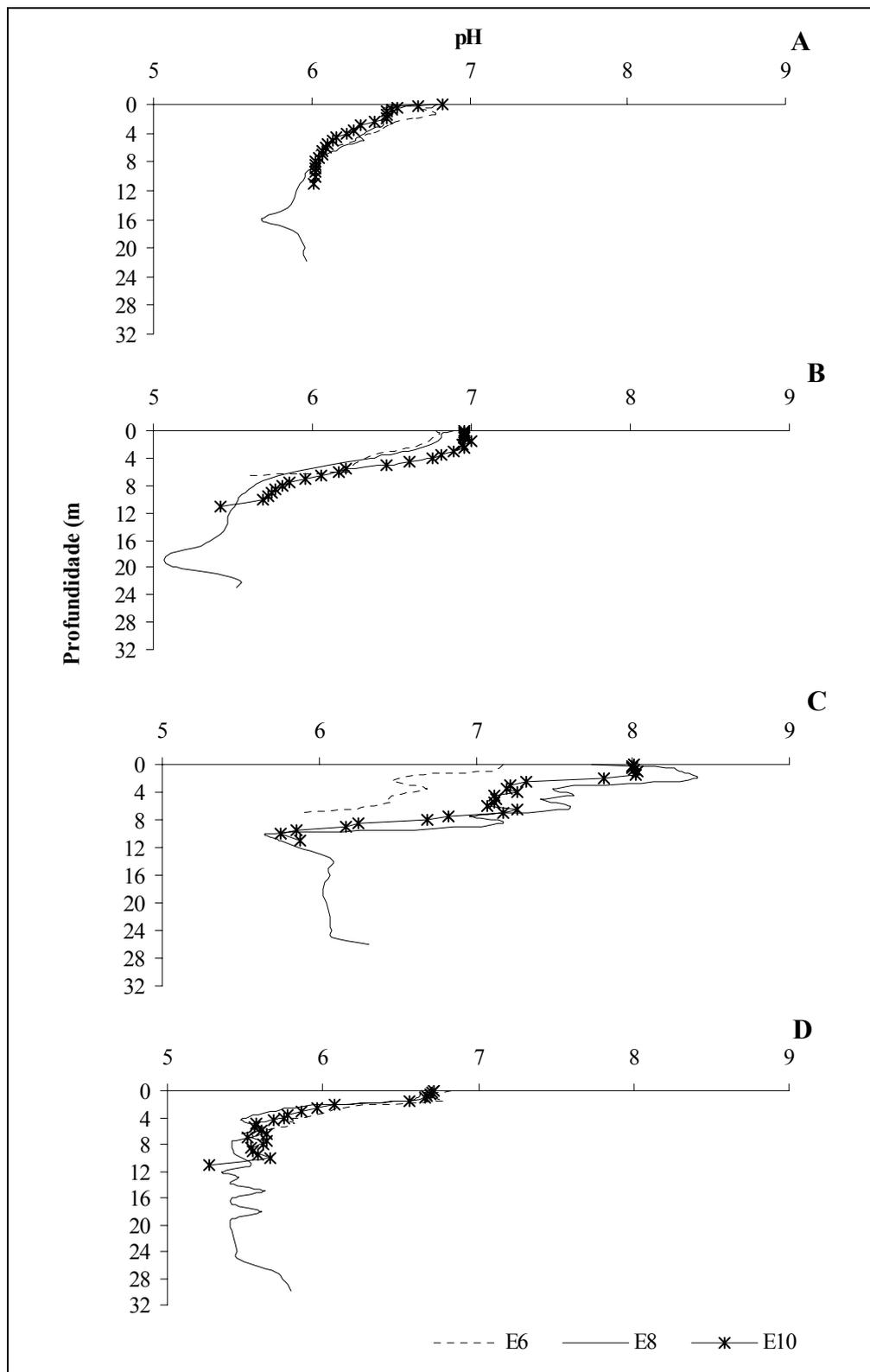


Figura 35 - Perfis do pH nas estações limnéticas E6, E8 e E10 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

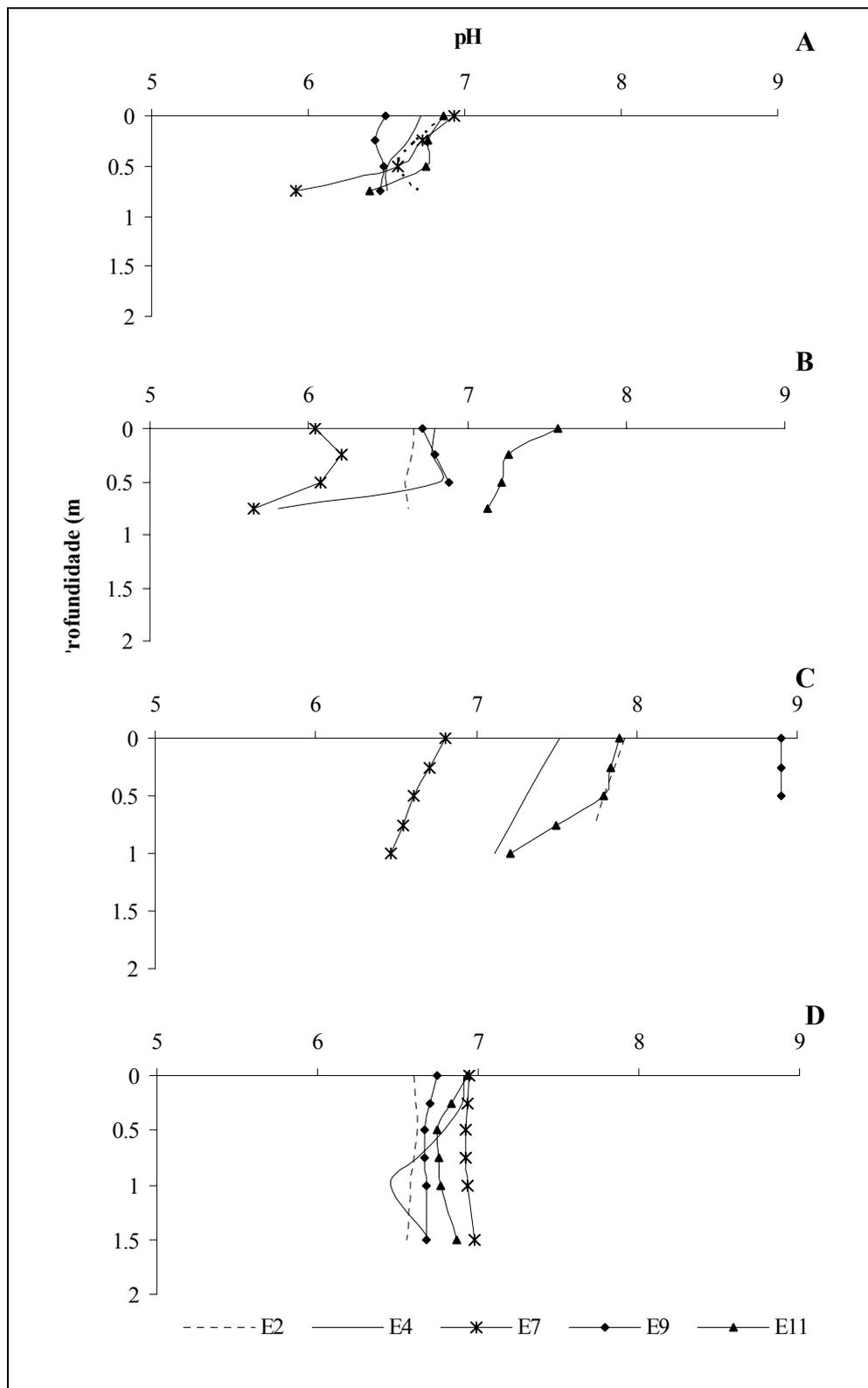


Figura 36 - Perfis do pH nas estações litorâneas E2, E4, E7, E9 e E11 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

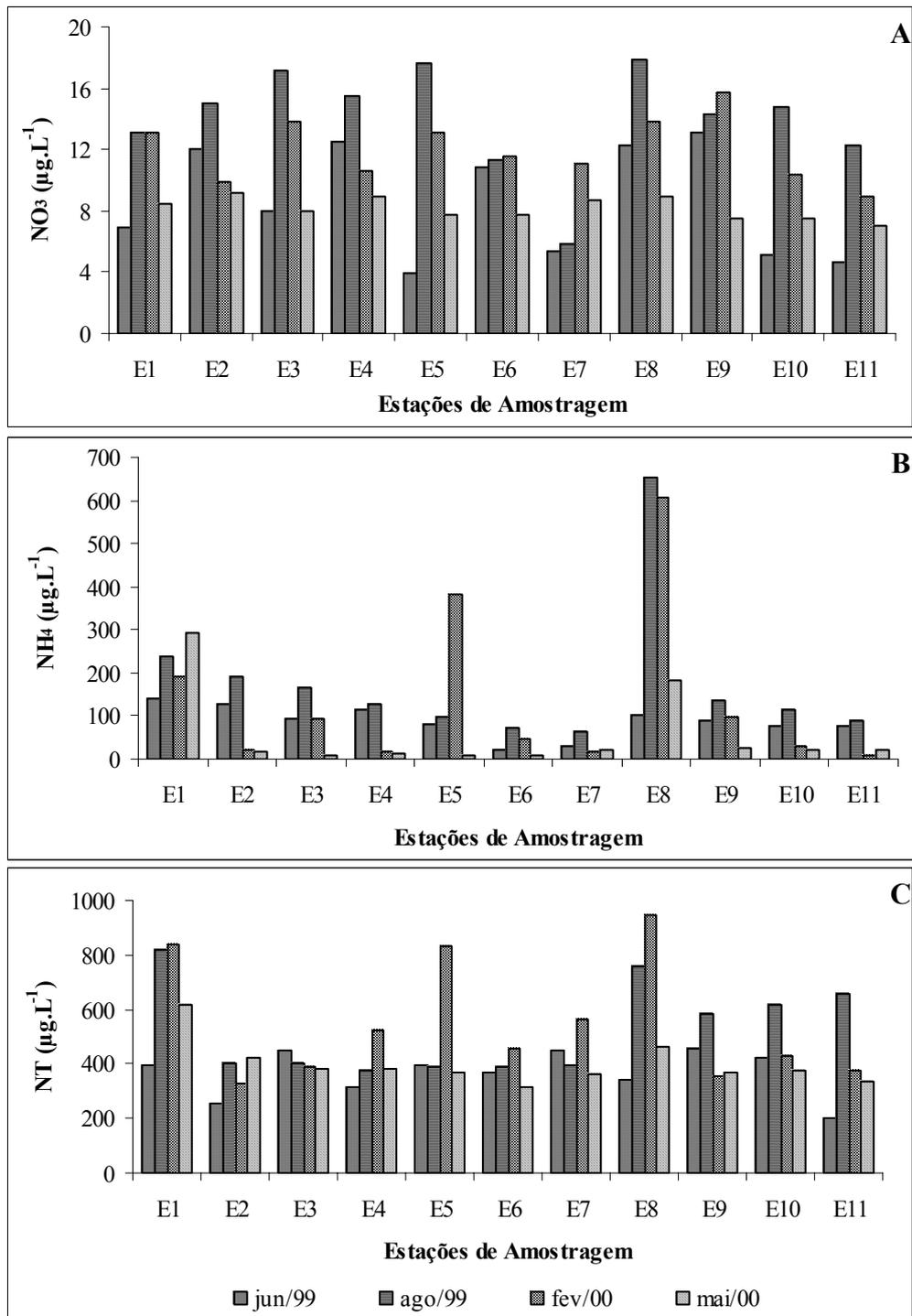


Figura 37 - Variação espacial do nitrato - NO<sub>3</sub> (A), amônio - NH<sub>4</sub> (B) e nitrogênio total - NT (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

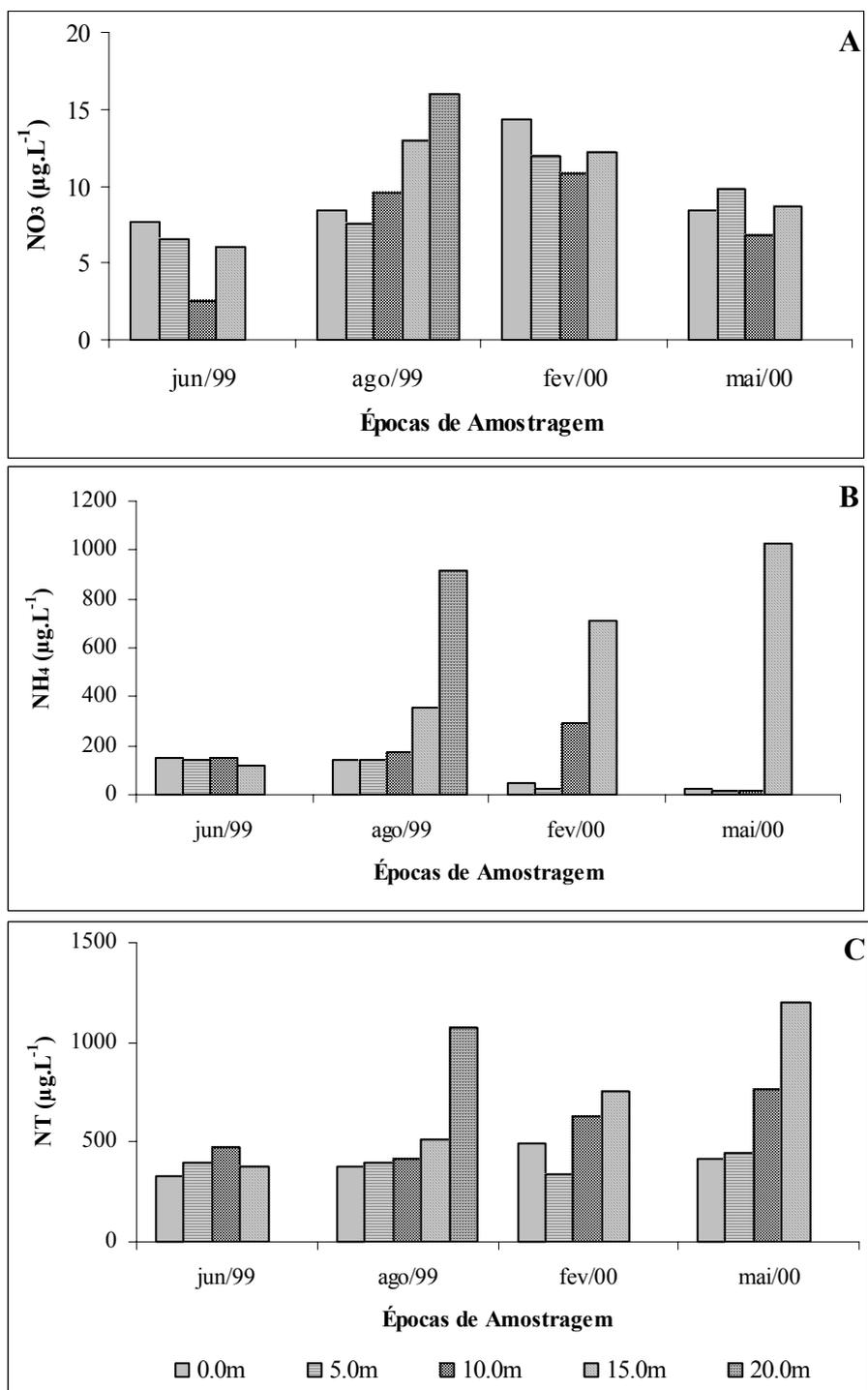


Figura 38 - Variação vertical do nitrato - NO<sub>3</sub> (A), amônio - NH<sub>4</sub> (B) e nitrogênio total - NT (C) na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

A concentração de ortossilicato variou de 2,83 a 5,13mg.l<sup>-1</sup>, sendo maiores durante fevereiro de 2000, na maioria das estações de amostragem (Fig. 39C). Com relação à distribuição vertical, o ortossilicato foi maior nas camadas mais profundas da coluna d'água, 15,0m durante junho de 1999 e fevereiro de 2000, 20,0m em agosto de 1999 e 10,0m em maio de 2000 (Fig. 40C).

A razão NT/PT variou de 13,38 (E7 de maio de 2000) a 40,38 (E5 de fevereiro 2000), considerando as amostragens de distribuição horizontal (Fig. 41). As amostras de distribuição vertical em E3 apresentaram variação de 16,75 a 53,90. As maiores razões foram encontradas, geralmente, aos 15,0m de profundidade (exceção feita em fevereiro de 2000) (Fig. 42).

O material em suspensão no lago Dom Helvécio esteve constituído por uma maior fração de matéria orgânica durante todo o período analisado. As maiores concentrações de matéria orgânica ocorreram em maio de 2000 e as de matéria inorgânica em agosto de 1999 e fevereiro de 2000. (Fig. 43). No que se refere à distribuição vertical, o material em suspensão foi maior nas profundidades de 10,0m a 20,0m. (Fig. 44).

Os resultados do Índice de Estado Trófico (IET) estimados para o lago Dom Helvécio encontram-se na Tabela 11. Os índices variaram de 33,99 a 54,75. Em média, a amostragem de junho de 1999 teve os menores índices e, o mês de maio de 2000, os maiores.

A Análise de Componentes Principais (ACP) referente à amostragem horizontal das variáveis abióticas no lago Dom Helvécio explicou 63,6% da variabilidade dos dados em seus três primeiros eixos (Tab. 12). O fator 1 (32,5%) esteve associado positivamente com a condutividade, o amônio, a profundidade e o nitrogênio total e negativamente com o oxigênio dissolvido. O fator 2 (17,3%) esteve associado com o pH e o fator 3 com a matéria orgânica, (Tab. 13). Em relação à ordenação das estações e épocas de coleta, o componente 1 discriminou as estações limnéticas das estações litorâneas, ao passo que o componente 2 separou a fevereiro de 2000 das demais coletas. O fator 3 discriminou a coleta de maio de 2000 (Figs. 45 e 46).

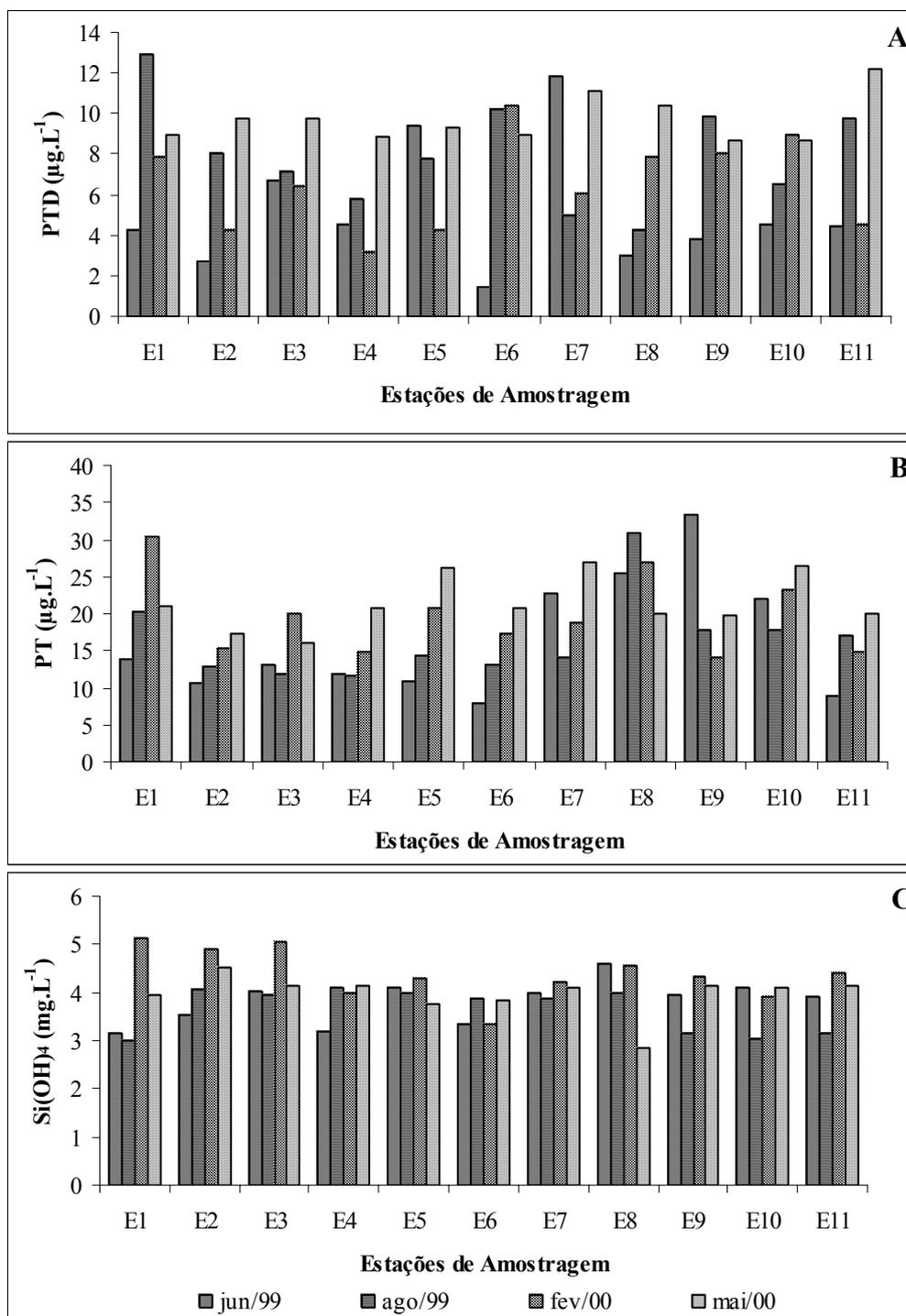


Figura 39 - Variação espacial do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato -  $\text{Si(OH)}_4$  (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

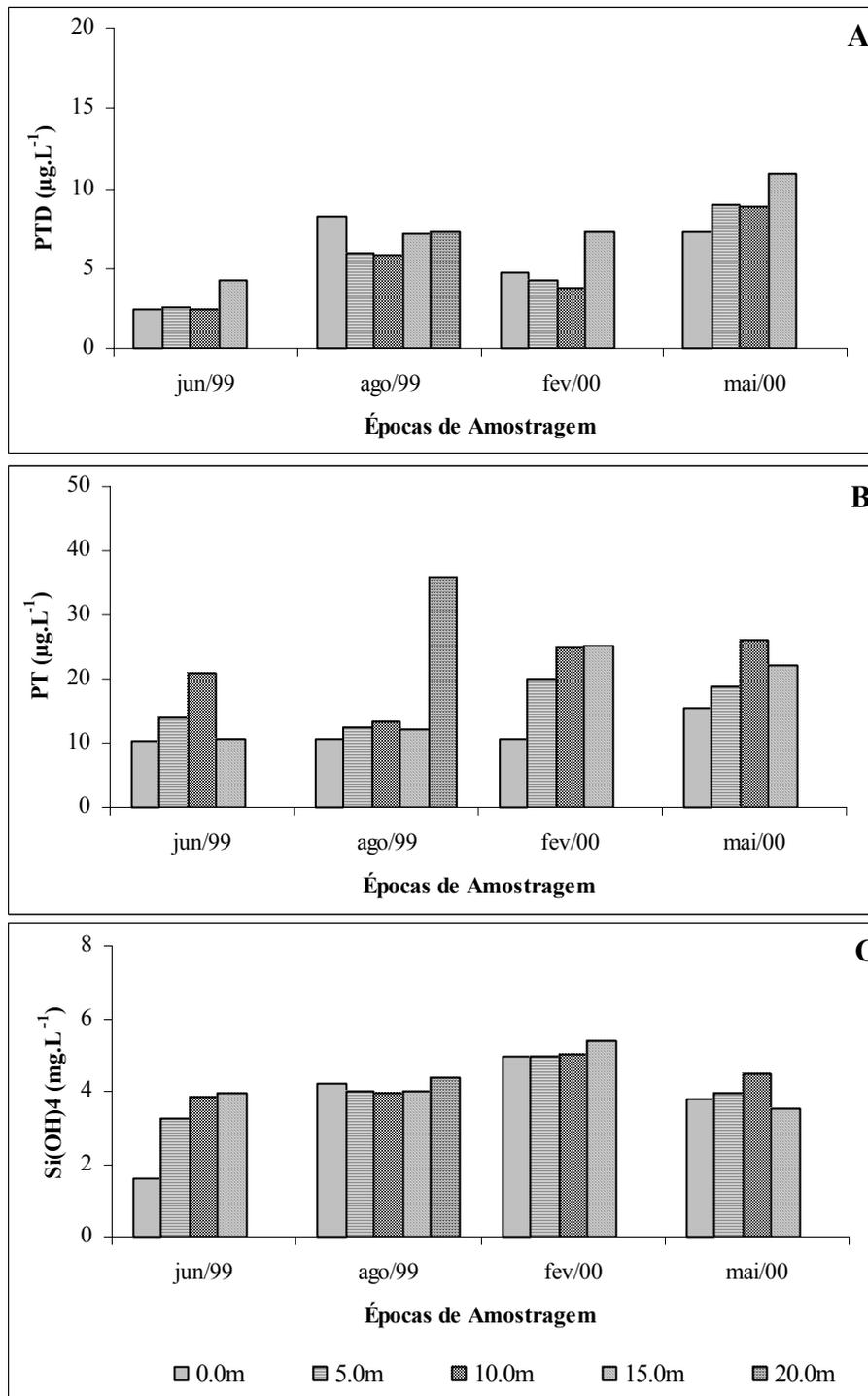


Figura 40 - Variação vertical do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B) e ortossilicato - Si(OH)<sub>4</sub> (C) na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio .

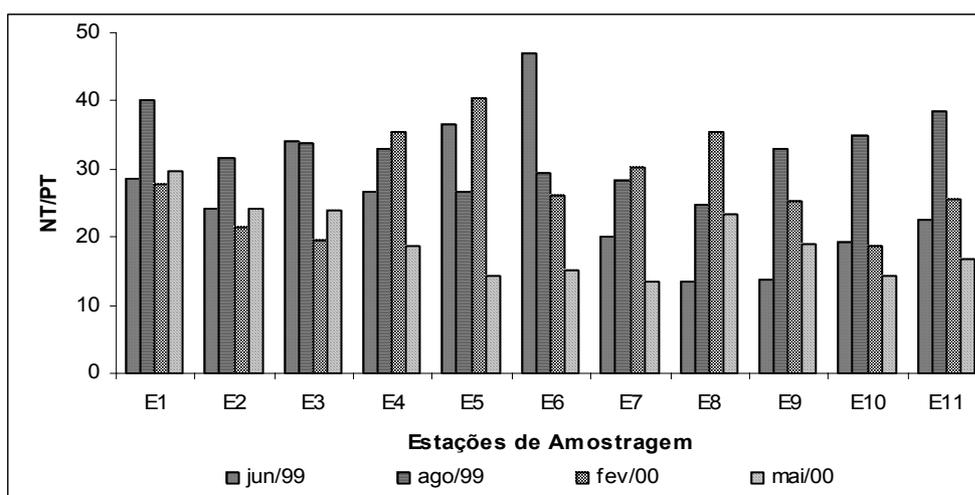


Figura 41 -Variação espacial da razão atômica NT/PT durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

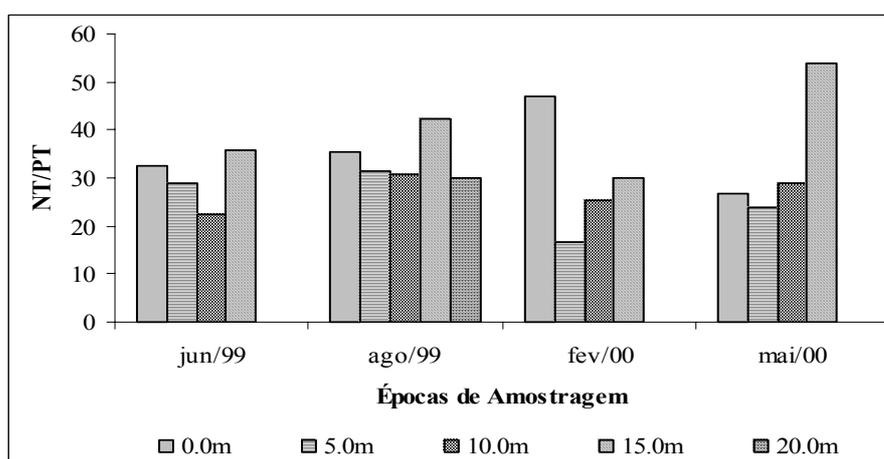


Figura 42 - Variação vertical da razão atômica NT/PT na estação E1 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

Tabela 11 – Índices de Estado Trófico (IET) obtidos para as estações E1 a E11 durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

	Junho de 1999	Agosto de 1999	Fevereiro de 2000	Mai de 2000
<b>E1</b>	42,07893	47,59363	53,42279	48,04975
<b>E2</b>	38,10904	40,94181	43,61711	45,34128
<b>E3</b>	41,30464	39,79514	47,36004	44,21502
<b>E4</b>	39,79514	39,39173	42,99334	47,82349
<b>E5</b>	38,54940	42,67105	47,82349	51,25714
<b>E6</b>	33,99807	41,30464	45,34128	47,82349
<b>E7</b>	49,13069	42,34138	46,38594	51,61222
<b>E8</b>	50,89310	53,57666	51,61222	47,36004
<b>E9</b>	54,75185	45,60962	42,34138	47,12261
<b>E10</b>	48,70798	45,60962	49,54136	51,43577
<b>E11</b>	35,67982	45,06785	42,99334	47,36004
<b>Valor Médio</b>	42,99988	43,99119	46,67566	48,12735

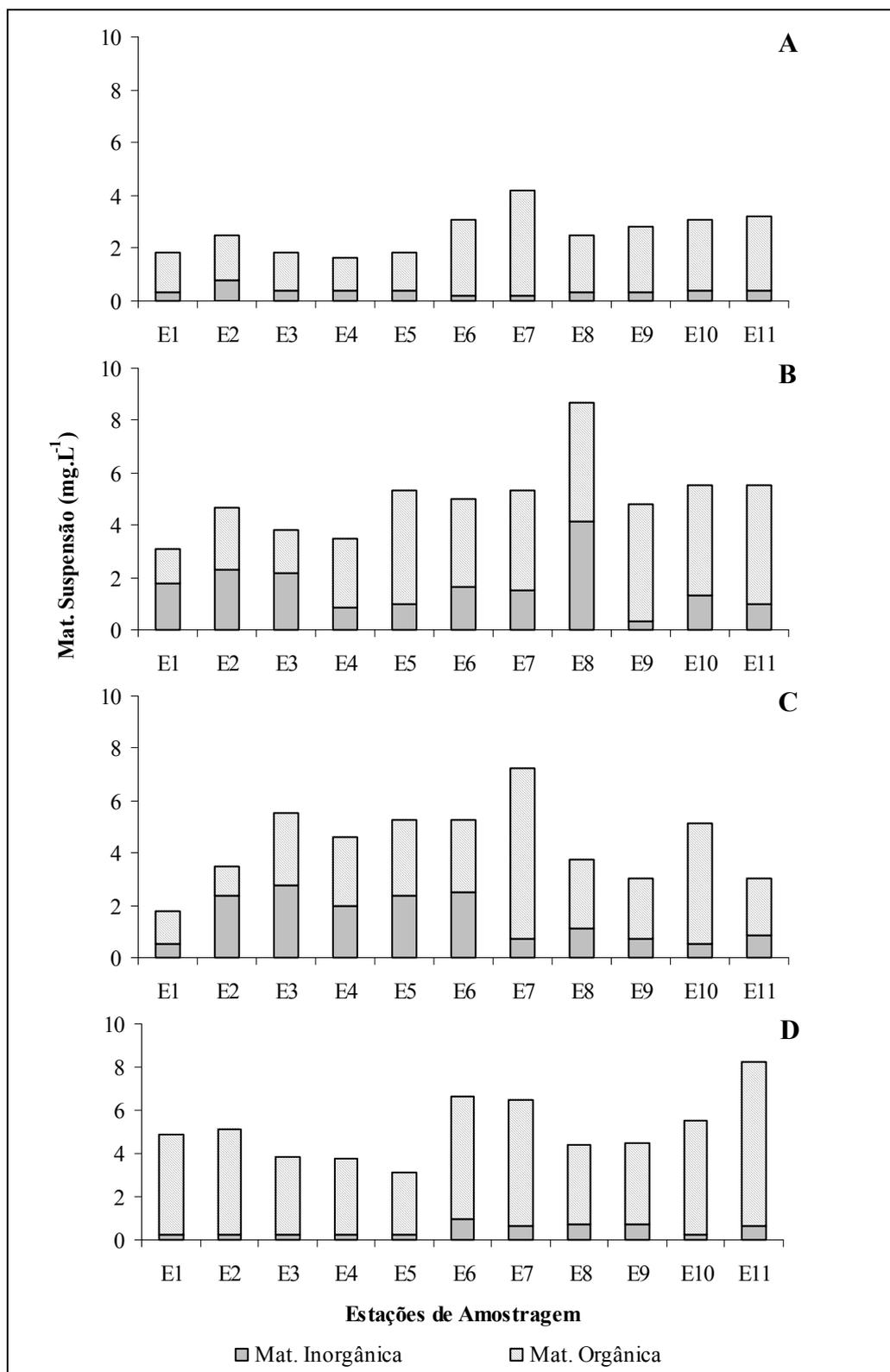


Figura 43 - Variação espacial do material em suspensão (mg.L<sup>-1</sup>) nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

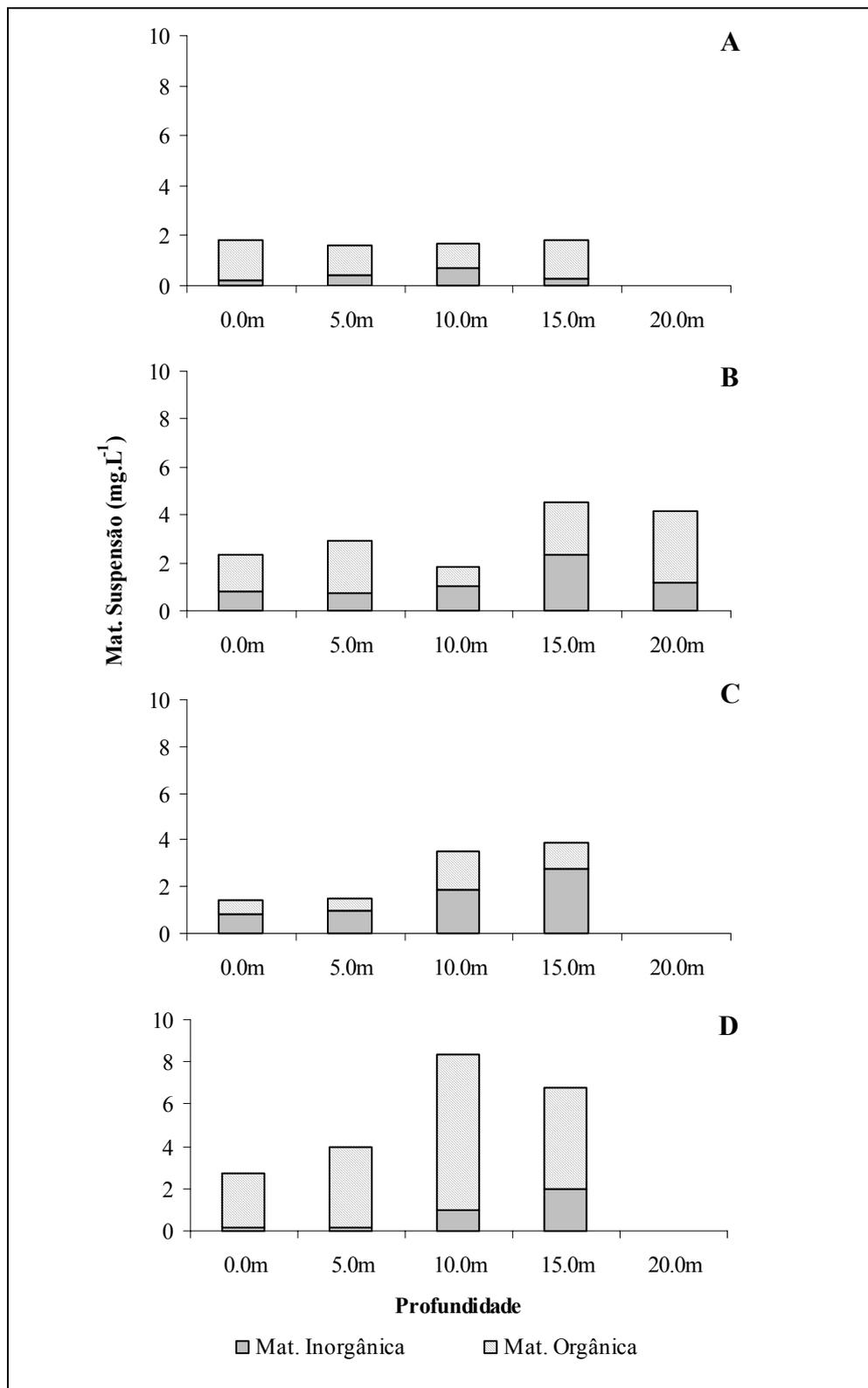


Figura 44 - Variação vertical do material em suspensão (mg.L<sup>-1</sup>) na Estação E1 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Dom Helvécio.

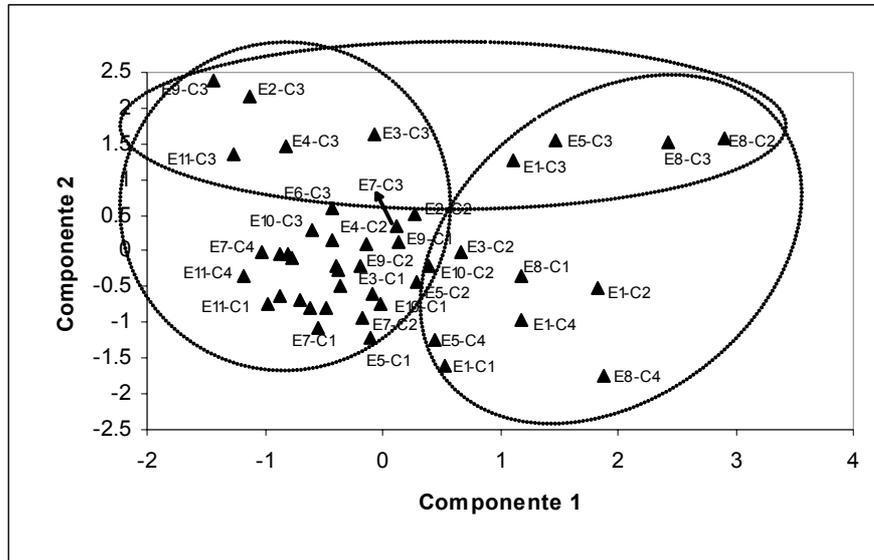
A ACP realizada apenas para as variáveis abióticas na E1 apresentou 77,9% de explicação em seus três primeiros componentes (Tab. 14). O fator 1 (43,0%) esteve relacionado positivamente com o oxigênio dissolvido e negativamente com o amônio, o nitrogênio total, a condutividade e a matéria inorgânica. O fator 2 (21,7%) associou-se ao ortossilicato, ao pH e à temperatura, enquanto que o fator 3 (13,2%) foi relacionado positivamente à matéria orgânica. No componente 1 houve, principalmente, a separação das profundidades 10,0 a 20,0m das de 0,0 e 5,0m durante as amostragens de agosto de 1999, fevereiro e maio de 2000. No componente 2, a coleta de fevereiro de 2000 distanciou-se das demais e no fator 3, maio de 2000 esteve separada das outras coletas (Figs. 47 e 48, Tab. 15).

Tabela 12 – Número de *Eigenvalues* (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e locais de amostragem no lago Dom Helvécio.

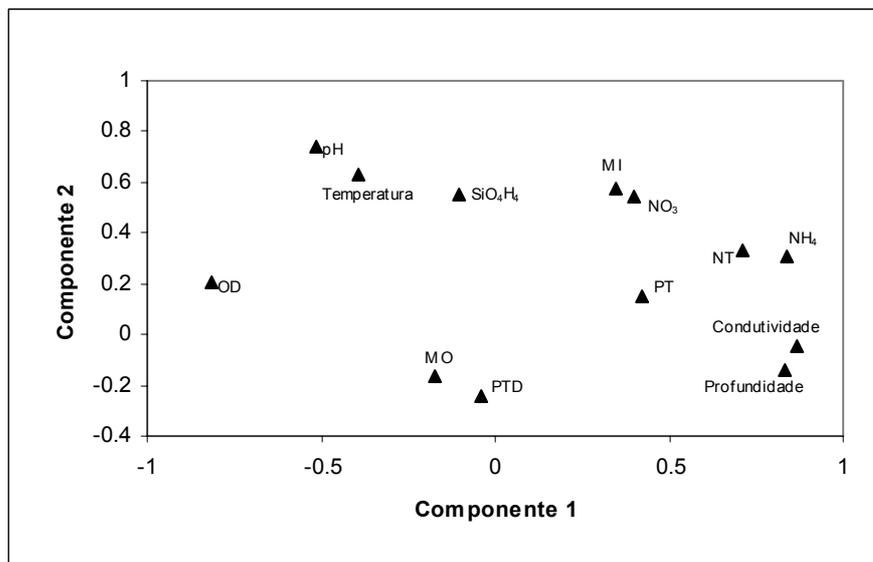
Número do <i>Eigenvalue</i>	Valor do <i>Eigenvalue</i>	% total da variância	% acumulada da variância
1	4,2276	32,5204	32,5204
2	2,2464	17,2804	49,8008
3	1,7949	13,8076	63,6084

Tabela 13 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, das onze estações de amostragem do lago Dom Helvécio, com os componentes principais 1, 2 e 3 (\* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Profundidade	0,830898*	-0,143491	0,12354
Temperatura	-0,39096	0,630869	0,337918
OD	-0,81247*	0,203288	0,085083
pH	-0,514954	0,738443*	-0,001276
Condutividade	0,867613*	-0,048134	-0,020757
NO <sub>3</sub>	0,397365	0,539982	-0,245025
NH <sub>4</sub>	0,838588*	0,305668	-0,043605
NT	0,7134*	0,332398	0,282148
PTD	-0,043091	-0,242762	0,671215
PT	0,41949	0,151734	0,693324
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,10145	0,549734	0,231306
MI	0,344518	0,576892	-0,201781
MO	-0,171769	-0,162657	0,700627*

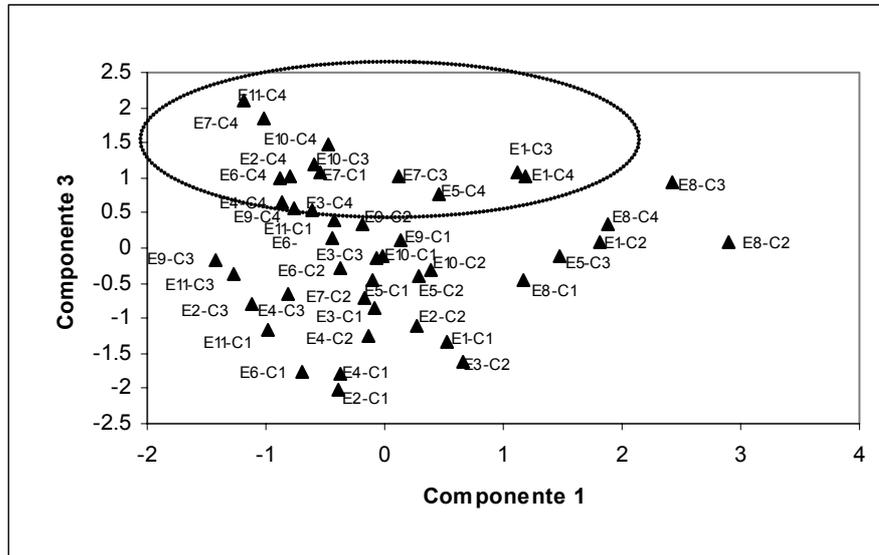


A

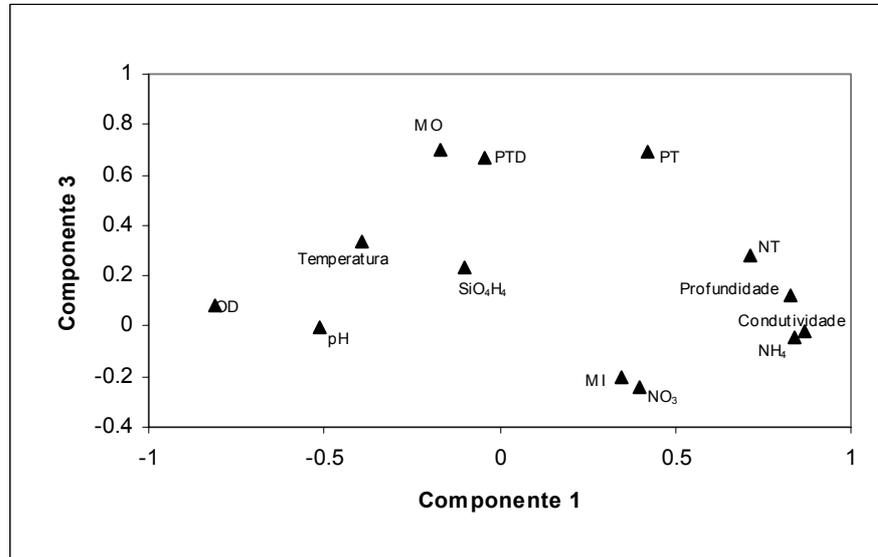


B

Figura 45 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 2). (C1: junho de 1999, C2: agosto de 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000).



**A**



**B**

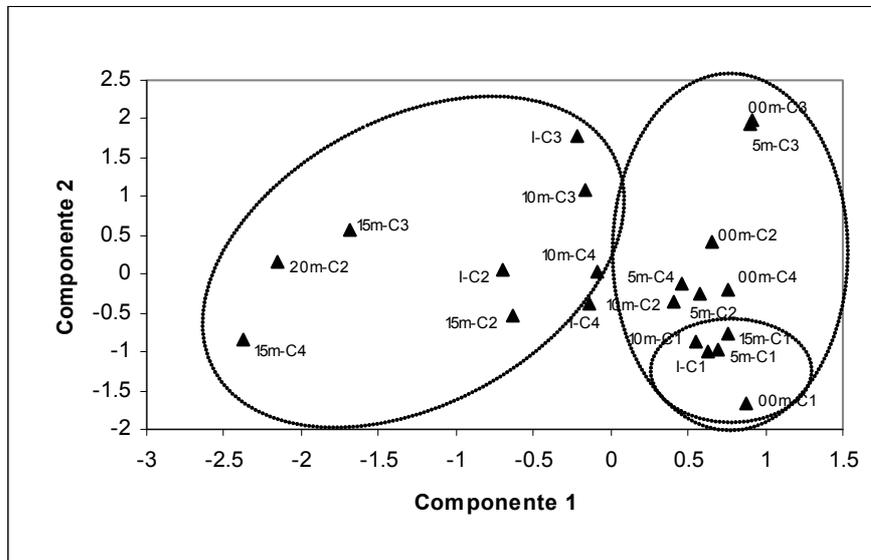
Figura 46 - Ordenação pela ACP dos locais e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 3). (C1: junho de 1999, C2: agosto de 1999, C3: fevereiro de 2000 e C4: maio de 2000).

Tabela 14 – Número de *Eigenvalues* (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função das épocas e profundidades de amostragem na estação E1 do lago Dom Helvécio.

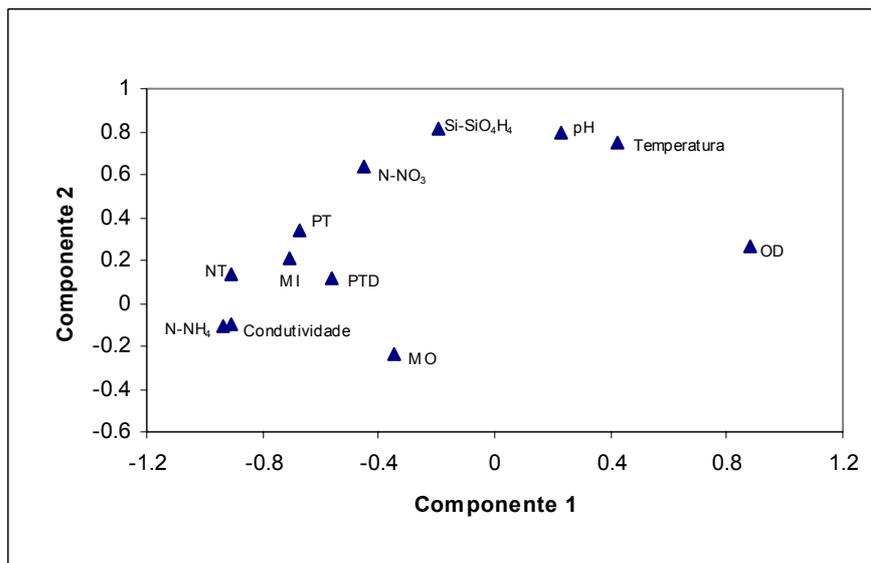
<b>Número do <i>Eigenvalue</i></b>	<b>Valor do <i>Eigenvalue</i></b>	<b>% total da variância</b>	<b>% acumulada da variância</b>
1	5,1589	42,9909	42,9909
2	2,6025	21,6882	64,6791
3	1,5846	13,2055	77,8847

Tabela 15 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas, da estação E1 do lago Dom Helvécio, com os componentes principais 1, 2 e 3 (\* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).

<b>Variáveis</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>
Temperatura	0,421435	0,749164*	0,333894
OD	0,882505*	0,265399	0,287081
pH	0,227713	0,796286*	-0,252937
Condutividade	-0,907023*	-0,101533	-0,158349
NO <sub>3</sub>	-0,44928	0,637001	-0,158224
NH <sub>4</sub>	-0,933468*	-0,103483	-0,209514
NT	-0,911892*	0,133766	0,242036
PTD	-0,564151	0,112285	0,493863
PT	-0,670716	0,341029	0,323048
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,192319	0,814453*	0,018328
MI	-0,705819*	0,206677	-0,368795
MO	-0,346252	-0,239153	0,830419*

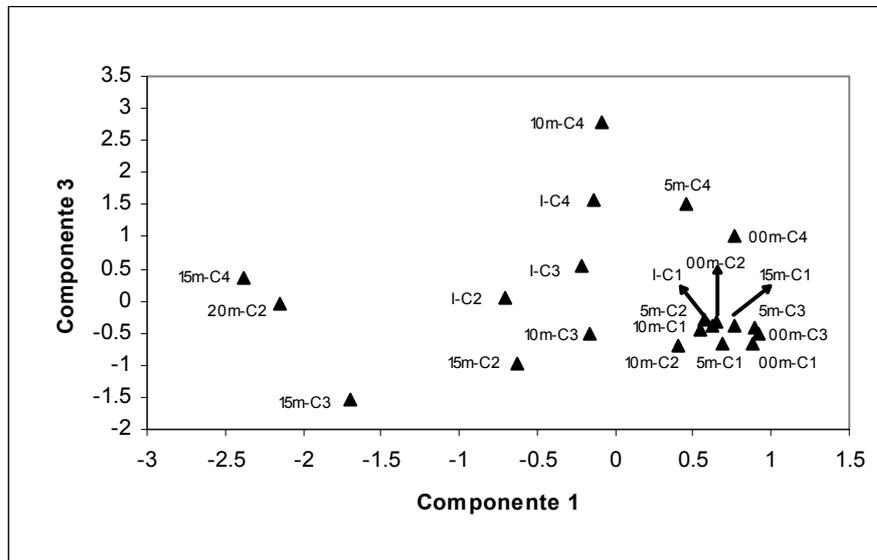


A

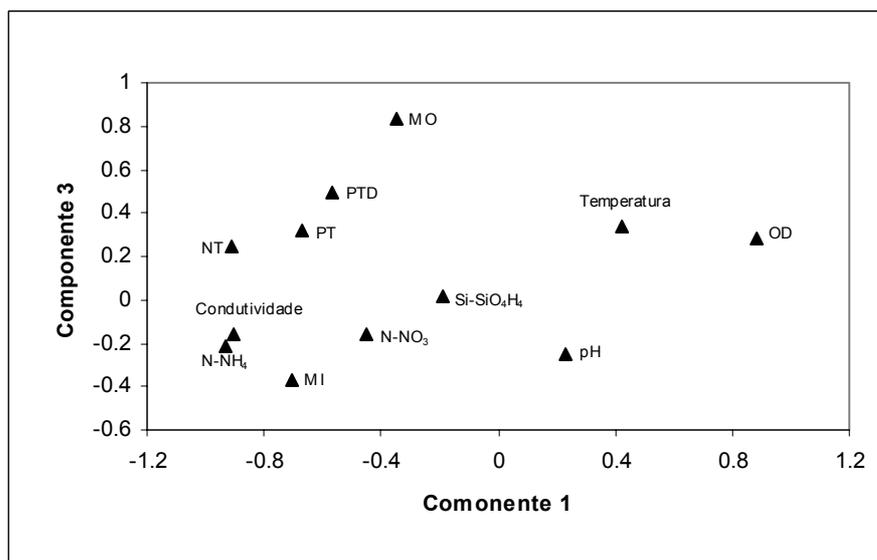


B

Figura 47 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E1 do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 2). (C1: junho/99, C2: agosto/99, C3: fevereiro/00 e C4: maio/00).



A



B

Figura 48 - Ordenação pela ACP das diferentes profundidades e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas na estação E1 do lago Dom Helvécio (Componente 1 x Componente 3). (C1: junho/99, C2: agosto/99, C3: fevereiro/00 e C4: maio/00).

## LAGO CARVÃO COM AZEITE

A profundidade máxima registrada no lago Carvão com Azeite foi de 10,5m na estação E2 em agosto de 1999. A transparência da água variou de 0,2 a 0,8m. e a extensão da zona eufótica (Zeu) de 0,6 a 2,4m. (Fig. 49).

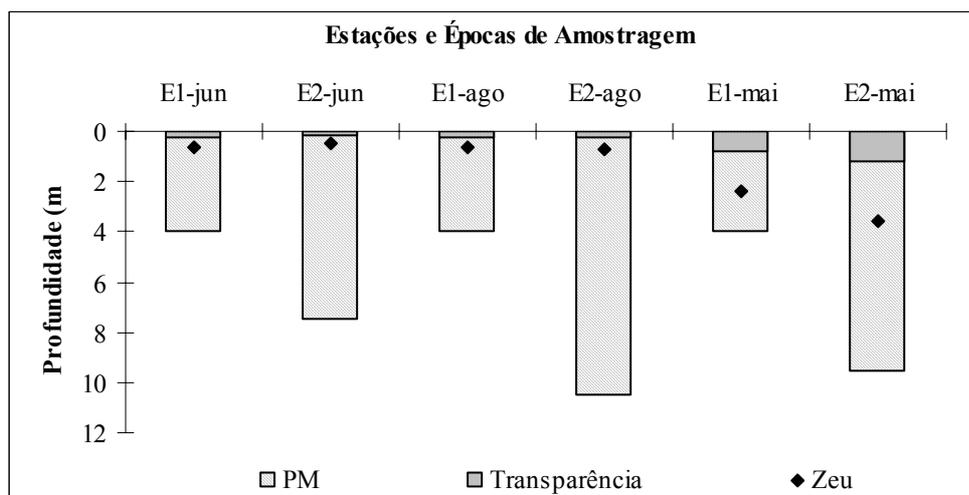


Figura 49 - Profundidade máxima (PM), transparência e extensão da zona eufótica (Zeu) (m) obtidas para as três coletas nas duas estações de amostragem do lago Carvão com Azeite.

A temperatura da água no lago Carvão com Azeite foi maior em maio de 2000. O perfil térmico foi homogêneo nas amostragens de junho e agosto de 1999 (isotérmico) e estratificado em maio de 2000, com diferença de, aproximadamente, 2,6°C entre superfície e fundo (Fig. 50).

A concentração de oxigênio dissolvido foi mais elevada em E2 de agosto de 1999 e, com exceção deste local de amostragem, observou-se que o lago apresentou baixa oxigenação em todo o período amostrado. A anoxia ocorreu a partir de 1,5m de profundidade (Fig. 51). Na Figura 52 estão plotados os perfis de temperatura juntamente com os de oxigênio dissolvido obtidos para a estação E2 durante as três coletas.

Para a condutividade foram observados valores semelhantes durante o período avaliado, o perfil vertical foi homogêneo, no entanto um aumento acentuado nos valores foi verificado a partir dos 4,5m de E2 em maio de 2000 (Tab. 16, Fig. 53).

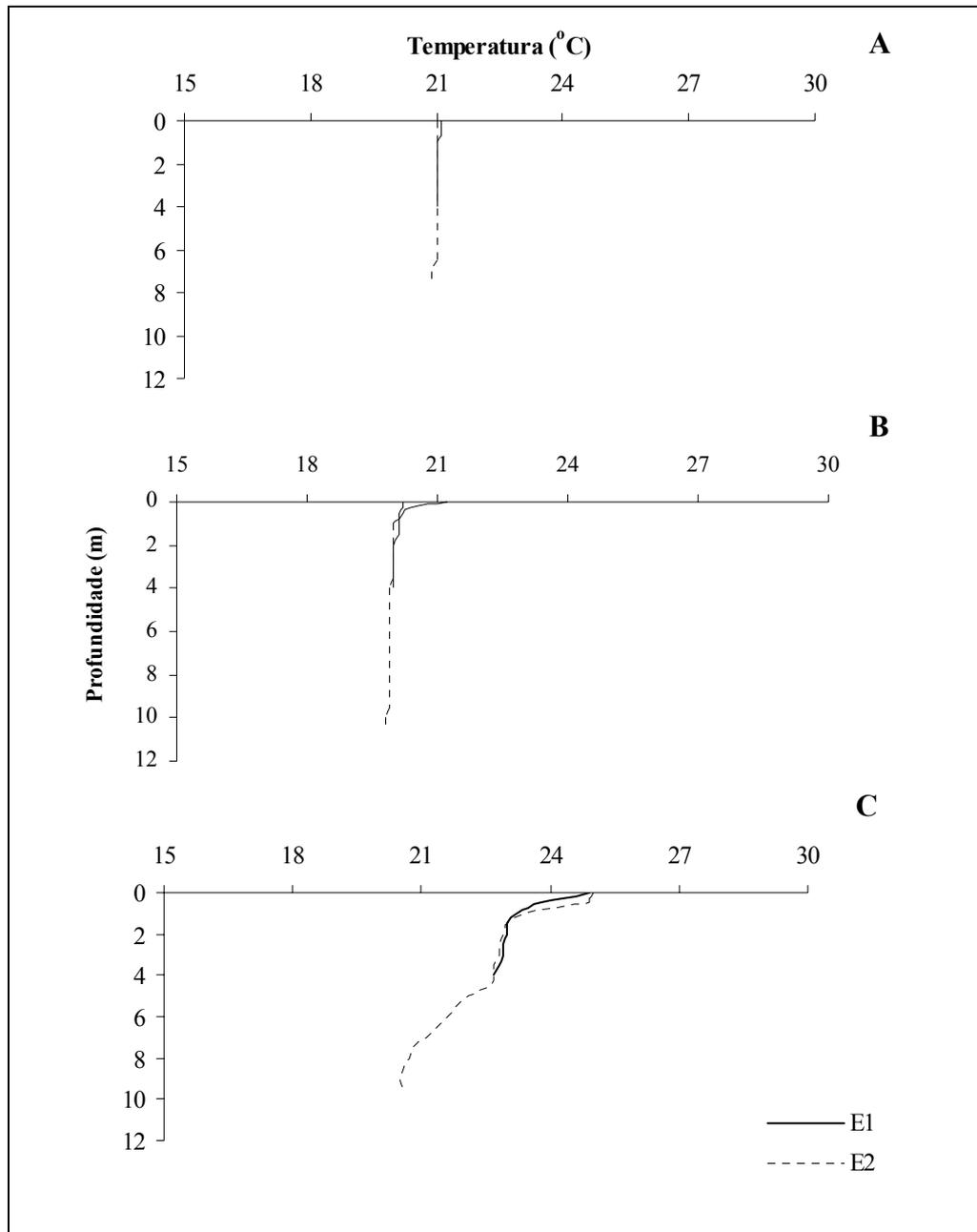


Figura 50 - Perfis térmicos (°C) obtidos para as estações E1 e E2 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.

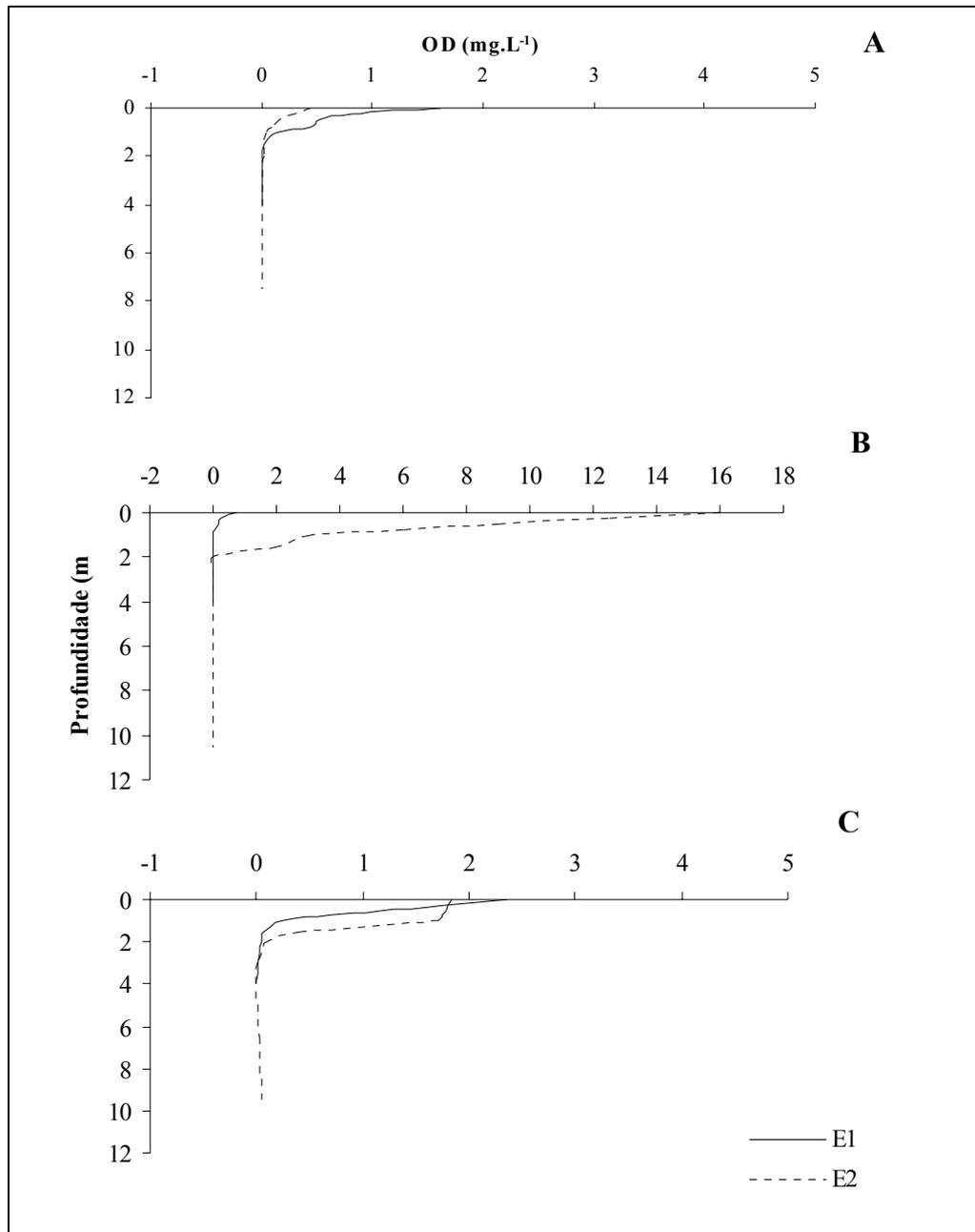


Figura 51 - Perfis de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos para as estações E1 e E2 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.

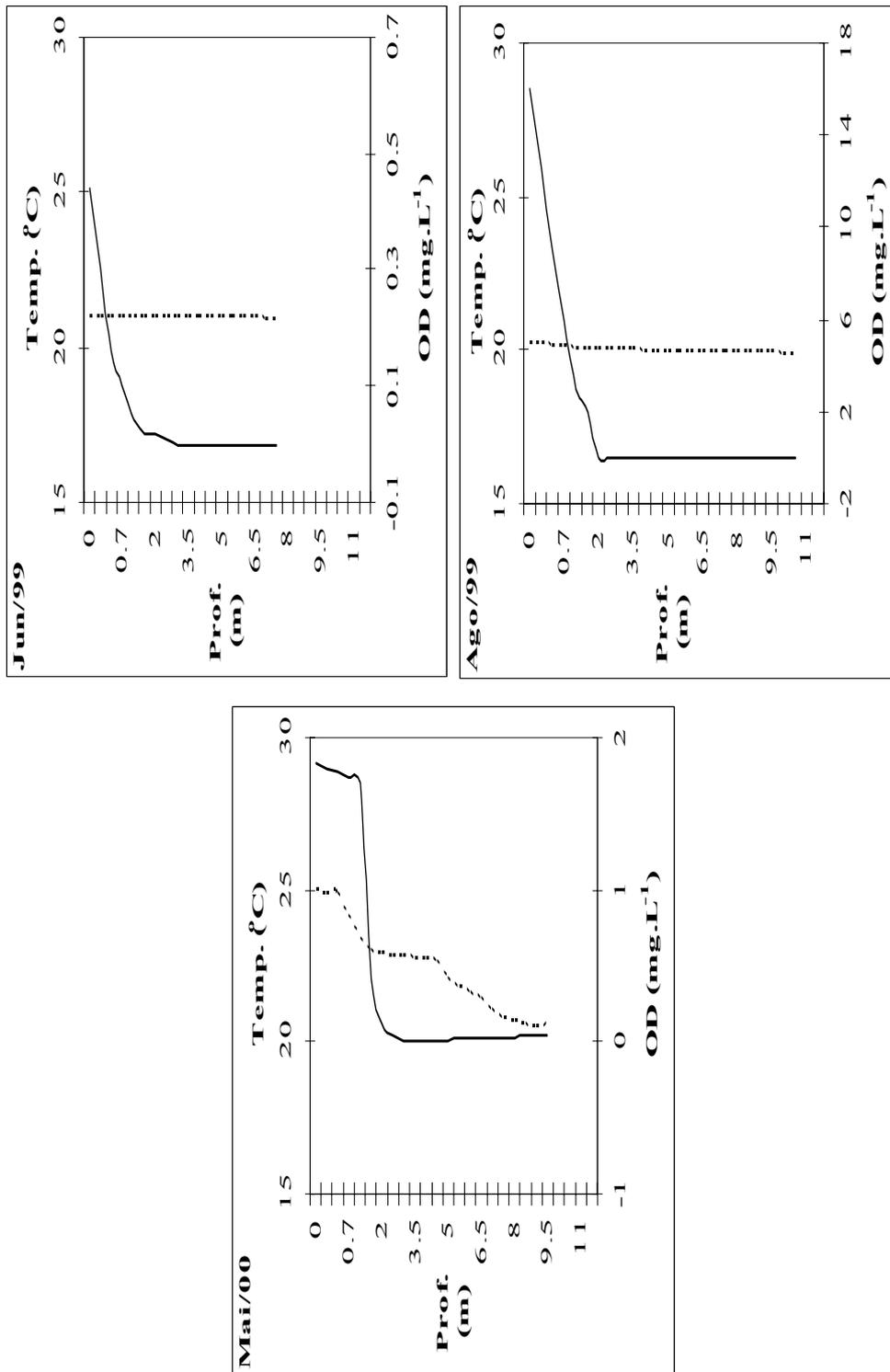


Figura 52 - Perfis verticais da temperatura (°C) e do oxigênio dissolvido - OD (mg.L<sup>-1</sup>) na coluna d'água durante as três amostragens realizadas na estação E2 do lago Carvão com Azeite (- - - Temperatura; \_\_\_\_\_ OD).

Tabela 16 - Valores obtidos da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) na coluna d'água durante as três coletas realizadas nas duas estações de amostragem do lago Carvão com Azeite.

Profundidade (m)	Junho/1999		Agosto/1999		Maio/2000	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2
0,0	31	34	35	31	31	32
0,5	32	34	34	31	32	31
1,0	35	34	34	31	32	31
1,5	35	35	35	31	32	31
2,0	35	35	35	31	32	32
2,5	36	36	35	31	32	33
3,0	37	36	35	31	33	35
3,5	39	37	35	31	34	37
4,0	42	36	36	31	35	38
4,5		36		32		67
5,0		35		32		81
5,5		35		32		90
6,0		35		32		92
6,5		34		32		98
7,0		34		31		103
7,5		35		31		107
8,0				31		112
8,5				31		119
9,0				31		121
9,5				31		204
10,0				31		
10,5				30		

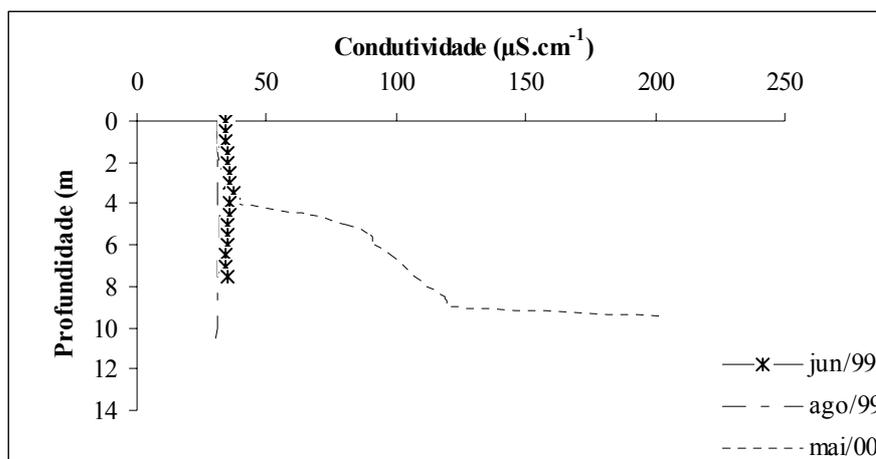


Figura 53 - Perfis de condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) na estação E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

O pH apresentou-se sempre abaixo de 6,0, não mostrando diferenças entre os períodos amostrados. Em relação ao perfil vertical, os maiores valores ocorreram na superfície e menores no fundo da coluna d'água (Fig. 54).

Os resultados obtidos para nitrito, nitrato, amônio e nitrogênio total encontram-se nas Figuras 55 e 56. Com relação à distribuição horizontal (Fig. 55), os maiores valores de nitrito e nitrato ocorreram na estação E2 em maio de 2000, ao passo que o amônio e o nitrogênio total apresentaram concentrações mais elevadas na estação E1 em junho de 1999. Em relação à distribuição vertical em E2 (Fig. 56), de forma geral, as maiores concentrações destes nutrientes ocorreram aos 5,0m de profundidade com pico máximo no mês de maio de 2000.

Os maiores valores de fósforo total e fósforo total dissolvido foram verificados em maio de 2000 (Figs. 57A e 57B). Em E2, estes nutrientes não apresentaram padrão de distribuição vertical definido (Figs. 58A e 58B). As concentrações referentes ao ortofosfato obtidas no mês de maio de 2000 foram de 4,01 e 6,15 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  nas estações E1 e E2, respectivamente. Em relação à variação vertical na estação E2, os resultados foram: 4,45, 6,80 e 4,45  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  para as profundidades 0,0, 5,0 e 10,0m, respectivamente. Nos meses de junho e agosto de 1999, as concentrações estiveram abaixo do nível de detecção do método.

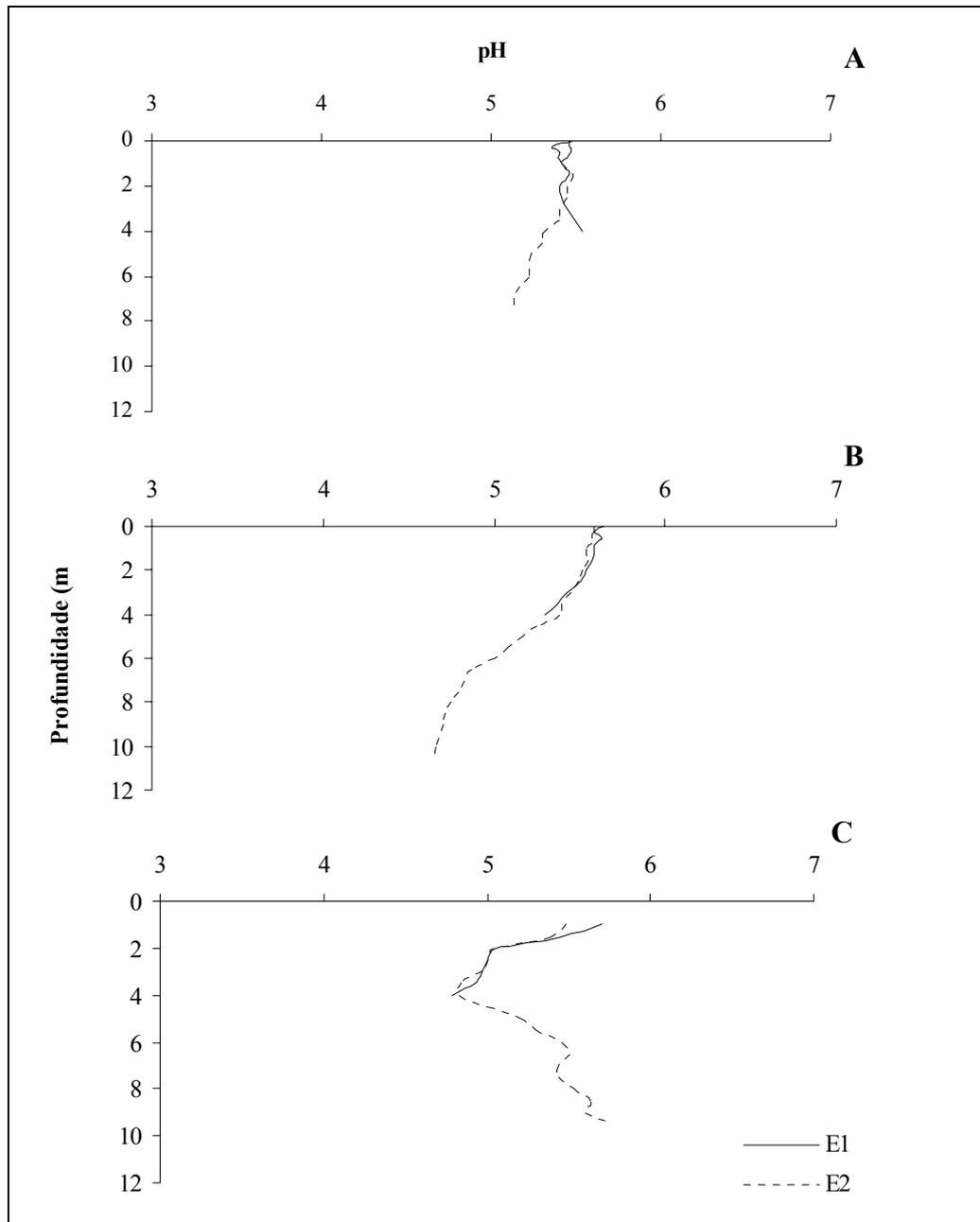


Figura 54 - Perfis de pH obtidos nas estações E1 e E2 durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.

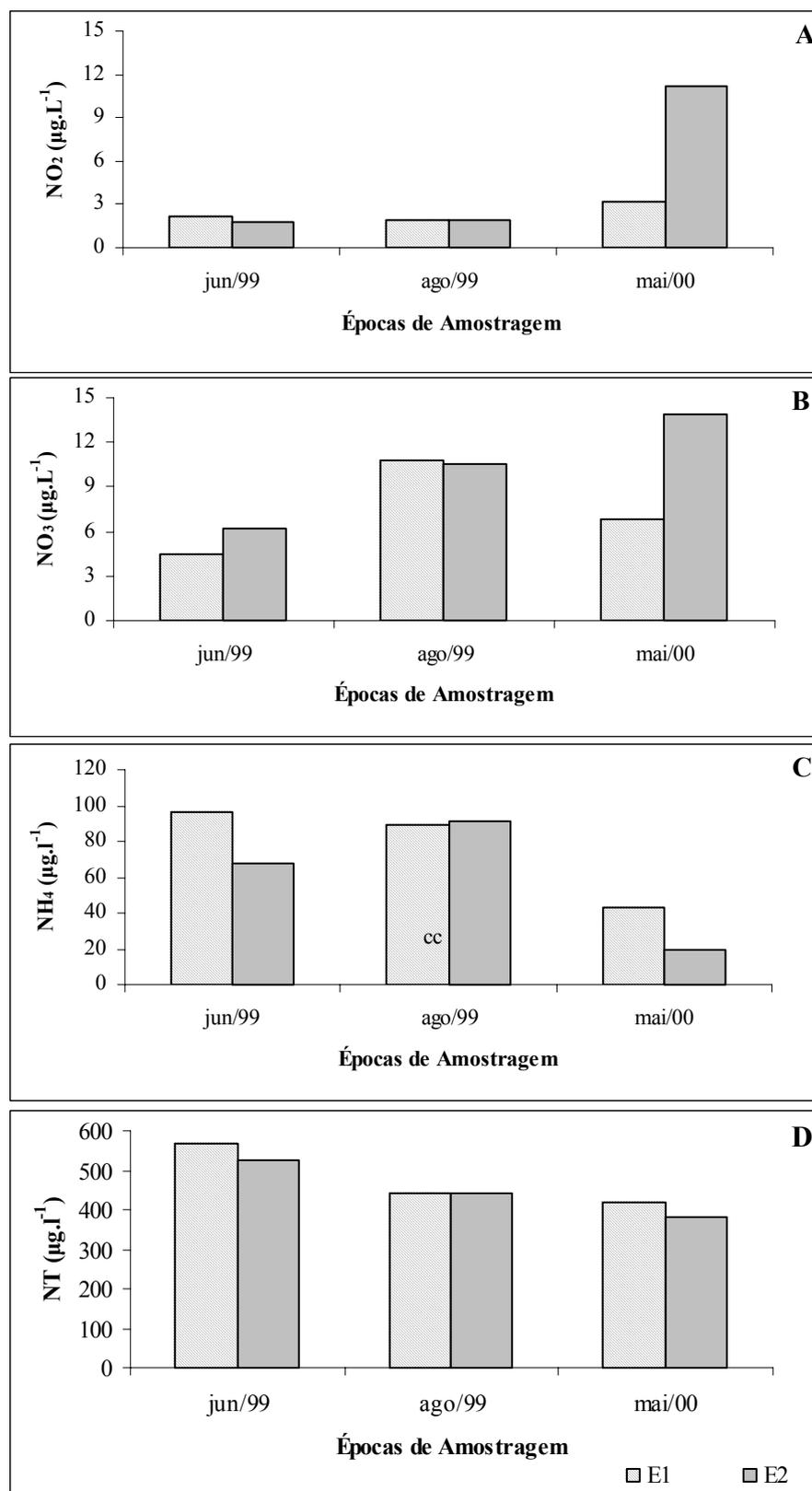


Figura 55 - Variação das concentrações de nitrito -  $\text{NO}_2$  (A), nitrato -  $\text{NO}_3$  (B), amônio -  $\text{NH}_4$  (C) e nitrogênio total - NT (D) nas estações E1 e E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

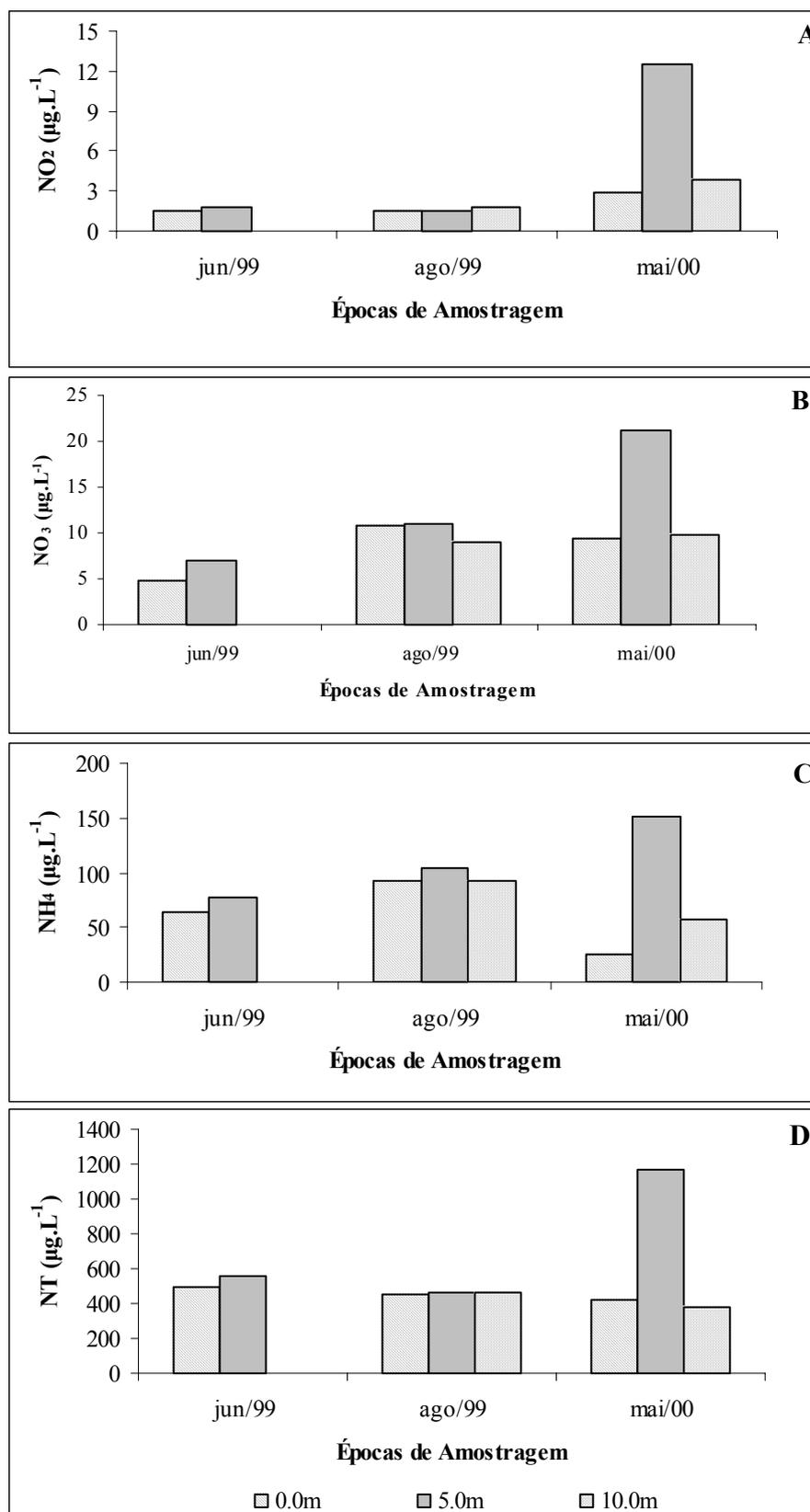


Figura 56 - Variação vertical e temporal do nitrito -  $\text{NO}_2$  (A), nitrato -  $\text{NO}_3$  (B), amônio -  $\text{NH}_4$  (C) e nitrogênio total - NT (D) na estação E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

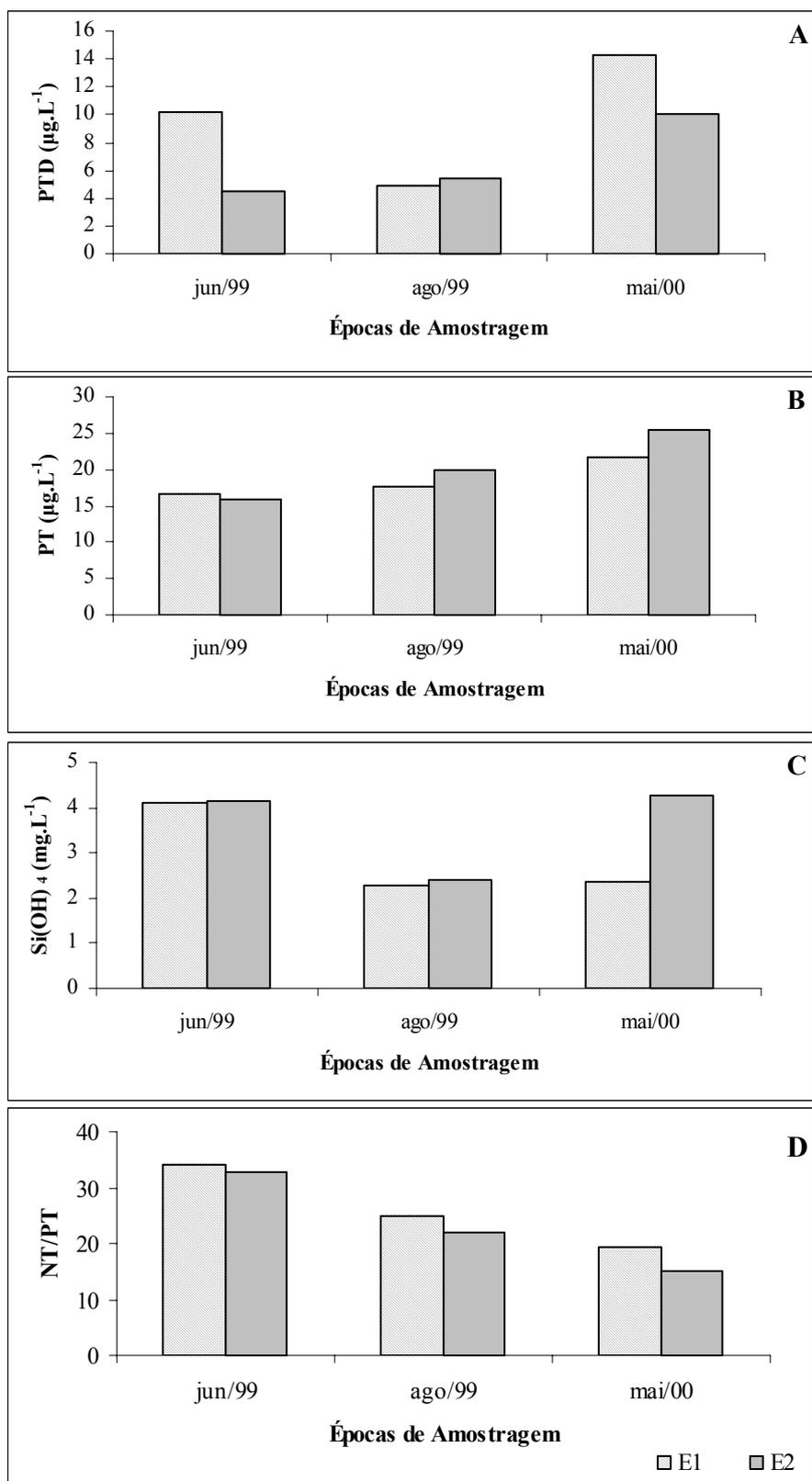


Figura 57 - Variação das concentrações de fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B), ortossilicato -  $\text{Si(OH)}_4$  (C) e da razão atômica NT/PT (D) nas estações E1 e E2 durante as três amostragem realizadas no lago Carvão com Azeite.

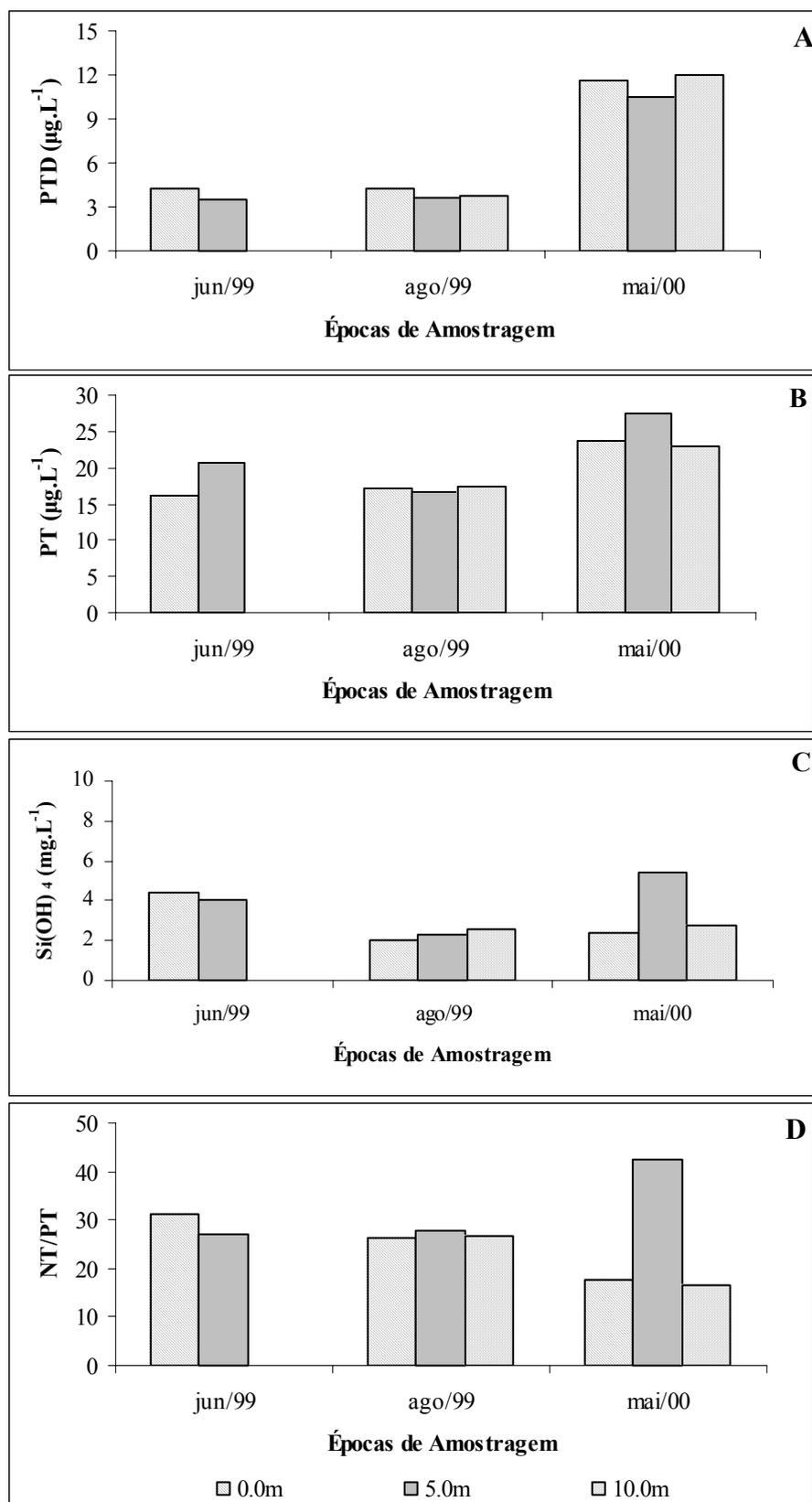


Figura 58 - Variação vertical do fósforo total dissolvido - PTD (A), fósforo total - PT (B), ortossilicato -  $\text{Si(OH)}_4$  (C) e da razão atômica NT/PT (D) na estação E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

Com relação à distribuição horizontal, a concentração de ortossilicato variou de 2,28 a 4,27mg.L<sup>-1</sup> (Fig. 57C), sendo que a estação E2 apresentou maiores valores que E1. A distribuição vertical deste nutriente não apresentou padrão definido (Fig. 58C).

A razão NT/PT variou de 14,98 a 33,95 considerando as amostragens de distribuição horizontal (Fig. 57D). As amostras de distribuição vertical em E2 apresentaram variação de 16,63 a 42,40. As maiores razões foram encontradas na superfície em junho de 1999 e aos 5,0m em agosto de 1999 e maio de 2000 (Fig. 58D).

O material em suspensão esteve constituído em maior percentagem de matéria orgânica durante todo o período analisado. Os maiores valores tanto da fração orgânica como da inorgânica ocorreram em junho de 1999 (Fig. 57) No que se refere à variação vertical, não houve padrão distribuição (Fig. 61).

O Índice de Estado Trófico (IET) estimado para o lago Carvão com Azeite variou de 44,12 a 50,89 (Tab. 17).

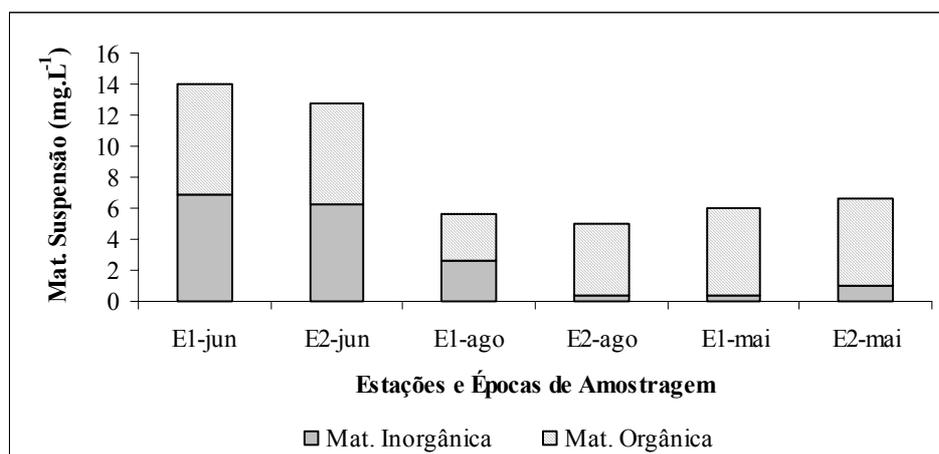


Figura 59 - Variação espacial e temporal do material em suspensão (mg.L<sup>-1</sup>) no lago Carvão com Azeite.

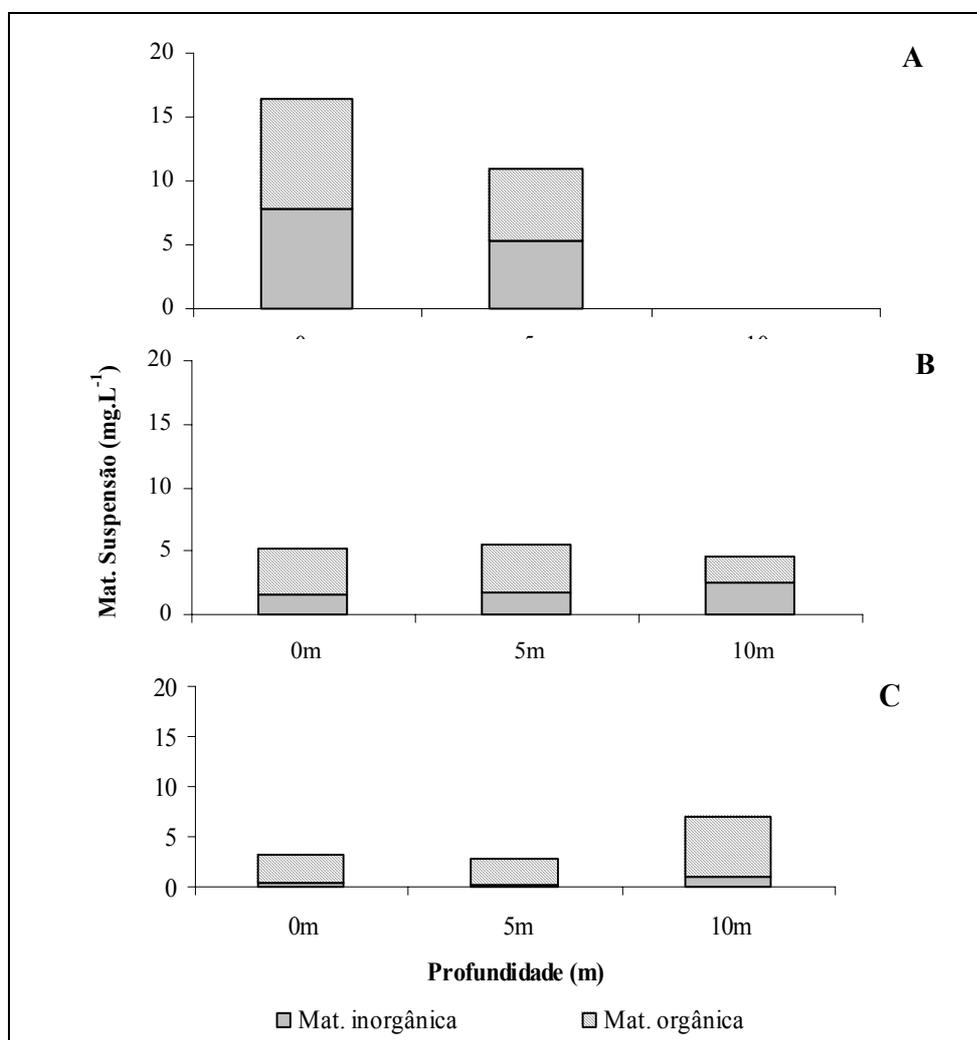


Figura 60 - Variação vertical material em suspensão (mg.L<sup>-1</sup>) na estação E2 nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio 2000 (C) realizadas no lago Carvão com Azeite.

Tabela 17 - Índices de Estado Trófico (IET) obtidos para as estações E1 e E2 durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

	Junho de 1999	Agosto de 1999	Maio de 2000
<b>E1</b>	44,78914	45,60962	48,49189
<b>E2</b>	44,11708	47,36004	50,89310
<b>Valor Médio</b>	44,45311	46,48483	49,69249

A análise de agrupamento, referente à amostragem horizontal no lago Carvão com Azeite, distanciou as três épocas de amostragem. Em agosto de 1999, as estações E1 e E2 apresentaram maior similaridade (aproximadamente 95%) e, em maio de 2000, houve a separação das duas estações, com cerca de 64% de dissimilaridade (Fig. 61). O mesmo teste realizado apenas para as variáveis abióticas na estação E2 distanciou a superfície (0,0m) da coluna d'água das demais profundidades nos meses de junho de 1999 e maio de 2000. Em agosto de 1999 não houve a separação das três profundidades avaliadas que apresentaram, cerca de 96%, de similaridade (Fig. 62).

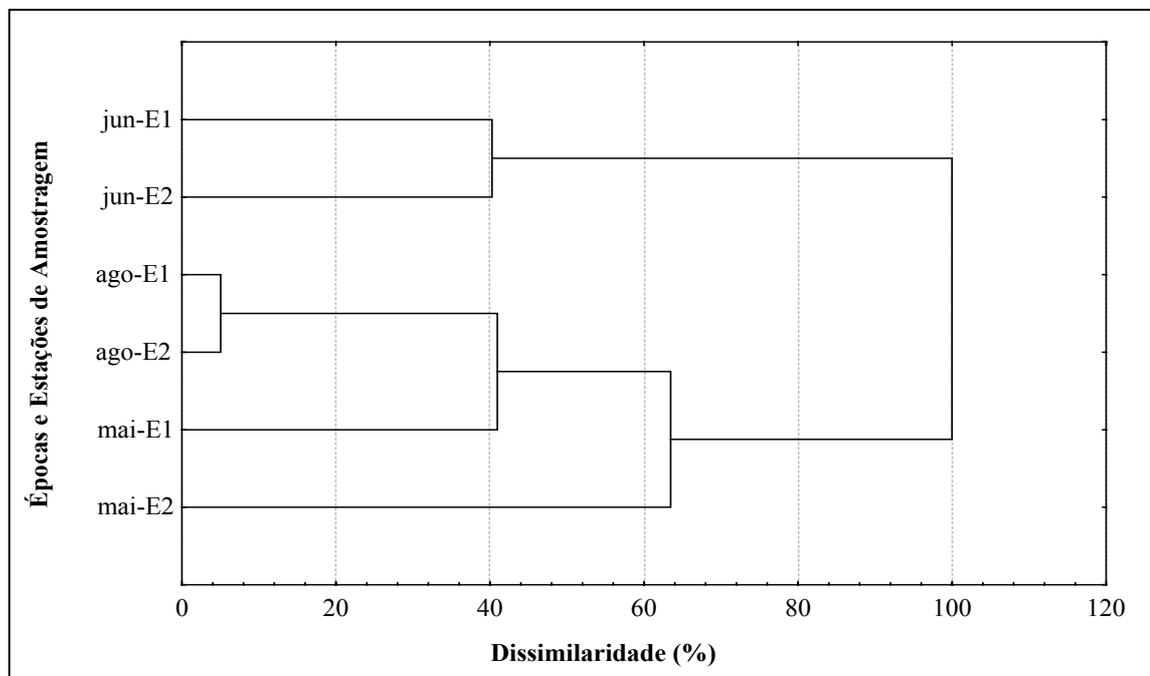


Figura 61 - Ordenação das épocas e estações de amostragem em função das variáveis físicas e químicas do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), utilizando a distância Euclidiana como método de ligação.

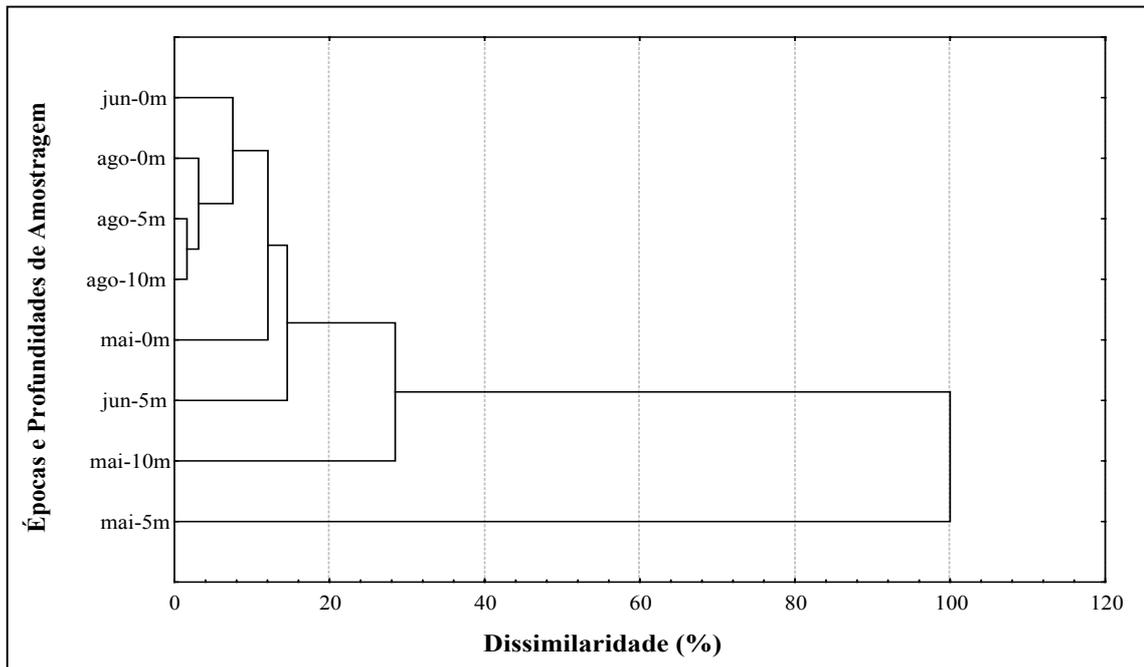
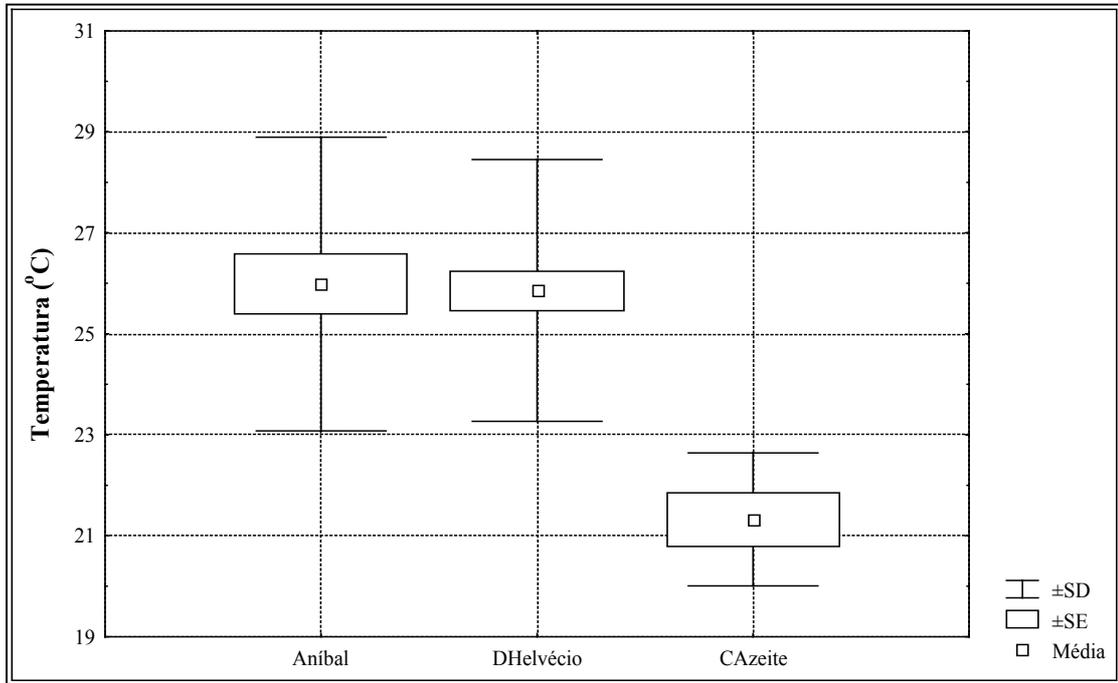


Figura 62 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem em função das variáveis físicas e químicas da estação E2 do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), utilizando a distância Euclidiana como método de ligação.

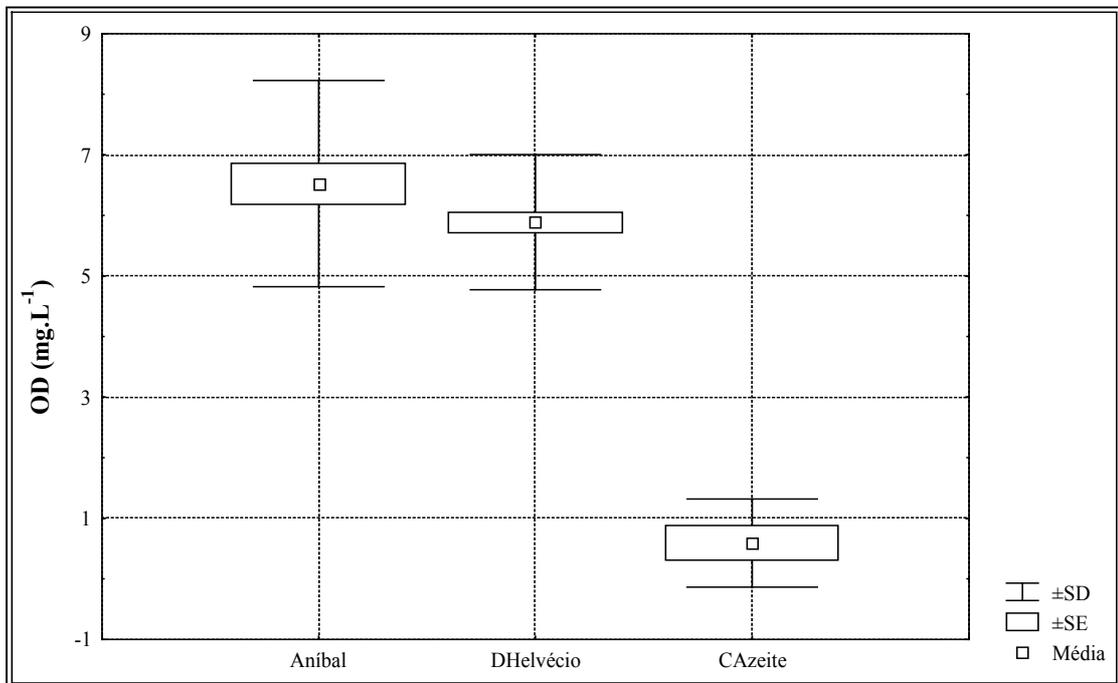
### LAGOS ANÍBAL, DOM HELVÉCIO & CARVÃO COM AZEITE

Nas Figuras 63 a 69 observa-se a variação espacial das médias dos valores da temperatura da água, OD, condutividade, pH, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NT, PTD, PT, Si(OH)<sub>4</sub>, razão NT/PT, IET, MI e MO entre os três lagos estudados.

A análise de componentes principais realizada revelou que houve 73,03% de explicação da variabilidade dos dados, pelos três primeiros componentes. O componente 1 (37,43%) distinguiu os lagos Aníbal e Dom Helvécio do lago Carvão com Azeite, relacionado ao pH, ao oxigênio dissolvido e ao amônio. O componente 2 (19,07%) distanciou a amostragem referente ao mês de maio das demais devido às concentrações de fósforo total e fósforo total dissolvido. O componente 3 (16,53%) separou a amostragem de fevereiro de 2000 do lago Aníbal e de junho de 1999 do lago Carvão com Azeite, relacionados ao nitrogênio total e à matéria inorgânica, respectivamente (Tabs. 18 e 19, Figs. 70 e 71).

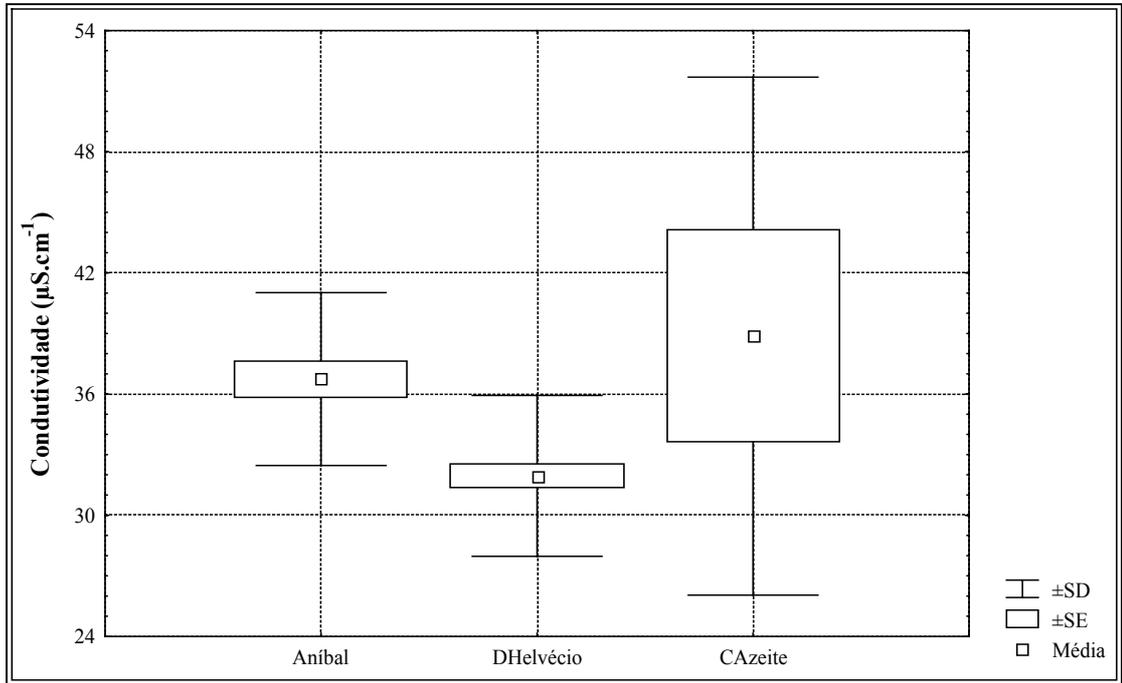


**A**

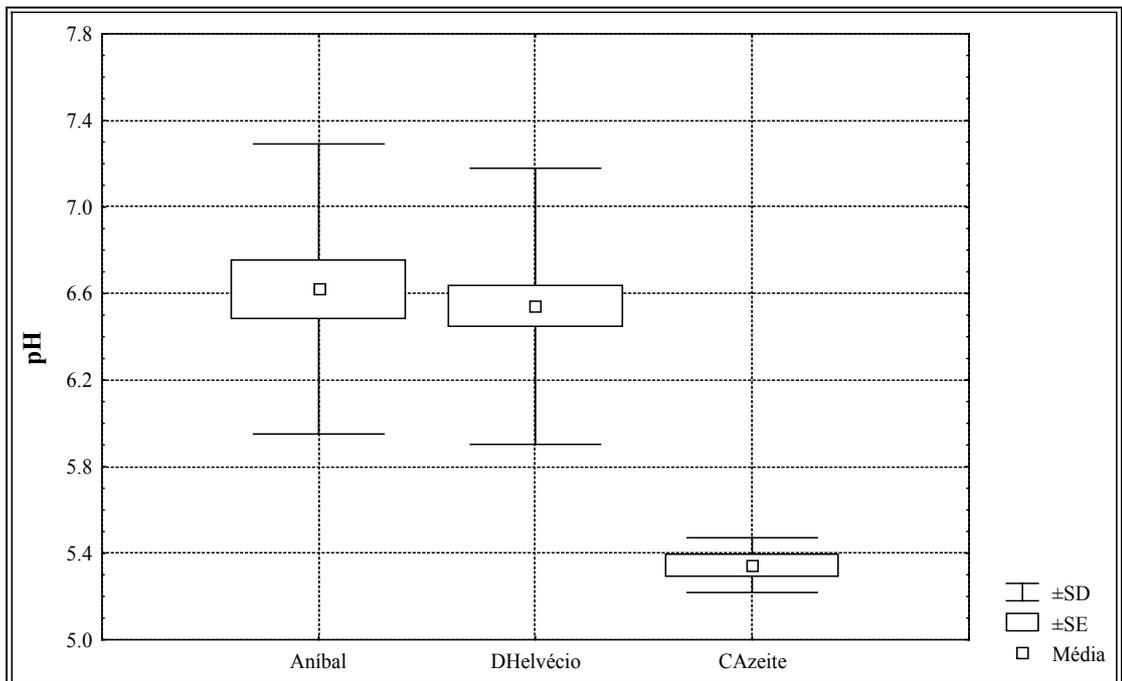


**B**

Figura 63 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da temperatura da água (°C) (A) e do oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

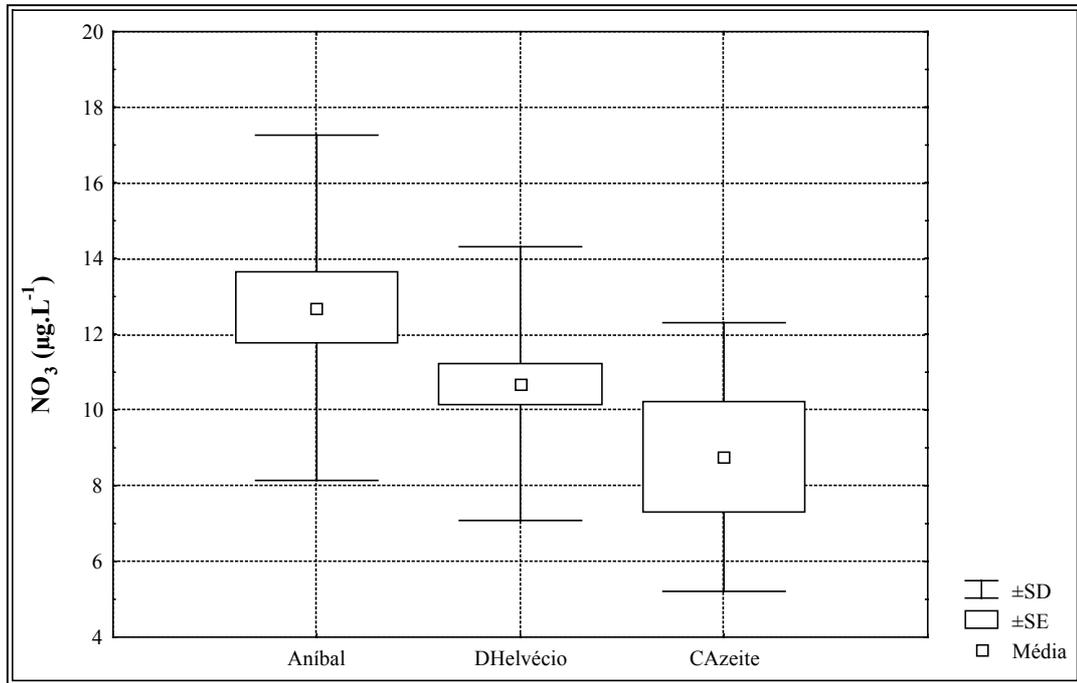


**A**

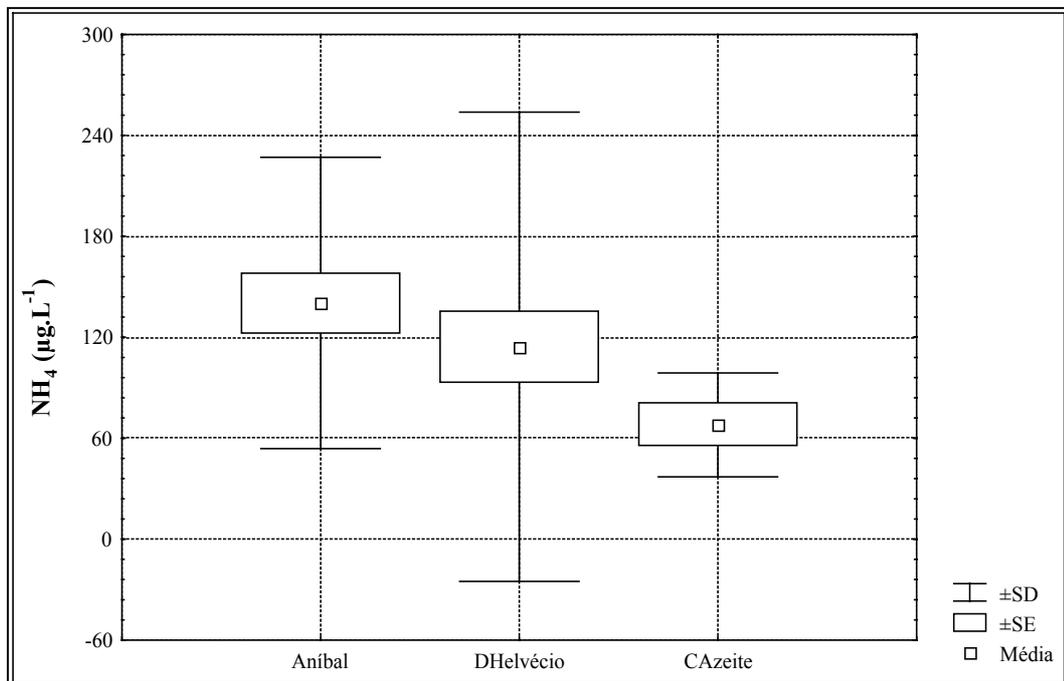


**B**

Figura 64 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) (A) e do pH (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

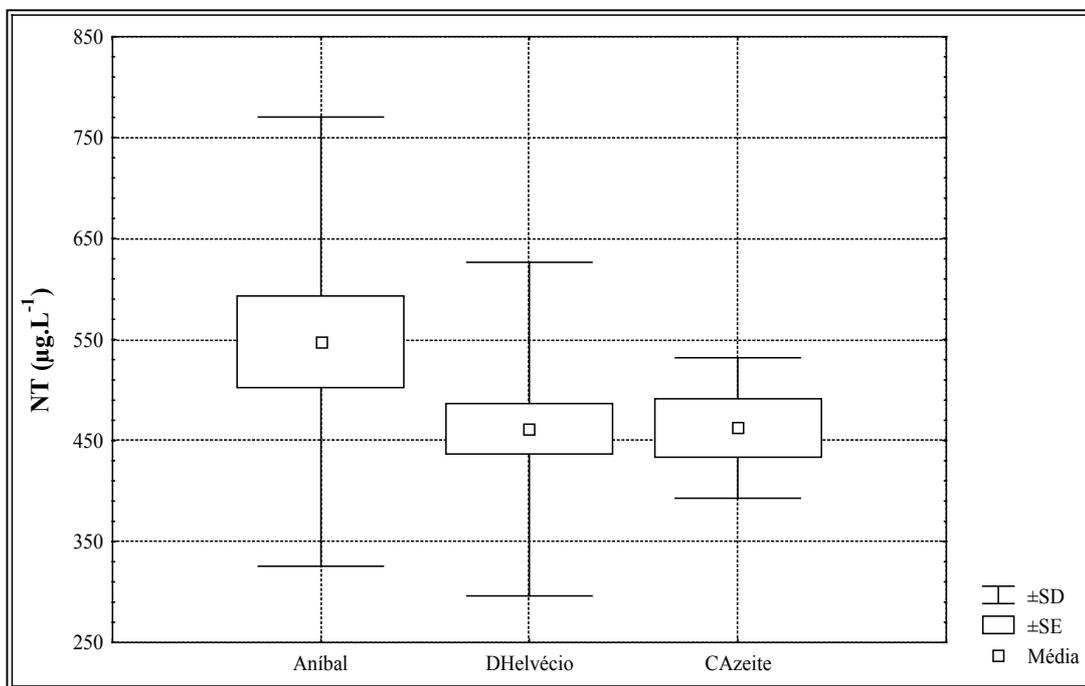


**A**

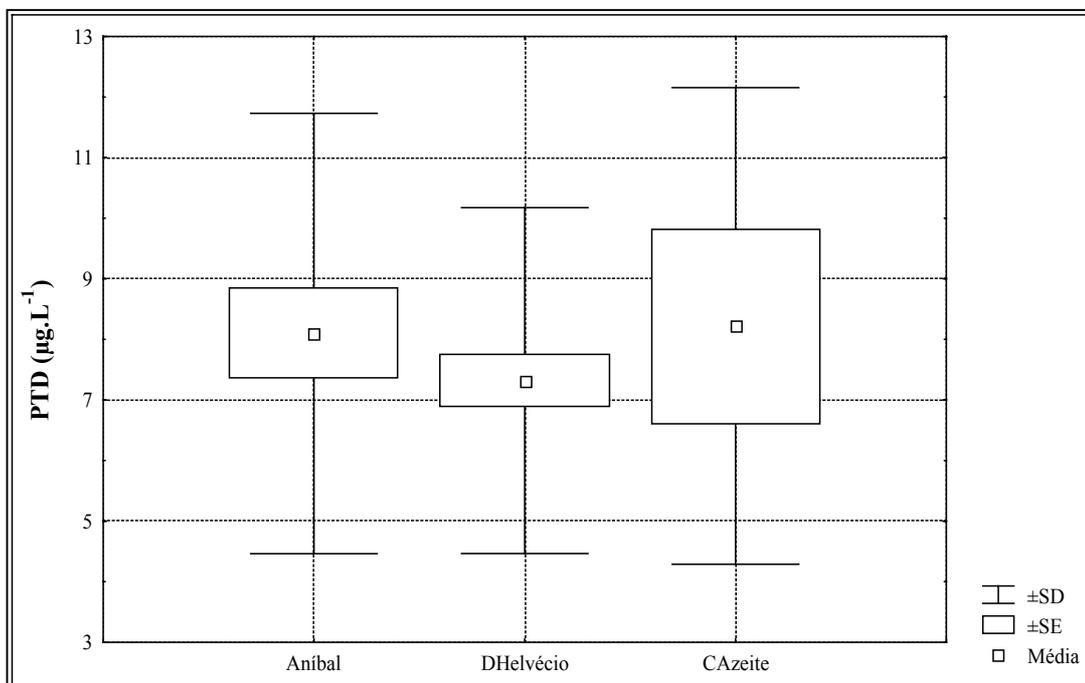


**B**

Figura 65 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão do nitrato ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (A) e do amônio ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

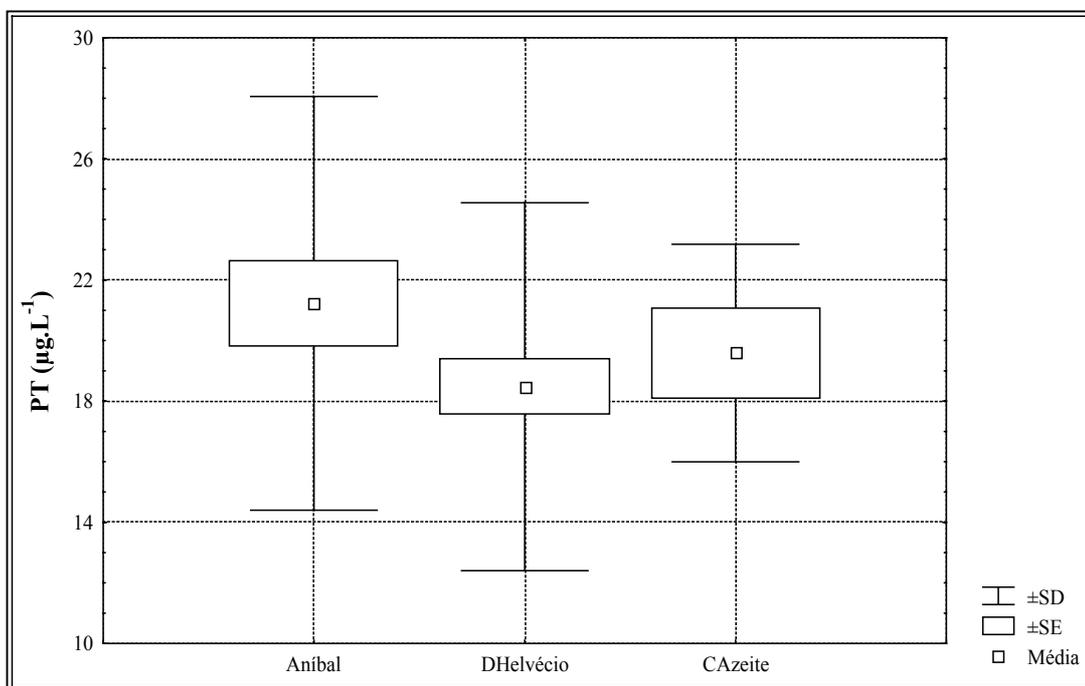


**A**

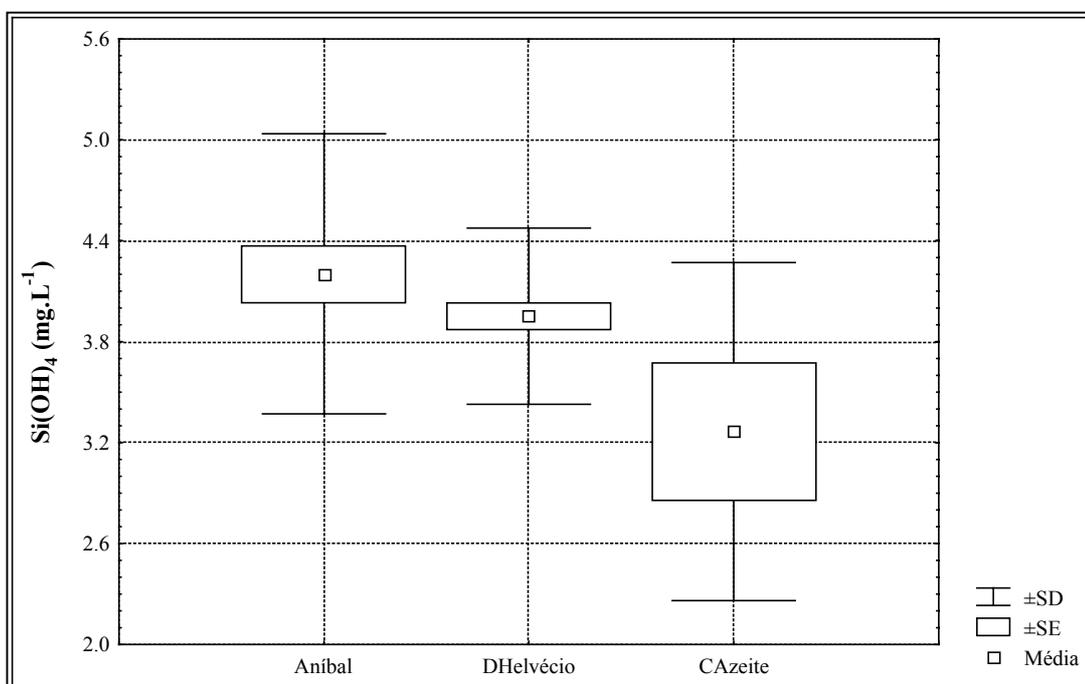


**B**

Figura 66 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão do nitrogênio total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (A) e do fósforo total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

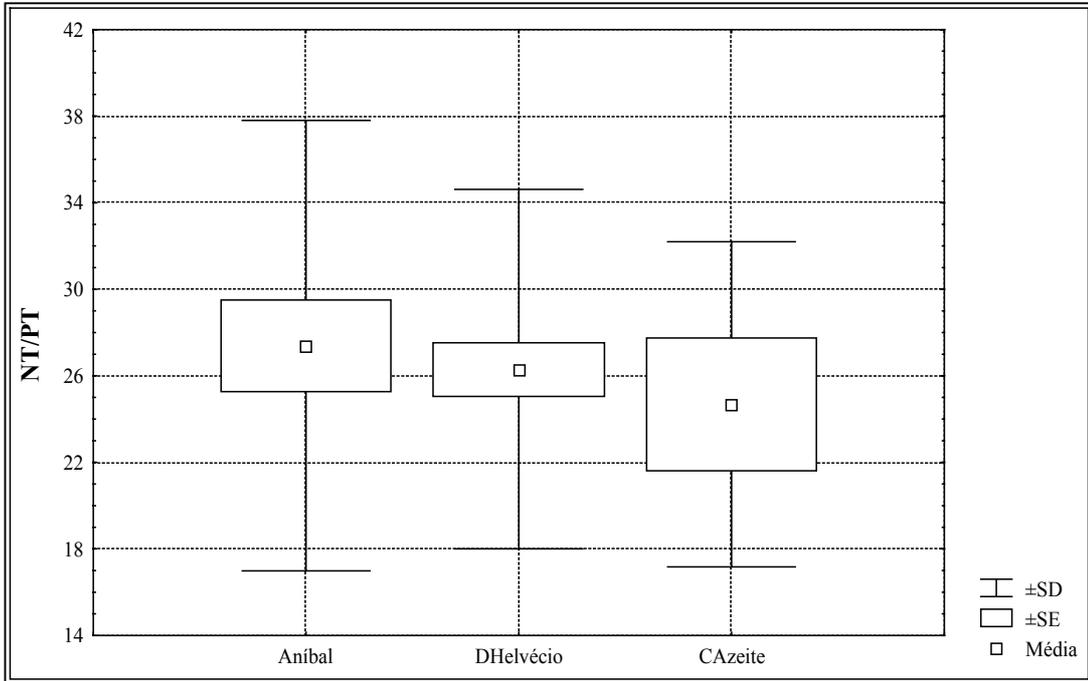


**A**

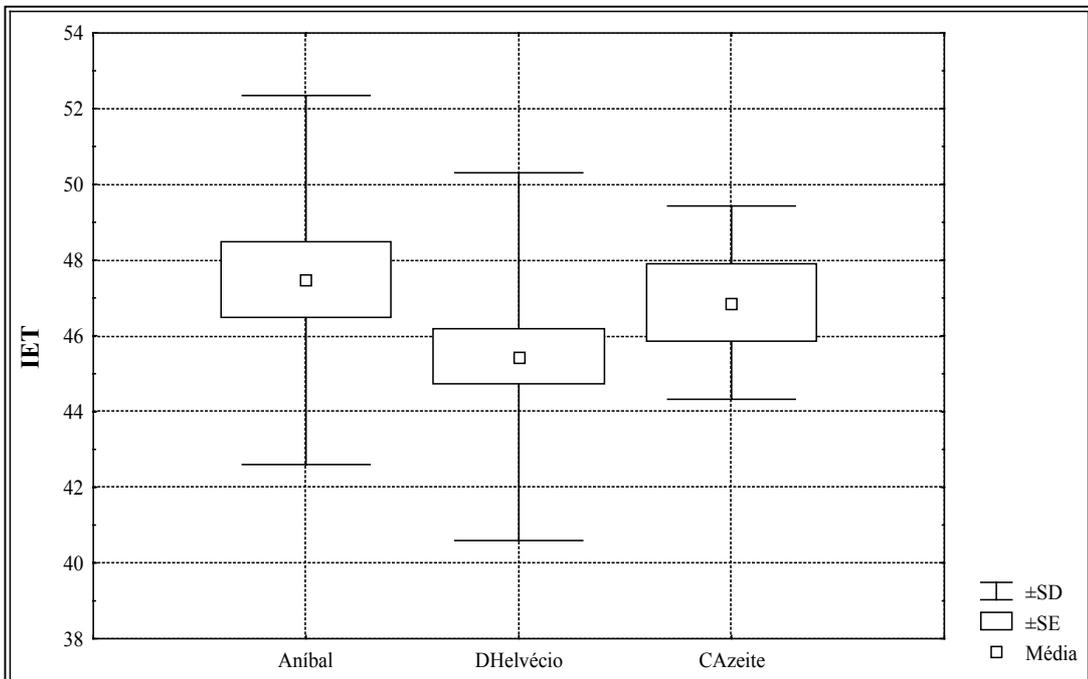


**B**

Figura 67 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão do fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (A) e do ortossilicato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

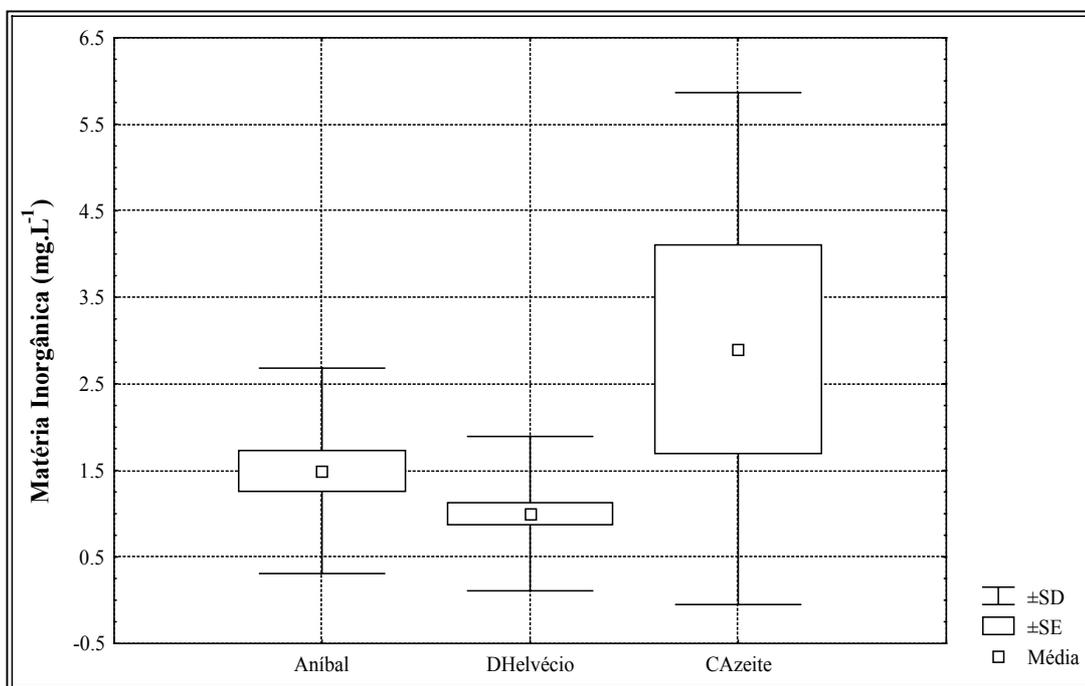


**A**

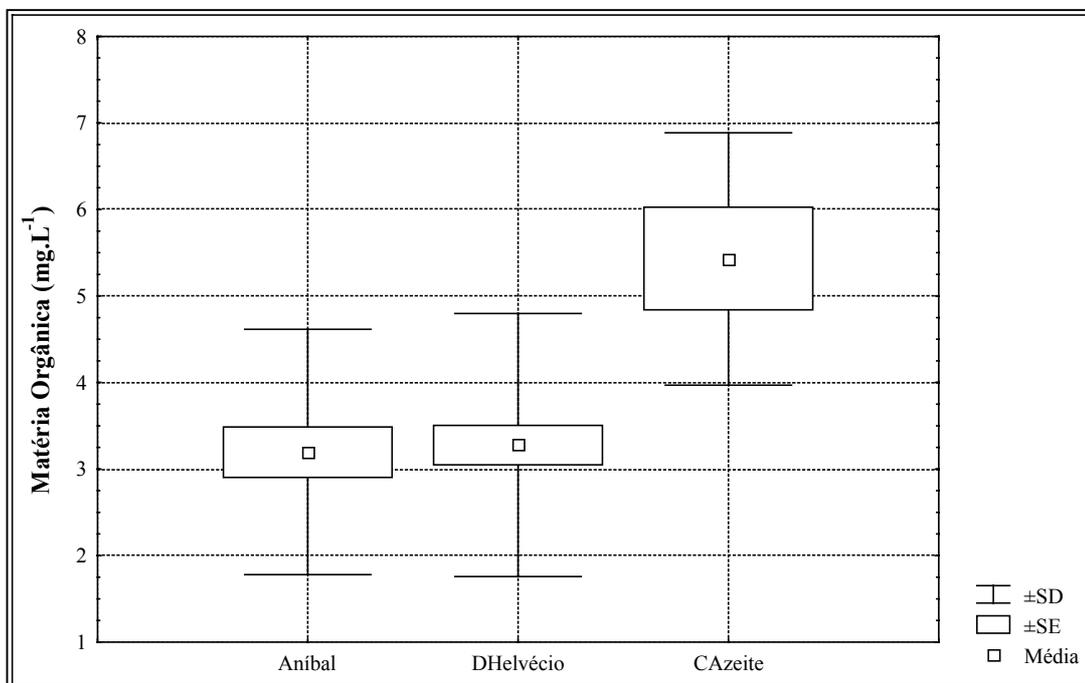


**B**

Figura 68 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da razão NT/PT (A) e do IET (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.



**A**



**B**

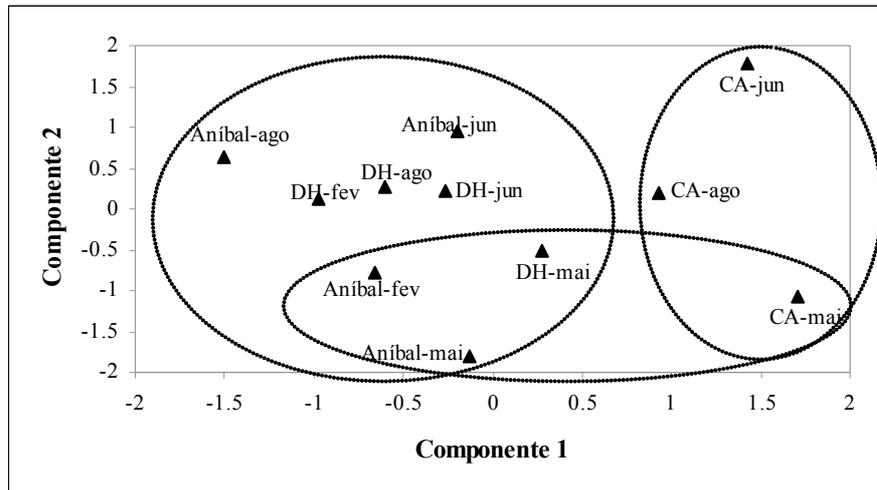
Figura 69 – Valores médios, desvio padrão e erro padrão da matéria inorgânica (A) e orgânica (B) em suspensão (mg.L<sup>-1</sup>) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

Tabela 18 – Número de *Eigenvalues* (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas em função dos locais (lagos) e épocas amostragem.

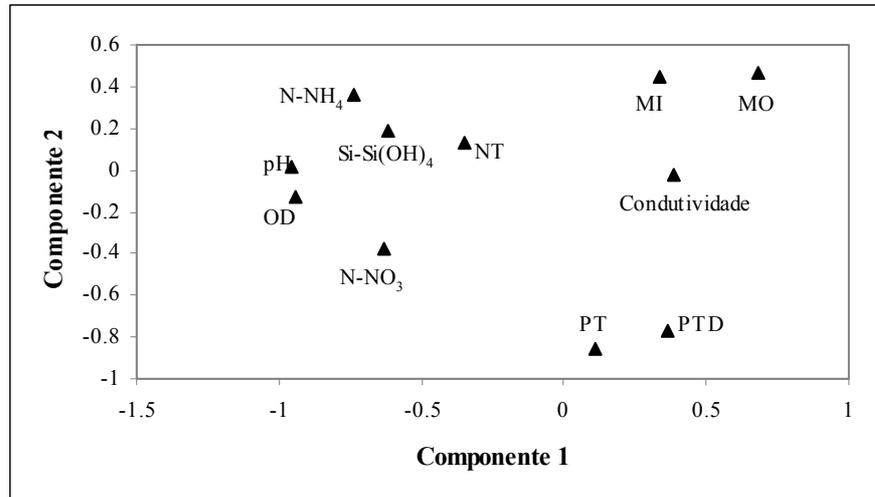
Número do <i>Eigenvalue</i>	Valor do <i>Eigenvalue</i>	% total da variância	% acumulada da variância
1	1	37,43	37,43
2	2	19,07	56,50
3	3	16,53	73,03

Tabela 19 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite com os componentes principais 1, 2 e 3 (\* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
OD	-0,943143*	-0,131137	-0,010292
pH	-0,954816*	0,016591	0,007643
Condutividade	0,388258	-0,021677	-0,231228
NO <sub>3</sub>	-0,627850	-0,378566	-0,121031
NH <sub>4</sub>	-0,738982*	0,360732	-0,178900
NT	-0,350493	0,130847	0,790989*
PTD	0,364201	-0,773445*	0,240515
PT	0,110870	-0,856777*	0,465219
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,619500	0,188524	0,525557
MI	0,332676	0,448486	0,720461*
MO	0,680667	0,469541	0,151525

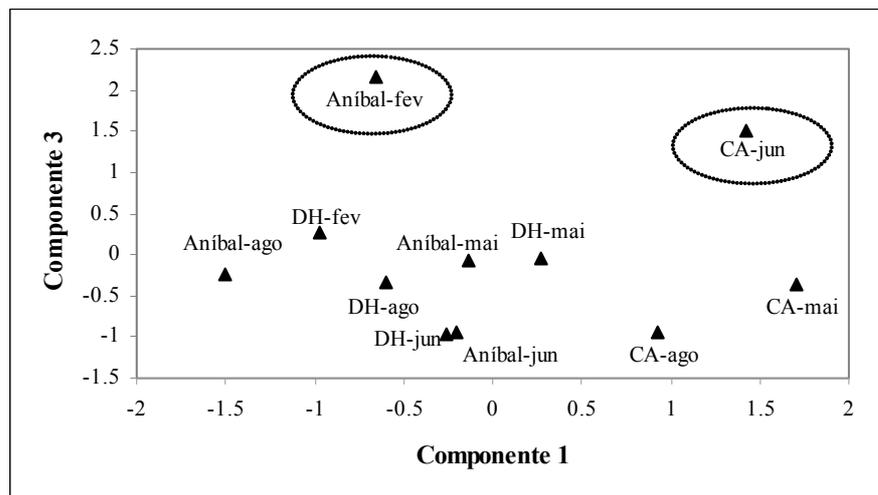


**A**

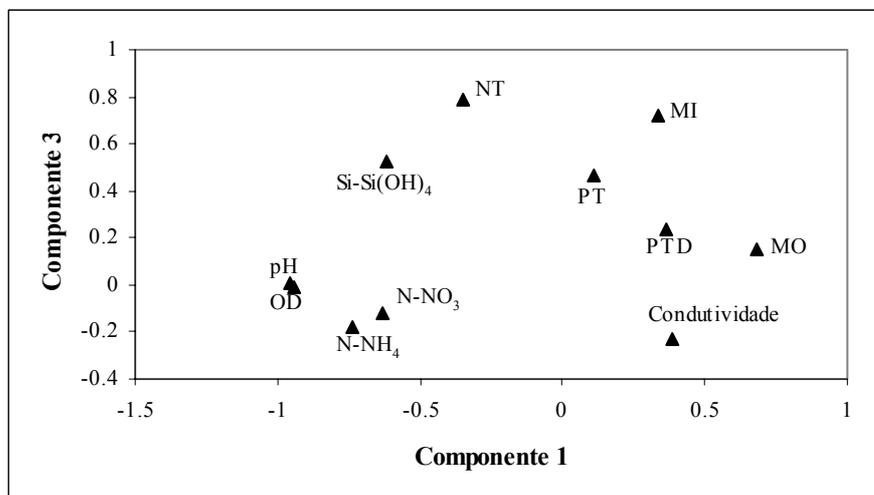


**B**

Figura 70 - Ordenação dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas (B) (componente 1 x componente 2).



A



B

Figura 71 - Ordenação dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis físicas e químicas (B) (componente 1 x componente 3).

## DISCUSSÃO & CONCLUSÕES

Neste estudo, observou-se que os lagos apresentam diferenças nas características físicas e químicas da água e que dentro de cada sistema há uma diferenciação espacial. Verificou-se que a duração dos períodos de estabilidade e circulação da coluna d'água pode ter ocorrido devido à morfologia de cada lago. Ainda, que essa ocorrência de isoterminia e heteroterminia influenciou de forma decisiva nas outras características avaliadas.

O lago Dom Helvécio foi o que apresentou maior profundidade, transparência da coluna d'água e extensão da zona eufótica dentre os três lagos avaliados. Os lagos Aníbal e Carvão com Azeite apresentaram profundidades semelhantes. No entanto, o lago Carvão com Azeite apresentou transparência e extensão da zona eufótica bem menores que o lago Aníbal. E analisando ainda os dados publicados por TUNDISI *et al.* (1997b), nota-se que o lago Carvão com Azeite mostrou uma grande redução da transparência da água. Em julho de 1987, a transparência foi de 4,5m. Isto está relacionado principalmente a dois fatores: primeiro, pela cor da água que é amarelada e segundo pela cobertura de macrófitas aquáticas em toda a extensão do lago, que interferiu na penetração de luminosidade. Segundo ROCHA (comunicação pessoal), até o ano de 1997, o lago não era coberto ainda por macrófitas aquáticas, que se localizavam apenas nas margens.

Entre as quatro amostragens realizadas, o lago Aníbal foi isotérmico em três (junho e agosto de 1999 e maio de 2000. Apenas fevereiro de 2000 foi considerado tipicamente estratificado (diferença de 5,6°C entre superfície e fundo da coluna d'água), metalímnio formado aproximadamente, dos 5,0m aos 9,0m. O lago Dom Helvécio esteve estratificado em fevereiro de 2000 – diferença de 6,3 °C (metalímnio formado aos 8,5-10,0m) e maio de 2000 - diferença de 4,4 °C (metalímnio localizado aproximadamente, na faixa de 12,0-14,0m). O lago Carvão com Azeite apresentou-se estratificado em maio de 2000 - diferença de 4,4 °C, com a formação de uma camada metalimnética entre 1,5 a 4,5m.

HENRY *et al.* (1997b) afirmaram que a regulação térmica dos lagos está relacionada à climatologia e à morfometria, (área, volume e máximo de profundidade) e verificou que este componente influenciou no conteúdo de calor dos lagos quando analisados comparativamente. Assim, o lago Dom Helvécio, por ser mais extenso e de maior profundidade, deve apresentar maior período de estabilidade térmica, pois o processo de homogeneização da coluna d'água é mais difícil e mais longo. Por outro lado, os lagos Aníbal e Carvão com Azeite apresentaram profundidades semelhantes na região limnética, porém menores que a do lago Dom Helvécio. Dessa forma, pode-se dizer que a presença da vegetação circundante foi decisiva. Supõe-se que, o lago Carvão com Azeite, por possuir dimensões menores que o lago Aníbal ficou mais protegido da ação dos ventos que ocorre durante o inverno, pela vegetação circundante e também pela própria cobertura de macrófitas aquáticas, assim, permaneceu estratificado em maio de 2000. E o lago Aníbal, por possuir maiores dimensões, apresentou a região limnética mais suscetível à ação dos ventos e conseqüente circulação da coluna d'água. Pelos mesmos motivos pode-se dizer por que o lago Carvão com Azeite sempre apresentou temperaturas mais baixas que os outros dois lagos estudados.

TUNDISI & MUSARRA (1986) confirmaram que o *mixing* é menos efetivo nos lagos mais profundos com forma dendrítica. Através de critérios geomorfológicos e limnológicos, MOUSINHO-DE-MEIS & TUNDISI classificaram os lagos do Vale do Rio Doce em quatro tipos:

- Tipo “Dom Helvécio”: dendrítico, profundo, com baixa circulação;
- Tipo “Jacaré e Barra”: dendrítico, raso, com circulação mais rápida (onde se enquadra o lago Aníbal);
- Tipo “Carioca”: forma arredondada, raso, com circulação mais eficaz que o tipo “Dom Helvécio”;
- Tipo “várzea”: que em alguns casos representa o final do estágio sucessional dos lagos.

Dentro desta classificação, o lago Carvão com Azeite se enquadra a um mixto do tipo “Carioca” com “tipo várzea”.

Contudo, para confirmar a duração dos períodos de estabilidade e circulação seria necessário o acompanhamento por, pelo menos, um ciclo anual, principalmente

nos lagos Aníbal e Carvão com Azeite, para os quais não existem ainda muitos dados limnológicos.

Para o lago Dom Helvécio, PONTES (1980) verificou que o epilímnio se desenvolve a partir de final de março e durante o mês de abril, por um processo de resfriamento das camadas superiores do lago, devido ao começo da estação fria e alcança profundidade máxima por volta dos 17m. A quase ausência de ventos e a temperatura ambiente mais fria fazem com que, pouco a pouco, a termoclina se aprofunde e gradualmente o hipolímnio vai se tornando menos espesso até o desaparecimento total, quando então ocorre a circulação. A partir de agosto e setembro novamente as camadas superiores experimentam um lento e gradual aquecimento, estabelecendo durante novembro a termoclina, que se desenvolve até março, quando então se inicia o processo de resfriamento.

TUNDISI *et al.* (1978 *apud* PONTES, 1980) verificaram que há somente uma circulação anual no lago e que esta ocorre no período mais frio. De acordo com estes autores, a estabilidade térmica do sistema está assegurada devido à localização do lago em vales e à quase ausência de ventos e também à sua morfometria. Por outro lado, a ocorrência de múltiplas termoclinas em ciclos diurnos parece ser comum nos lagos do sistema do Vale do Rio Doce e foi verificada no lago Dom Helvécio (em novembro de 1977 pelo Prof. Dr. José Galizia Tundisi, segundo PONTES, 1980) e na lagoa Carioca por BARBOSA (1979). Este autor comentou que, apesar de apresentar um padrão sazonal de temperatura, a formação e quebra de termoclinas diárias durante o inverno ocorre devido ao resfriamento gradual da coluna d'água a partir da superfície.

A anoxia observada durante o inverno (período isotérmico), segundo TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982), ocorre devido à ausência de um mecanismo muito intenso de turbulência e também ao acúmulo de matéria orgânica no hipolímnio que é oriunda da vegetação alóctone. WETZEL (1993) afirmou que a depleção de oxigênio dissolvido no hipolímnio não é compensada por mecanismos de circulação e fotossíntese como ocorrem no epilímnio e metalímnio. Ainda segundo este autor, a distribuição de oxigênio na coluna d'água interfere na composição de nutrientes, uma vez que altera a solubilidade de alguns íons. O desenvolvimento de condições redutoras

no hipolímnio durante a estratificação afeta a disponibilidade de fosfato para o meio e reduz o nitrato para amônio.

No presente estudo, observou-se que as variações estacionais do oxigênio dissolvido refletiram o padrão térmico desenvolvido nestes dois lagos, o que não ocorreu com o lago Carvão com Azeite. Além disso, este lago apresentou baixíssimas concentrações deste gás. Em amostragens realizadas nos anos de 1985 e 1987 por TUNDISI *et al.* (1997b), mostram durante este período que o ambiente era bem oxigenado, com concentrações variando entre 6 a 9mg.l<sup>-1</sup>. Os resultados do presente estudo estão relacionados, provavelmente, com a total cobertura de macrófitas aquáticas neste ambiente que aumenta o processo de decomposição e consumo de OD. A anoxia total (0,0mg.L<sup>-1</sup> de OD) foi verificada a partir de 2,0m de profundidade, considerando a estação limnética (E2). Já nos lagos Aníbal e Dom Helvécio, a anoxia ocorreu a partir dos 9,0m e 11,0m, considerando as estações E3 e E1 de cada lago, respectivamente.

As medidas de condutividade elétrica são um excelente indicador das condições ecológicas que acompanham os processo de isoterмия e heterotermia (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982). Esta afirmação é verdadeira, quando se analisando os dados de condutividade ao longo da coluna d'água nos lagos em estudo. A condutividade dos lagos Aníbal e Dom Helvécio foi maior nos períodos considerados isotérmicos. Porém em relação ao perfil na coluna d'água, o lago Aníbal foi homogêneo nos meses de junho e agosto de 1999 e maio de 2000. O aumento gradativo da condutividade só foi observado em fevereiro 2000 (período estratificado termicamente). O lago Dom Helvécio, por sua vez, apresentou este aumento gradativo ao longo da coluna d'água em todas as coletas; porém em junho de 1999 e agosto 1999 este aumento só foi observado nas estações limnéticas de maior profundidade (E1 e E8), ao passo que em fevereiro e maio de 2000 (períodos estratificados), o aumento da condutividade também ocorreu nas estações E3 e E5. O lago Carvão com Azeite apresentou valores semelhantes em todas as coletas realizadas e somente no mês de maio de 2000 houve uma distribuição heterogênea ao longo da coluna d'água. De forma geral, os valores de condutividade elétrica foram semelhantes entre os três lagos. Esse aumento gradativo da condutividade ao longo da coluna d'água no período de estabilidade foi relatado para o lago Dom Helvécio para o ano de 1976, 1977 e 1978 (TUNDISI & MATSUMURA-

TUNDISI, 1982; PONTES, 1980) e também para o lago Carioca em 1976, 1978 e 1981 (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982; BARBOSA & TUNDISI, 1980; REYNOLDS *et al.*, 1983) e lagoa Bonita em 1976 (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982).

Comparando os dados de condutividade das amostragens realizadas em novembro de 1985 e julho de 1987 por TUNDISI *et al.* (1997) com os do presente estudo, nota-se que os lagos Aníbal e Dom Helvécio não apresentaram diferenças, ao passo que no lago Carvão com Azeite houve aumento nos valores pois em novembro de 1985 e julho de 1987 a condutividade reportada por aqueles autores foi de aproximadamente  $24,0\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , enquanto no presente estudo os valores registrados em junho e agosto de 1999 e maio de 2000, foram superiores a  $30,0\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Analisando os dados de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica ao longo da coluna d'água no lago Dom Helvécio, pode-se dizer que não ocorreu total circulação da coluna d'água nas estações de maior profundidade no inverno de 1999, indicando que o lago apresentou características meromíticas. Apesar dos lagos do sistema Vale do Rio Doce serem caracterizados como monomíticos, é possível, de acordo com TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982), que em alguns anos ocorra uma circulação reduzida e funcionem como meromíticos.

O pH no lago Aníbal esteve levemente ácido a neutro e diminuiu conforme o aumento da profundidade. As estações E5 e E6 apresentaram pH maiores que as demais estações em quase todas as amostragens. O lago Dom Helvécio também apresentou, de forma geral, pH levemente ácido a neutro. No entanto, houve um aumento nos valores em fevereiro de 2000, chegando a atingir 7,97 (estação E9). E da mesma forma que o lago Aníbal, houve diminuição do pH com o aumento da profundidade. O lago Carvão com Azeite, diferentemente dos dois ambientes anteriores, apresentou pH ácido, sempre abaixo de 6,0. Valores de 4,65 foram observados no fundo de E2 (10,5m) em agosto de 1999. Estudos anteriores nos lagos do Vale do Rio Doce como os de BARBOSA & TUNDISI (1980), PONTES (1980), TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982), TUNDISI *et al.* (1997b), dentre outros, indicaram que, de forma geral, o pH é ligeiramente ácido

para todos os lagos. No entanto, para os lagos mais eutróficos<sup>2</sup> há períodos em que o pH fica abaixo de 5,0. Isto se deve, em parte, pelo processo de decomposição do material em alóctone e da cobertura de macrófitas aquáticas (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982).

Amostragens feitas por PONTES (1980), para o lago Dom Helvécio, mostraram pequena variação do pH ao longo da coluna d'água. Uma diminuição mais acentuada foi observada em setembro de 1978. Nas demais amostragens realizadas, praticamente não houve variação entre superfície e fundo em relação ao pH. Tal resultado foi relacionado à propriedade de tamponamento do bicarbonato. Segundo este autor, devido à atividade biológica, há tendência do pH ser maior nas camadas superiores do lago, uma vez que está sendo assimilado CO<sub>2</sub>; ao passo que nas regiões mais profundas, o pH tende a diminuir devido à liberação do CO<sub>2</sub>.

Os dados atuais indicam que o lago Dom Helvécio e Carvão com Azeite apresentam águas mais ácidas quando comparados com os dados referentes aos anos de 1977, 1978, 1985 e 1987 (PONTES, 1980; TUNDISI *et al.*, 1997b).

O nitrito foi detectado somente no lago Carvão com Azeite e seu pico máximo em E2 de maio de 2000. Isso deve ter ocorrido porque nesta mesma amostragem (estratificado) observou-se que houve uma distribuição heterogênea na coluna d'água, com maiores concentrações aos 5,0m de profundidade (metalímnio). Isso não ocorreu em junho e agosto de 1999, períodos em que a distribuição foi homogênea na coluna d'água. Por ser uma forma intermediária entre amônio (forma mais reduzida) e o nitrato (forma mais oxidada), a concentração de nitrito em lagos é baixa. Entretanto, em lagos poluídos, sua concentração pode assumir valores significativos (ESTEVES, 1988). Apesar do lago Carvão com Azeite não apresentar interferência antrópica, o processo de eutrofização natural deste lago pode ser observado, o que justifica uma concentração de nitrito maior que os lagos Aníbal e Dom Helvécio. Os resultados obtidos discordam de KLEEREKOPER (1990) que comentou que durante os períodos de estabilidade térmica, o nitrito pode ser encontrado em quantidades apreciáveis no hipolímnio.

---

<sup>2</sup> É importante salientar que os lagos do Vale do Rio Doce sofrem um processo de eutrofização natural, sem influência antrópica.

As altas concentrações de nitrato, segundo TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982), ocorrem no início do período de estratificação quando há uma oxigenação mais intensa de toda a coluna d'água e a decomposição do material alóctone e autóctone ocorre de forma mais homogênea no lago. A partir do acúmulo de nitrato e da redução do oxigênio no hipolímnio aumentam as concentrações de nitrito e amônio. Este comportamento foi bem evidenciado por estes autores no lago Jacaré em outubro de 1981. PONTES (1980) verificou que o nitrato apresentou aumento da concentração no hipolímnio em setembro de 1978 e novembro de 1978 (início da estratificação térmica) no lago Dom Helvécio e associou à atividade bacteriana. Segundo este autor, as bactérias amonificantes presentes no hipolímnio atuam sobre a matéria orgânica dissolvida produzindo amônio. Além disso, logo após a circulação, o hipolímnio ainda oxigenado constitui ambiente propício para o desenvolvimento de bactérias nitrificantes, as quais produzem o nitrato, via nitrito, havendo então acúmulo de nitrato. Com o passar do período, ocorre depleção de oxigênio, mas ainda em níveis suportáveis pelas bactérias e, portanto, através da nitrificação persiste o acúmulo de nitrato. No presente estudo, apesar de não terem sido realizadas amostragens ao longo um ciclo hidrológico para verificar qual o período de início e término de estratificação dos lagos, pode-se dizer que os mais altos valores de nitrato observados em agosto de 1999 para os lagos Aníbal e Dom Helvécio são indícios do final do período de isoterma, corroborado pelo aumento gradativo na concentração na coluna d'água do lago Dom Helvécio e considerando que a estratificação tem início nos meses de agosto e setembro, segundo TUNDISI (1997). Contudo, de forma geral, não houve padrão de distribuição vertical do nitrato em nenhum destes dois ambientes. BARBOSA (1979) verificou que o lago Carioca apresentou maiores concentrações sempre na superfície.

O lago Carvão com Azeite apresentou um padrão distinto dos lagos Aníbal e Dom Helvécio. As maiores concentrações de nitrato foram observadas em maio de 2000 (estação E2), período estratificado e com distribuição vertical heterogênea (com acúmulo no metalímnio), o que não ocorreu nos meses de junho e agosto de 1999. Os resultados obtidos para o lago Carvão com Azeite discordam de ESTEVES (1988) que afirmou que, durante o período de estratificação térmica, as concentrações deste nutriente são mais baixas do que durante o período de circulação, tanto no epilímnio quanto no hipolímnio. Isso ocorre porque no epilímnio, que fica isolado das camadas

inferiores, o nitrato é assimilado pelo fitoplâncton e no hipolímnio, devido às baixas concentrações de oxigênio, ocorre a amonificação de nitrato. No entanto, segundo este mesmo autor, os estudos existentes para lagos tropicais não evidenciam um padrão de distribuição vertical do nitrato.

Quando analisando os três ambientes, verificou-se que o lago Carvão com Azeite apresentou menores concentrações deste nutriente, que provavelmente está relacionado à menor oxigenação da coluna d'água. Avaliando os resultados obtidos por TUNDISI *et al.* (1997b), por PONTES (1980) e os do presente trabalho, no lago Aníbal as concentrações de nitrato foram semelhantes se comparados com os dados referentes ao período isotérmico (julho de 1987 com junho e agosto de 1999), porém no período heterotérmico, os dados atuais apresentaram aumento em relação ao ano de 1985. Os lagos Dom Helvécio e Carvão com Azeite apresentaram aumento nas concentrações deste nutriente.

Com relação ao amônio, apesar da variação (*SD*) das concentrações indicar valores semelhantes para os três lagos, a média ( $\bar{x} \pm SE$ ) para o lago Aníbal foi a maior e a do lago Carvão com Azeite a menor.

A distribuição vertical na estação E3 do lago Aníbal foi semelhante nas três profundidades analisadas nos meses de amostragem considerados isotérmicos. Em fevereiro de 2000, as profundidades 0,0 e 5,0 apresentaram valores mais baixos que os demais meses e houve um pico de concentração no fundo da coluna d'água que chegou a  $1335,43\mu\text{g.L}^{-1}$ . No lago Dom Helvécio, com exceção do mês de junho de 1999, as amostragens de distribuição vertical indicaram que há acúmulo de amônio nas maiores profundidades (15,0 e 20,0m). O lago Carvão com Azeite apresentou um comportamento diferente para o amônio. Nas três amostragens realizadas, as maiores concentrações foram observadas aos 5,0m e não nas camadas de maior profundidade (ainda que em junho de 1999 não tenha uma amostragem dos 10,0m de profundidade). Isso foi mais claramente evidenciado em maio de 2000, amostragem do período estratificado.

Os estudos anteriores realizados por BARBOSA (1981), BARBOSA & TUNDISI (1980) e TUNDISI *et al.* (1997b) mostraram que, nos lagos do Vales do Rio Doce, as maiores concentrações de amônio são observadas no período isotérmico. No entanto,

quando se avaliando a distribuição vertical, nas épocas estratificadas há um acúmulo deste nutriente no hipolímnio, devido ao consumo deste nutriente no epilímnio e alta taxa de amonificação do nitrato no hipolímnio. RUGANI (1980), realizando um estudo sobre bactérias amonificantes nos lagos Dom Helvécio e Carioca, constatou que sua distribuição na coluna d'água foi fortemente influenciada pela estratificação térmica. Durante o período desestratificado, a densidade destas bactérias foi uniforme ao passo que no período estratificado foram obtidos valores no hipolímnio, cerca de, oito vezes superiores que aqueles encontrados no epilímnio.

Em relação ao fósforo total dissolvido, os lagos Aníbal e Carvão com Azeite apresentaram maiores valores em maio de 2000. O lago Dom Helvécio, apesar de não apresentar um padrão de distribuição temporal bem definido, de forma geral, as maiores concentrações ocorreram em maio de 2000. Os valores de fósforo total dissolvido foram semelhantes para os três lagos avaliados.

A distribuição vertical deste nutriente no lago Aníbal não apresentou padrão definido. No lago Dom Helvécio observou-se maiores valores aos 15,0m durante os meses estratificados (fevereiro e maio). Nos meses de junho e agosto de 1999 a distribuição foi homogênea entre as diferentes profundidades amostradas. No lago Carvão com Azeite, a distribuição foi homogênea na coluna d'água nos três períodos de coleta.

As distribuições irregulares do fósforo total dissolvido e do nitrato podem estar associadas não só aos processos de estratificação, mas também pelas diferenças de densidade ocasionadas pelos ciclos diurnos de temperatura e pela formação de termoclinas secundárias ou temporárias. E podem estar associadas ainda aos movimentos horizontais das lâminas d'água (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982). Além disso, deve ser destacado o papel do metalímnio. Durante o período de estratificação, acumulam-se no metalímnio substâncias dissolvidas e material particulado, devido às diferenças de densidade e, assim, processos parciais de liberação do fósforo inorgânico podem ocorrer. Deve-se considerar que a profundidade e a extensão do metalímnio são de extrema importância no ciclo de nutrientes inorgânicos. No entanto, no presente trabalho não se verificou relação entre a formação do metalímnio com as concentrações de fósforo total dissolvido. BARBOSA (1979) também

não observou uma distribuição vertical definida em relação a este nutriente na lagoa Carioca.

Através das concentrações totais de nitrogênio e fósforo, pôde-se estimar as razões atômicas entre estes dois nutrientes (razão NT/PT). Para os três lagos avaliados verificou-se que somente na amostragem de maio de 2000 as razões estiveram dentro da faixa considerada ideal (entre 10-20) de oferta destes elementos para as algas, segundo REYNOLDS (1984)<sup>3</sup>. Nas demais coletas, houve a limitação por fósforo (NT/PT>20). Apesar dos lagos apresentarem diferenças entre as formas nitrogenadas, isso não interferiu nas razões finais NT/PT, que foram semelhantes entre os três lagos. TUNDISI & MUSARRA (1986) comentam que a limitação por fósforo e também por nitrogênio é uma característica de alguns lagos (como o lago Dom Helvécio e a lagoa Carioca) durante o verão. Isto ocorre devido à forte estratificação que interfere na reposição de nutrientes no epilímnio. No entanto em ambientes mais rasos o processo de atelomixia pode contribuir para o *mixing* do epilímnio no verão e nos períodos noturnos (BARBOSA, 1979).

Quando avaliando a distribuição vertical das razões NT/PT durante o período estratificado, os lagos apresentaram resultados distintos. O lago Aníbal apresentou alta deficiência de fósforo no hipolímnio, relacionada às grandes concentrações de amônio e, conseqüentemente, de nitrogênio total verificadas nesta profundidade. O lago Dom Helvécio apresentou maiores limitações por fósforo no epilímnio em fevereiro de 2000 e no hipolímnio em maio de 2000 e o lago Carvão com Azeite apresentou maiores valores de NT/PT na camada metalimnética, onde se observou acúmulo tanto de nitrogênio como de fósforo. Dessa forma, o balanço desses dois nutrientes na coluna d'água, durante o período estratificado, se dá de forma diferenciada em cada um dos lagos, porém a influência da estratificação neste balanço é evidente nos três ambientes.

O ortossilicato no lago Aníbal apresentou maiores concentrações em agosto de (exceção feita para a estação E2) e menores nas estações E1 e E5 em maio de 2000. Porém não se observou grande variação deste nutriente ao longo do período avaliado (variou de 1,96 a 5,79 mg.L<sup>-1</sup>). No lago Dom Helvécio, de forma geral, as maiores

---

<sup>3</sup> Para FORSBERG *et al.* (1978 apud OVERBECK, 1988) esta faixa está compreendida entre 7-12.

concentrações foram obtidas em fevereiro de 2000 e as menores em junho e agosto de 1999, sendo que também não houve grande variação temporal (variou de 2,83 a 5,13mg.L<sup>-1</sup>). O lago Carvão com Azeite apresentou concentrações maiores em junho de 1999 e maio de 2000 e menores em agosto de 1999 (variou de 2,28 a 4,27 mg.L<sup>-1</sup>). A distribuição vertical de ortossilicato no lago Aníbal foi praticamente homogênea nas três profundidades. No lago Dom Helvécio, em junho de 1999 houve um gradiente com o aumento da profundidade e nos demais meses de amostragem a distribuição foi homogênea. No lago Carvão com Azeite verificou-se um acúmulo de ortossilicato aos 5,0m em maio de 2000, o que não ocorreu nos outros dois meses amostrados. Assim como para os demais nutrientes deste lago, a formação do metalímnio em maio de 2000 parece ter influenciado na distribuição vertical de ortossilicato.

BARBOSA (1979) e PONTES (1980) constataram, para a lagoa Carioca e o lago Dom Helvécio, respectivamente, que as concentrações de ortossilicato sempre foram baixas e não sofreram variações marcadas em relação às mudanças estacionais e que sua distribuição na coluna d'água foi ao acaso, com exceção de março de 1978, em que o lago Dom Helvécio apresentou aumento da concentração no hipolímnio.

Segundo ESTEVES (1988), em lagos tropicais, a distribuição vertical da sílica parece estar ligada a períodos de estratificação e desestratificação. No período de estratificação térmica, ocorre empobrecimento do epilímnio e acúmulo no hipolímnio. Durante a isoterminia, pode ocorrer tanto uma distribuição homogênea em toda a coluna d'água, como uma redução da concentração de sílica na parte superior. Este padrão de distribuição durante o período de estratificação não foi observado para nenhum dos lagos estudados.

Comparando os três sistemas, o lago Aníbal possui maiores concentrações de ortossilicato e o lago Carvão com Azeite as menores, no entanto, os valores são muito próximos entre si. ESTEVES (1988) constatou que diferentes ecossistemas lacustres brasileiros (incluindo a lagoa Carioca e o lago Dom Helvécio) apresentam mesmas concentrações de sílica, devido à abundância deste elemento em solos tropicais, principalmente aluminossilicatos.

Analisando os dados de PONTES (1980) para os anos de 1977 e 1978 e de TUNDISI *et al.* (1997) para os anos de 1985 e 1987 e comparando com os do presente

estudo observa-se que houve um incremento na concentração de ortossilicato nos três sistemas avaliados.

De maneira geral, observou-se que o lago Carvão com Azeite apresentou distribuição vertical homogênea dos nutrientes nos períodos isotérmicos e, no período de estratificação térmica, houve acúmulo no metalímnio (exceção feita ao PTD), diferenciando-o dos outros dois lagos estudados.

O material em suspensão esteve constituído na sua maior parte por matéria orgânica nos três lagos amostrados. Porém, a variação temporal das partes orgânicas e inorgânicas em cada lago foi diferente. No lago Aníbal, a concentração de matéria orgânica foi maior em junho e agosto de 1999 e de a matéria inorgânica em fevereiro e maio de 2000. No lago Dom Helvécio, os maiores valores de matéria orgânica ocorreram em maio de 2000 e de matéria inorgânica ocorreram em agosto de 1999 e fevereiro de 2000 e no lago Carvão com Azeite tanto a matéria orgânica quanto a matéria inorgânica apresentaram pico em junho de 1999. Observou-se que a variação sazonal foi verificada principalmente nas amostragens de perfil vertical. Durante os períodos isotérmicos a distribuição foi homogênea ao longo da coluna d'água e nos períodos estratificados houve acúmulo de material em suspensão no hipolímnio. Esses resultados corroboram com os observados por BARBOSA (1979) e PONTES (1980).

Dentre os três lagos, Carvão com Azeite apresentou maiores valores de material em suspensão, provavelmente relacionado com a cobertura de macrófitas aquáticas neste lago. Os dados referentes ao período isotérmico indicam que houve aumento da quantidade de matéria orgânica no lago Aníbal e de matéria inorgânica no lago Carvão com Azeite, desde as amostragens realizadas por TUNDISI *et al.* (1997b) em julho de 1987. O lago Dom Helvécio apresentou incremento de material em suspensão (fração orgânica + fração inorgânica) quando comparados com os dados de PONTES (1980).

Baseado nas concentrações de fósforo total, foram estimados os Índices de Estado Trófico para cada um dos ambientes estudados e os resultados foram bastante similares para os três lagos. O lago Aníbal apresentou valores que indicaram ser um ambiente mesotrófico (em junho e agosto de 1999) a eutrófico (em fevereiro e maio de

2000). A variação dos índices dos lagos Dom Helvécio e Carvão com Azeite esteve dentro da faixa considerada mesotrófica. No entanto, é preciso considerar que, apesar destes índices serem apontados como apropriados para ambientes tropicais, é preciso ser levados em consideração outros fatores como concentração de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e nutrientes (nitrogênio total e formas nitrogenadas) e principalmente o biota existente nestes ambientes, que muitas vezes são excelentes indicadores de qualidade de água. TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982) e OVERBECK (1988) citam alguns indicadores para verificar o grau de trofia nos lagos do Vale do Rio Doce e para lagos em geral, respectivamente (Tab. 20).

Verificou-se ao longo deste estudo que determinadas características são bem diferentes entre os três lagos e que, provavelmente, interfere no grau de trofia de cada um. De acordo com a Tabela 20, o lago Carvão com Azeite seria caracterizado como um lago eutrófico, devido à maior condutividade elétrica e à presença de macrófitas aquáticas. No entanto, suas concentrações de nutrientes (N e P) não refletem isto e outras características o enquadram em um lago distrófico, pela sua cor amarelada, refletida no próprio nome, altas concentrações de matéria orgânica em suspensão, baixo pH. Segundo KLEEREKOPER (1990), as águas dos lagos distróficos são pobres em sais minerais, especialmente em cálcio. O consumo de oxigênio é causado pelo alto teor de substâncias húmicas, que se acumulam no hipolímnio causando sua oxidação e desaparecimento total do oxigênio. O pH da água é sempre baixo. O que caracteriza a água dos lagos distróficos, ainda segundo este autor, é a sua cor amarelada até marrom escuro e, às vezes, quase preta, que deriva de substâncias húmicas.

Sabe-se que o processo de sucessão natural dos lagos do Vale do Rio Doce é contínuo. E através da comparação dos dados com trabalhos anteriores, o lago Carvão com Azeite é o que mais se alterou durante o intervalo de, aproximadamente, 15 anos.

Já o lago Aníbal pelas maiores concentrações de nitrato, amônio e nitrogênio total, indica um ambiente mais eutrofizado que os demais. Por fim, o lago Dom Helvécio é o que apresenta características mais oligotróficas e suas características físicas e químicas indicaram que o lago está levemente mais ácido que e também mais eutrofizado em relação aos anos de 1977, 1978, 1981, 1985 e 1987. Esta eutrofização pode ser comparada com os índices estimados para o ano de 1978 (dados de PONTES,

1980) na Tabela 21. A oligotrofia do lago Dom Helvécio também foi confirmada por HENRY *et al.* (1997a) através da avaliação do déficit de oxigênio.

A análise estatística multivariada corroborou com os dados obtidos. Através da ACP pôde-se comprovar que os lagos Aníbal e Dom Helvécio são mais semelhantes entre si e que o lago Carvão com Azeite possui características mais distintas. Em um dos lagos, as diferentes épocas de coleta (períodos de estabilidade e isoterminia) puderam ser evidenciadas.

Com relação à variabilidade espacial no eixo horizontal, no lago Aníbal, apesar de sua grande extensão e de possuir os limites entre as regiões limnéticas e litorâneas bem definidas, não foram observadas diferenças nas variáveis químicas entre estes dois compartimentos. No entanto, houve a distinção das estações E5 e E6 das demais, que sugere uma compartimentalização do lago em duas partes: uma formada pela estação noroeste (estações E1 a E4) e outra pela região sudeste (E5 e E6). No lago Dom Helvécio as estações limnéticas E1, E5 e E8 se distanciaram das estações litorâneas, relacionadas à maior profundidade, condutividade elétrica (no fundo da coluna d'água), amônio e NT e menores concentrações de oxigênio dissolvido (no fundo da coluna d'água). As estações E6 e E10, apesarem de serem limnéticas, não ficaram tão bem caracterizadas como E1 e E8, de forma que apresentaram características intermediárias entre estas e as litorâneas. No lago Carvão com Azeite houve diferenciação entre as partes litorânea e limnética. Por ser um lago que atualmente todo coberto por macrófitas aquáticas, ou seja, sem delimitação física entre zonas litoral e limnética, não se esperava encontrar diferenças químicas entre as duas estações de amostragem. No entanto, a análise de agrupamento diferenciou as duas estações na coleta de maio de 2000. Com a estabilidade da coluna d'água e formação de uma camada metalimnética bem definida na região limnética, os processos ao longo da coluna d'água estiveram diferenciados, como já foi descrito. Dessa forma, na estação E1, situado na margem do lago, onde não houve a formação de um metalímnio, os processos ocorrentes foram diferentes que a zona pelágica. Sendo assim, ainda que não haja mais a delimitação física aparente entre zonas limnética e litorânea, estas duas regiões podem ser ainda diferenciadas por suas características químicas durante o período de estratificação térmica.

Tabela 20 – Relação de algumas características físicas, químicas e biológicas utilizadas para a tipificação dos lagos do Vale do Rio Doce e de lagos em geral, de acordo com TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982) (\*) e OVERBECK (1988) (\*\*), respectivamente.

<b>Lagos Oligotróficos</b>		<b>Lagos Eutróficos</b>	
*	Profundidade maior que 5,0m.		Profundidade menor que 5,0.
**	Alta transparência da água		Baixa transparência da água
*	Menor condutividade elétrica.		Maior condutividade elétrica.
*	Menor concentração iônica (ions dissolvidos na água).		Maior concentração iônica.
*	Metalímnio extremamente importante como regenerador de nutrientes e como concentrador de matéria orgânica particulada.		Ausência de metalímnio e estratificação diurna acentuada na superfície.
**	Volume do epilímnio relativamente pequeno quando comparado com o hipolímnio.		Volume do hipolímnio relativamente pequeno quando comparado com o epilímnio.
*	Maior estratificação vertical das comunidades fitoplanctônicas e zooplanctônicas. Gradientes horizontais limitados.		Menor estratificação vertical das comunidades fitoplanctônicas e zooplanctônicas. Gradientes horizontais acentuados.
*	Produtores primários dominantes: fitoplâncton.		Produtores primários dominantes: macrófitas aquáticas
**	Fitoplâncton pobre quantitativamente		Fitoplâncton quantitativamente abundante
*	Cianofíceas no hipolímnio durante o período de estratificação.		Cianofíceas em pequena porcentagem.
*	Circulação reduzida por alta estratificação térmica. Circulação mais elevada no epilímnio durante o período de estratificação.		Circulação reduzida devido à grande concentração de macrófitas aquáticas.
*	Maior diversidade de espécies no fitoplâncton e zooplâncton.		Menor diversidade de espécies no fitoplâncton e zooplâncton.
**	Pequena biomassa bentônica.		Grande biomassa bentônica.
*	Macrófitas aquáticas ocorrendo somente nas margens do lago.		Macrófitas aquáticas ocupando toda a superfície do lago pelo menos por um longo período no ciclo climatológico.

Tabela 21 – Valores do índice de estado trófico estimados para o lago Dom Helvécio no ano de 1978, baseado nas concentrações de fósforo total obtidas por PONTES (1980).

Coleta	Profundidade (m)	Fósforo Total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	IET	Valor Médio
Março/78	0,0	7,52	33,26	34,41
	1,5	7,02	32,26	
	3,0	8,02	34,19	
	7,0	8,0	34,15	
	14,0	11,0	38,74	
	20,0	8,0	34,15	
	25,0	8,0	34,15	
Julho/78	0,0	10,5	38,07	35,77
	1,5	8,5	35,02	
	2,5	18,5	46,24	
	7,0	9,5	36,63	
	17,0	7,0	32,22	
	20,0	6,0	30,0	
Setembro/78	0,0	4,0	24,15	26,54
	0,9	5,5	28,74	
	3,8	3,0	20,0	
	4,6	4,0	24,15	
	13,5	6,0	30,0	
	20,0	6,0	30,0	
	25,0	5,5	28,74	
Novembro/78	0,0	6,5	31,15	19,89
	1,0	4,0	24,15	
	3,0	4,0	24,15	
	7,3	0,5	---	
	15,0	1,5	10,0	
	20,0	1,5	10,0	
	25,0	0,5	---	

Através deste estudo, pode-se concluir que:

- a principal função de força da variabilidade das características limnológicas abióticas nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite é o fator climático que condiciona os períodos de estratificação e circulação da coluna d'água;
- a segunda função de força é a morfometria dos lagos que interfere na duração destes períodos;
- no lago Aníbal não há distinção entre as regiões limnética e litorânea com relação às variáveis químicas analisadas. Porém, o lago pode ser dividido em dois grandes compartimentos: um formado pela porção noroeste (estações E1 a E4) e outro pela porção sudeste (estações E5 e E6);

- no lago Dom Helvécio, três compartimentos foram distinguidos: a zona limnética (estações E1, E5 e E8), a zona litorânea (estações E2, E4, E7, E9 e E11) e uma região de interface entre as duas anteriores (estações E6 e E10);
- no lago Carvão com Azeite, a zona litoral distingue-se da limnética principalmente durante o período de estabilidade;
- durante as épocas de estratificação térmica, ocorre a estratificação química da coluna d'água nos três ambientes avaliados, de forma que os diferentes estratos puderam ser bem distinguidos (epilímnio, metalímnio e hipolímnio), ao passo que nos períodos isotérmicos a coluna d'água apresenta-se, de maneira geral, quimicamente homogênea;
- dentre os três lagos estudados, o lago Carvão com Azeite é o que apresenta características mais distintas devido à sua morfometria mais simples, à cobertura de macrófitas aquáticas em toda sua extensão, à coloração amarelada da água, ao baixo pH, à baixa oxigenação, às maiores concentrações de matéria em suspensão e ao com acúmulo da maioria dos nutrientes no metalímnio no período de estabilidade térmica;
- de acordo com as características apresentadas os lagos Dom Helvécio, Aníbal e Carvão com Azeite puderam ser classificados como oligotrófico, oligomesotrófico e distrófico, respectivamente;
- os três lagos têm sofrido alterações físicas e químicas, quando comparados com estudos anteriores, indicando a evolução no processo de sucessão natural. O lago Carvão com Azeite é o que apresenta estágio mais avançado e o lago Dom Helvécio o mais tardio nesse processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, P. M.; PEREIRA, M. C. A. & SILVA, L. V. C. 1997. The vegetation of Rio Doce State Park. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 15-21.
- BARBOSA, F. A. R. 1979. **Produção primária e fatores ambientais na lagoa Carioca – Parque Florestal do rio Doce, MG**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 205 p. Dissertação (Mestrado).
- BARBOSA, F. A. R. 1981. **Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na lagoa Carioca – Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. Tese (Doutorado).
- BARBOSA, F. A. R. & TUNDISI, J. G. 1980. Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow Quaternary lake at Eastern Brazil. **Archiv für Hydrobiologie** 90(2): 139-161.
- COLE, G. **Textbook of limnology**. Saint Louis: The C. V. Mosby, 1994. 283 p.
- ESTEVES, F. A. 1988. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência. 575p.
- GUILHUIS, J. P. 1986. **Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil**. Wageningen: Agricultural University of Wageningen. 112 p.
- JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. E. 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences** 106: 110-127.
- KLEEREKOPER, H. 1990. **Introdução ao estudo da limnologia**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2ª edição. 329 p.
- HENRY, R.; PONTES, M. C. F. & TUNDISI, J. G. 1997a. The oxygen déficit in Lake Dom Helvécio. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp.109-117.
- HENRY, R.; TUNDISI, J. G.; CALIJURI, M. C. & IBAÑEZ, M. S. R. 1997b. A comparative study of thermal structure, heat content and stability of stratification in three lakes.

- In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp.69-77.
- HUTCHINSON, G. E. 1959. **A treatise on limnology**. I: lake origins, physics, and chemistry. New York: John Willey & Sons. 1015 p.
- LUND, H. W. G. & TALLING, J. F. 1957. Botanical limnological methods with special reference to the algae. **The. Botan. Rev.** 23(8/9): 485-583.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J. & TALLING, J. F. 1978. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. Ambleside: Freshwater Biological Association Scientific Publication, n. 36. 120 p.
- MANLY, B. F. J. 1986. **Multivariate statistical methods: a primer**. New Cork: Chapman, 215 p.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. M. 1977. As unidades morfo-estratigráficas neoquaternárias do médio rio Doce. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 49(3): 443-459.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. M. & Tundisi, J. G. 1986. Geomorphological and limnological processes as a basis for lake tipology. The Middle Rio Doce Lake system. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 58(1): 104-120.
- OVERBECK, J. 1988. Ecosystem concept. *In* JØRGENSEN, S. E. & VOLLENWEIDER, R. A. (eds.). **Guidelines of lake management**. I - Principles of lake management. Shiga: ILEC/UNEP. pp. 19-36.
- PONTES, M. C. F. 1980. **Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago Dom Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce – MG**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 293 p. Dissertação (Mestrado).
- REYNOLDS, C. S. 1984. **The ecology of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. 384 p.
- REYNOLDS, C. S.; TUNDISI, J. G. & HINO, K. 1983. Observations on a metalimnetic Lyngbya population in a stably stratified tropical lake (lagoa Carioca, Eastern Brazil). **Archiv für Hydrobiologie** 97(1): 7-17.
- RUGANI, C. A. 1980. **Bactérias amonificantes e fatores ecológicos nos lagos Carioca e D. Helvécio (Vale do Rio Doce – MG)**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. Dissertação (Mestrado).
- SALAS, H. J. & MARTINO, P. 1988. **Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales**. Organización Mundial de la Salud /

Organización Pan-Americana de la Salud – OPS / Centro Pan-Americano de Ingeniería Sanitária y Ciencias del Ambiente – CEPIS: 51p.

SIF. 1990. **Plano diretor do Parque Florestal Estadual do Rio Doce**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais/Instituto Estadual de Florestas – MG. 99 p.

STATSOFT, INC., 2000. **Statistica for Windows** (Computer Program Manual). Statsoft, Inc., Tulsa.

TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G. & KUTNER, M. B. 1965. Plankton studies in a mangrove. II: The standing-stock and some ecological factors. **Boletim do Instituto Oceanográfico** 24: 23-41.

TUNDISI, J. G. 1997. A note of the rainfall in the process of stratification and stability in the Rio Doce lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp.79-82.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 1982. Estudos limnológicos no sistema de lagos do médio rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Anais do II Seminário Regional de Ecologia**, pp. 133-258.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA- TUNDISI, T.; FUKUHARA H.; MITAMURA, O.; GUILLÉN, S. M.; HENRY, R.; ROCHA, O.; CALIJURI, M. C.; IBAÑEZ, M. S. R.; ESPÍNDOLA, E. L. G. & GOVONI, S. 1997. Limnology of fifteen lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 410-439.

TUNDISI, J. G. & MUSARRA, M. L. 1986. Morphometry of four lakes in the Rio Doce Valley lakes system and its relationships with primary production of phytoplankton. **Revista Brasileira de Biologia** 46(1): 159-171.

TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 513p.

WETZEL, R. G. 1993. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gunbenkian. 919 p.

WETZEL, R. G. & LIKENS, G. E. 1991. **Limnological analysis**. New York: Springer-Verlag. 391 p.

## **CAPÍTULO II**

Estudo da  
Comunidade  
Fitoplanctônica  
do Lago Aníbal,  
Parque Florestal  
Estadual do Rio  
Doce,

# Minas Gerais

## **RESUMO**

A variação sazonal e espacial (horizontal e vertical) e estrutura da comunidade fitoplanctônica foram avaliadas durante quatro períodos de amostragem realizadas no lago Aníbal, um lago monomítico quente pertencente ao sistema lacustre do Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais. Um total de dezessete variáveis físicas e químicas e a comunidade fitoplanctônica foram avaliadas em seis estações de amostragem. O fitoplâncton esteve principalmente representado pelos grupos taxonômicos Conjugatophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae. Durante o período de estratificação térmica, os grupos componentes dessa comunidade tiveram uma distribuição vertical diferenciada ao longo da coluna d'água e, durante o período isotérmico, a distribuição foi semelhante. Verificou-se que a estabilidade térmica conferiu uma menor diversidade fitoplanctônica, porém esta não foi alterada ao longo da coluna d'água. Observou-se ainda formação de dois grandes compartimentos no lago: um formado pela porção noroeste e outro pela porção sudeste, porém não houve diferenciação entre da região limnética da litorânea. Os resultados indicaram que a principal função de força, em relação ao fitoplâncton, é constituída pelos fatores climáticos que determinam os períodos de circulação e estabilidade térmica do ambiente. O lago Aníbal foi classificado como oligo-mesotrófico, levando-se em consideração a composição, densidade e a diversidade do fitoplâncton e índices de estado trófico.

## **ABSTRACT**

Seasonal and spatial variation (horizontal and vertical distribution) and the phytoplanktonic community structure were evaluated during four periods samplings carried out in Lake Aníbal, a warm monomitic lake belonging to the Rio Doce Valley natural lacustrine system, Minas Gerais State. A total of seventeen physical and chemical variables were evaluated in six sampling stations. The phytoplanktonic community was mainly composed by the Conjugatophyceae, Chlorophyceae and Cyanophyceae taxonomic groups. During the period of thermal stratification the component groups had different patterns of vertical distribution in the water column, but during the period of isothermy the distribution pattern was similar. It was observed that thermal stability results in lower phytoplankton diversity, but this was not altered along the water column. It was also observed the existence of two large compartments in the lak: one formed by the Northwest and the other by the Southeast portions of the lake, but there were no differences among the limnética and the littoral regions. The results have indicated that the main forcing function regarding the phytoplankton is represented by climatic factors that control the processes of circulation and thermal stratification. Lake Aníbal was classified as oligo-mesotrophic, considering the composition, density and diversity of the phytoplankton and the indices of trophic state.

## INTRODUÇÃO

As regiões tropical e subtropical da América do Sul são dominadas por rios associados a planícies de inundação, várzeas e lagoas marginais, sendo poucos os lagos naturais isolados. Diversos estudos têm focado a dinâmica das comunidades biológicas naqueles sistemas, relacionando a dinâmica do canal principal do rio aos lagos de sua planície, mas poucos são os estudos realizados nos lagos naturais, particularmente estudos que focalizem a comunidade fitoplanctônica.

No médio rio Doce, em uma área no planalto sudeste do Brasil, conhecida como “terras baixas interplanálticas do médio rio Doce”, encontram-se, aproximadamente, 150 lagos não conectados com o rio Doce, os quais possuem características extremamente peculiares no que se refere ao funcionamento ecológico (TUNDISI, 1994). Estes lagos são fragmentos de tributários do rio Doce, isolados entre 3000 e 10000 anos atrás, no Pleistoceno Superior (PFLUG, 1969) e formam o mais importante sistema lacustre natural brasileiro. Existem lagos que são circundados por floresta tropical (Mata Atlântica) e outros localizados em áreas de reflorestamento de *Eucalyptus* sp. o que interfere de forma diferenciada no funcionamento dos ecossistemas aquáticos e sua dinâmica (TUNDISI *et al.*, 1997d).

A pesquisa limnológica nos lagos do Vale do Rio Doce vem sendo realizada desde 1976. Os padrões de estratificação térmica e da distribuição vertical do oxigênio

dissolvido em alguns lagos foram bem descritos e a influência da sua origem e morfometria sobre a dinâmica desse sistema tem sido amplamente discutida. Alguns estudos salientaram a importância da estratificação térmica sobre o padrão de distribuição vertical do fitoplâncton e da produção primária (BARBOSA & TUNDISI, 1980; HINO *et al.*, 1986; PONTES, 1980; REYNOLDS, 1997; REYNOLDS *et al.*, 1983; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982; TUNDISI *et al.*, 1997c). Entretanto, apesar de ser um sistema lacustre de grande importância ecológica, poucas são as informações sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica nestes diversos lagos. Dessa forma os objetivos do presente estudo são:

- caracterizar a comunidade fitoplanctônica no lago Aníbal através do estudo taxonômico e levantamento quantitativo;
- verificar se há variação temporal da comunidade fitoplanctônica entre os períodos amostrados (estabilidade e circulação da coluna d'água) e qual o efeito das mudanças ambientais sobre o fitoplâncton, uma vez que o regime climático é o principal vetor que determina a estratificação e, possivelmente também, a variação na composição e densidade dessa comunidade;
- analisar se há variação espacial (horizontal e vertical) da comunidade fitoplanctônica nos períodos avaliados, procurando estabelecer quais são os fatores relacionados a essa variabilidade.

O presente trabalho visa ainda fornecer informações e subsídios para estudos futuros em lagos naturais.

## ÁREA DE ESTUDO

O sistema de lagos do Vale do Rio Doce situa-se na grande área fisiográfica denominada “depressão Interplanáltica do rio Doce”, confinada entre as elevações correspondentes ao planalto do reverso da serra do Mar, com uma altitude média de 300m e localizada sobre um embasamento de gnaisses variados, micaxistos, quartzitos e granitos, que afloram nas elevações do planalto circundante à depressão do médio rio Doce (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

O Vale do Rio Doce é ocupado por, aproximadamente, 150 lagos permanentes em diferentes estágios de eutrofização natural (TUNDISI, 1994), que foram formados no Quaternário, durante o Pleistoceno Superior, devido a um processo de represamento provocado por deposição de sedimentos aluviais dos rios Doce e Piracicaba, os quais não tinham correnteza suficiente para carrear estes depósitos (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977; MOUSINHO-DE-MEIS & MONTEIRO, 1979). Segundo GUILHUIS (1986), o clima regional é classificado como Aw, de acordo com o sistema de KÖPPEN, com um período chuvoso no verão (outubro a março) e um seco no inverno. A média anual de precipitação pluviométrica é de 1480mm e a temperatura do ar é de 21,9°C, com máxima de 40°C no verão e mínima de 3°C no inverno.

O lago Aníbal (19°45’-19°48’45’’S e 42°33’45’’-42°30’W) está localizado no Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PERD), que possui 35974ha, com altitude de 230 a 515m acima do nível do mar. A vegetação é constituída por floresta tropical

(Mata Atlântica), enquanto que a região circundante é coberta por *Eucalyptus* sp. e, em menor proporção, por pastagens, áreas de agricultura e floresta natural (SIF, 1990). Esse lago é o segundo maior do sistema do médio rio Doce, com profundidade máxima de 16m e a sua morfometria possui o padrão dendrítico predominante (TUNDISI *et al.*, 1997a). Este lago possui um estrato metalimnético bem definido (TUNDISI *et al.*, 1997b) e é caracterizado como um lago monomítico quente (TUNDISI, 1994).

## MATERIAIS & MÉTODOS

As coletas foram realizadas em junho e agosto de 1999 e fevereiro e maio de 2000, em seis estações de amostragem, sendo 3 na região limnética (E1, E3 e E5) e 3 na região litorânea (E2, E4 e E6) (Tab. 1). Para a caracterização da distribuição espacial horizontal foram retiradas amostras integradas de toda a coluna d'água e, para a distribuição vertical das populações, as amostragens foram feitas no corpo central do lago (E3), a cada 5,0m de profundidade (Fig. 1).

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal.

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>
Coleta 1 (C1)	14/06/1999
Coleta 2 (C2)	11/08/1999
Coleta 3 (C3)	05/02/2000
Coleta 4 (C4)	17/05/2000

Algumas variáveis abióticas, como temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram registrados *in situ* com o auxílio do multisensor Horiba, modelo U-10 e, para a determinação da transparência da água, foi usado um disco de Secchi. As análises laboratoriais foram realizadas para a determinação da concentração de nutrientes na água (nitrito, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo inorgânico, fósforo total dissolvido, fósforo total e ortossilicato), segundo os procedimentos descritos em MACKERETH *et al.* (1978) e para a quantificação do material em suspensão,

segundo TEIXEIRA *et al.* (1965). Foram estimadas ainda, a extensão da zona eufótica (Zeu), seguindo a fórmula de COLE (1994), a razão nitrogênio/fósforo (NT/PT) e o índice de estado trófico, de acordo com SALAS & MARTINO (1988).

As coletas para análise qualitativa do fitoplâncton foram realizadas através de arrastos verticais com rede de plâncton com 20 $\mu$ m de abertura de malha e foram preservadas com solução de formol 4%. A identificação das algas foi realizada em um microscópio binocular da marca Zeiss, modelo Axioscop, sob aumentos de até 2560 vezes. Para a análise quantitativa do fitoplâncton as coletas foram realizadas com bomba de sucção (sem filtragem) e as amostras (150ml) foram acondicionadas em frascos de vidro e preservadas com solução de lugol acético a 0,5% e mantidas no escuro. A quantificação das populações algais foi realizada segundo o método descrito por UTERMÖHL (1958) e feita através de um microscópio invertido da marca Zeiss, em aumento de 400 vezes. O tempo de sedimentação foi de três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983). O limite de contagem foi estabelecido pelo modelo da saturação taxonômica, conforme o procedimento descrito em BICUDO (1990). As quantificações foram expressas tanto em termos das espécies raras como das dominantes, segundo os critérios propostos por LOBO & LEIGHTON (1986). A fórmula para o cálculo da densidade seguiu aquela apresentada por ROS (1979).

Com os dados obtidos na análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica, foram estimados o índice de diversidade de SHANNON-WIENER ( $H'$ ), o índice de uniformidade ou equitabilidade de PIELOU (J), o índice de dominância de SIMPSON (D) e a riqueza específica (R), conforme MAGURRAN (1988) e ODUM (1988).

Para melhor compreensão dos dados relativos à comunidade fitoplanctônica, foram aplicados dois grupos de análise estatística: o primeiro para os dados quantitativos de distribuição horizontal e o segundo somente para os dados de distribuição vertical. Para a ordenação das estações de amostragem e coletas dos dados de distribuição horizontal foi aplicada a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), usando a Distância Euclidiana como fator de ligação (MANLY, 1986), considerando três categorias: 1) espécies abundantes, comuns e constantes, 2) espécies não abundantes, comuns e constantes e 3) espécies raras. Para a ordenação das diferentes profundidades e épocas de coleta dos dados de distribuição vertical foi aplicado o mesmo teste de estatístico dividido em três constâncias: 1) espécies

constantes, 2) espécies comuns e 3) espécies raras. Todos os testes estatísticos foram realizados com auxílio do programa *Statistica for Windows – Versão 5.5* (STATSOFT, INC., 2000), licenciado para a Universidade Federal de São Carlos.

Deve-se esclarecer que não constam os dados quantitativos da comunidade fitoplanctônica referentes à estação E3 da coleta de junho de 1999, por perda da amostra durante o transporte e armazenagem.

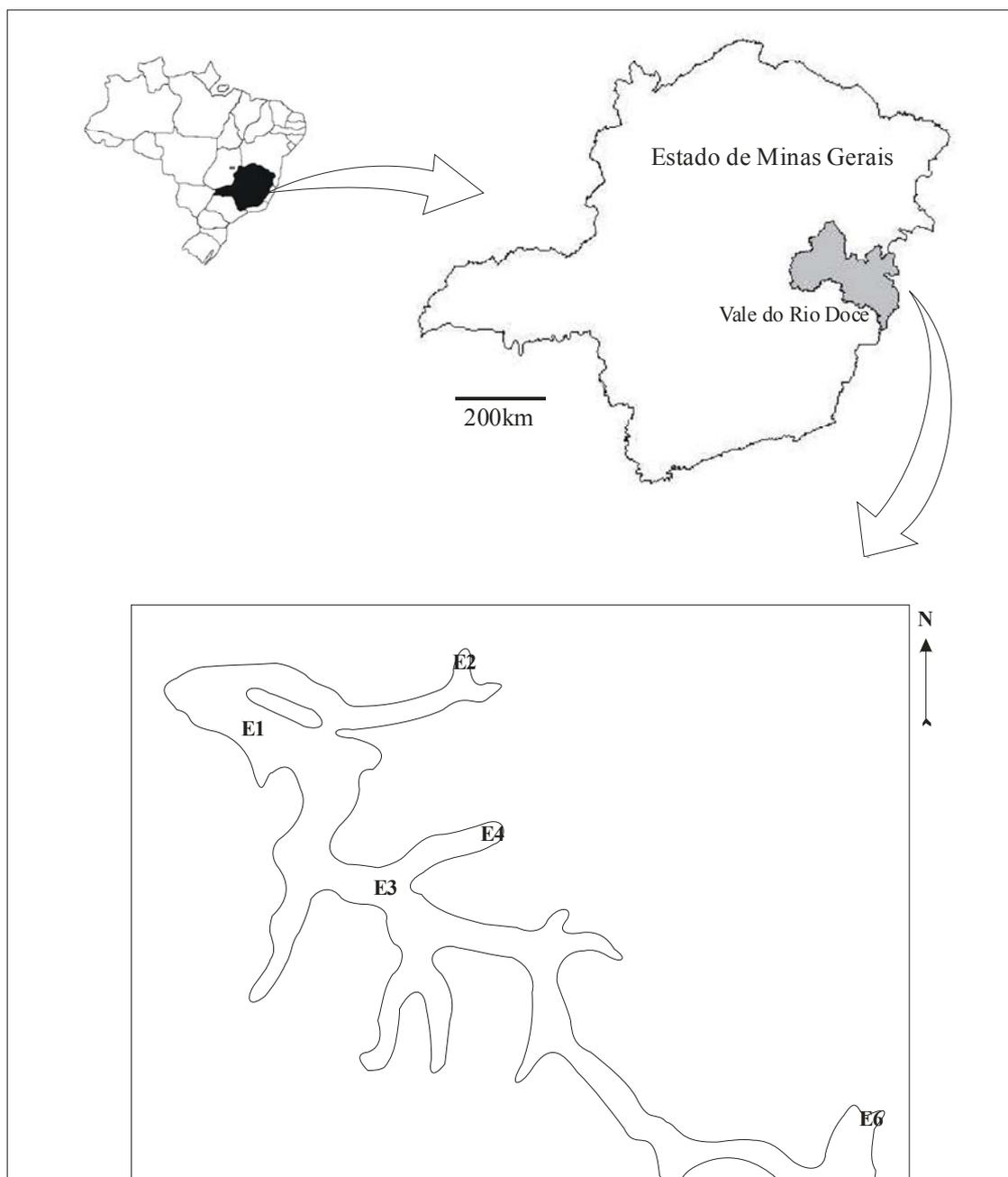


Figura 1 - Localização do lago Aníbal no estado de Minas Gerais (Brasil) e das estações de amostragem E1 a E6.

## RESULTADOS

Os valores médios, máximos, mínimos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas do lago Aníbal obtidos no período em estudo constam na Tabela 2. A profundidade, a transparência e a extensão da zona eufótica (Zeu) do lago na estação localizada no corpo central (E3) foram maiores em maio de 2000 e menores em junho de 1999 (Tab. 3). As concentrações de nitrito e ortofosfato estiveram abaixo do nível de detecção do método. Os maiores valores de temperatura foram registrados em fevereiro de 2000, quando se observou a estratificação térmica e do oxigênio dissolvido na coluna d'água. O lago apresentou, de forma geral, pH levemente ácido e as concentrações totais de nitrogênio e fósforo indicaram a limitação por fósforo nas três primeiras coletas.

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, matéria inorgânica e matéria orgânica em suspensão), da razão NT/PT e do índice de estado trófico obtidos no lago Aníbal durante as quatro coletas nas seis estações de amostragem realizadas.

Variável	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
pH	5,52	6,62	8,26	0,67	0,14
Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	30,0	36,70	44,0	4,28	0,87

Temperatura (°C)	22,9	26,0	31,6	2,91	0,59
Oxigênio Dissolvido – OD (mg.L <sup>-1</sup> )	3,10	6,52	9,77	1,70	0,35
Nitrato – NO <sub>3</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	6,78	12,70	23,78	4,56	0,93
Amônio – NH <sub>4</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	13,10	140,38	333,42	86,57	17,67
Nitrogênio Total – NT (µg.L <sup>-1</sup> )	203,85	547,89	1274,27	222,40	45,40
Fósforo Total Dissolvido – PTD (µg.L <sup>-1</sup> )	3,01	8,10	14,47	3,63	0,74
Fósforo Total - PT (µg.L <sup>-1</sup> )	10,52	21,23	34,99	6,83	1,39
Ortossilicato – Si(OH) <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	1,96	4,20	5,49	0,83	0,17
Matéria Inorgânica em Suspensão – MI (mg.L <sup>-1</sup> )	0,20	1,49	4,20	1,25	0,24
Matéria Orgânica em Suspensão – MO (mg.L <sup>-1</sup> )	1,20	3,20	5,67	1,42	0,29
Razão NT/PT	9,88	27,40	51,90	10,64	2,22
IET	38,11	47,65	55,44	4,90	1,02

Tabela 3 – Profundidade máxima, transparência da água e zona eufótica (m) obtidas na estação E3 nas quatro coletas realizadas no lago Aníbal.

	Junho de 1999	Agosto de 1999	Fevereiro de 2000	Mai de 2000
<b>Profundidade Máxima (m)</b>	9,5	10,0	10,0	10,5
<b>Transparência (m)</b>	2,3	2,5	2,5	2,6
<b>Zona Eufótica (m)</b>	6,9	7,5	7,5	7,8

Com relação às análises qualitativas, foram identificados 110 táxons: 42 Conjugatophyceae, 30 Chlorophyceae, 17 Cyanophyceae, 20 fitoflagelados (Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae e Euglenophyceae) e 1 Xanthophyceae.

As análises quantitativas da comunidade, referentes à amostragem espacial no eixo horizontal indicaram que a comunidade fitoplanctônica esteve composta por 106 táxons: 34 Chlorophyceae, 35 Conjugatophyceae, 12 Cyanophyceae, 14 fitoflagelados, 9 Bacillariophyceae e 2 Xanthophyceae. Os organismos não identificados, presentes nas contagens foram considerados como “outros” e não inclusos nos cálculos de biodiversidade e análises estatísticas.

A comunidade como um todo apresentou maiores densidades durante fevereiro de 2000 e menores em maio de 2000 para as estações localizadas na porção noroeste e inicial da lagoa (E1 a E4) e junho de 1999 daquelas localizadas na porção sudeste e

terminal (E5 e E6) (Fig 2) e esteve principalmente composta por Conjugatophyceae, Chlorophyceae (principalmente Chlorococcales) e Cyanophyceae. Em junho de 1999 e fevereiro de 2000 a maior porcentagem de contribuição foi da classe Conjugatophyceae. Em agosto de 1999, Chlorophyceae foi o grupo de maior densidade e em maio de 2000 observou-se o aumento na densidade e porcentagem de contribuição das Cyanophyceae, mas principalmente nas estações E5 e E6. As classes Bacillariophyceae, Xanthophyceae e fitoflagelados (Chrysophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae e Volvocales) apresentaram baixas densidades e juntos constituíram no máximo 14% do total da comunidade (Fig. 3). Nas Figuras 4 a 7 estão ilustradas a contribuição dos diferentes grupos de algas para cada estação de amostragem durante as quatro coletas. A variação espacial e temporal de cada classe fitoplanctônica registrada no lago Aníbal está ilustrada nas Figuras 8 a 11.

Dos 106 táxons registrados no lago Aníbal, 26 foram consideradas constantes (ocorreram em mais de 50% das amostras analisadas), 44 comuns (ocorreram em mais de 10% e menos de 50% das amostras) e 36 raras (ocorreram em menos de 10% das amostras). Houve apenas duas espécies dominantes (*Cosmarium asphaerosporum* Nordst. var. *strigosum* Nordst. e *Woskyella* sp.) e 35 foram abundantes, em pelo menos uma estação de amostragem de uma coleta (Tab. 4).

Os maiores índices de diversidade foram verificados durante agosto de 1999 e as menores nas estações E5 e E6 em maio de 2000, quando foram estimados os menores valores de equitabilidade e maiores de dominância (Tab. 5).

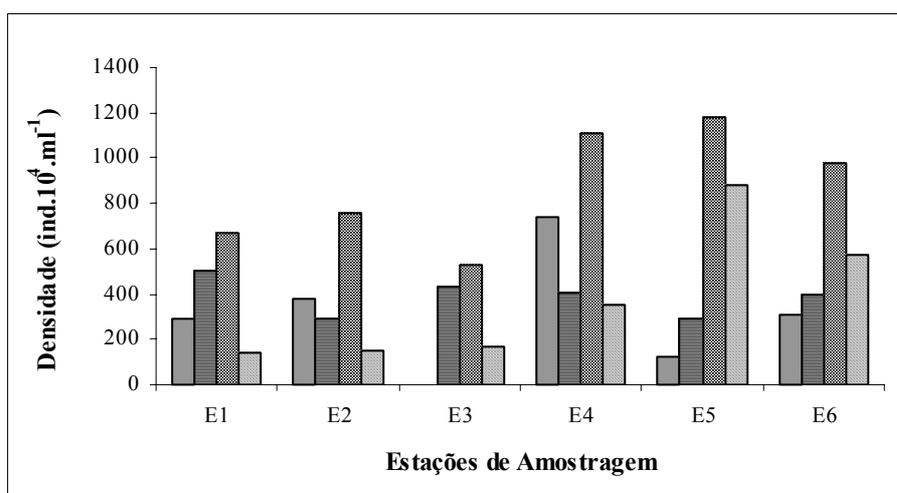
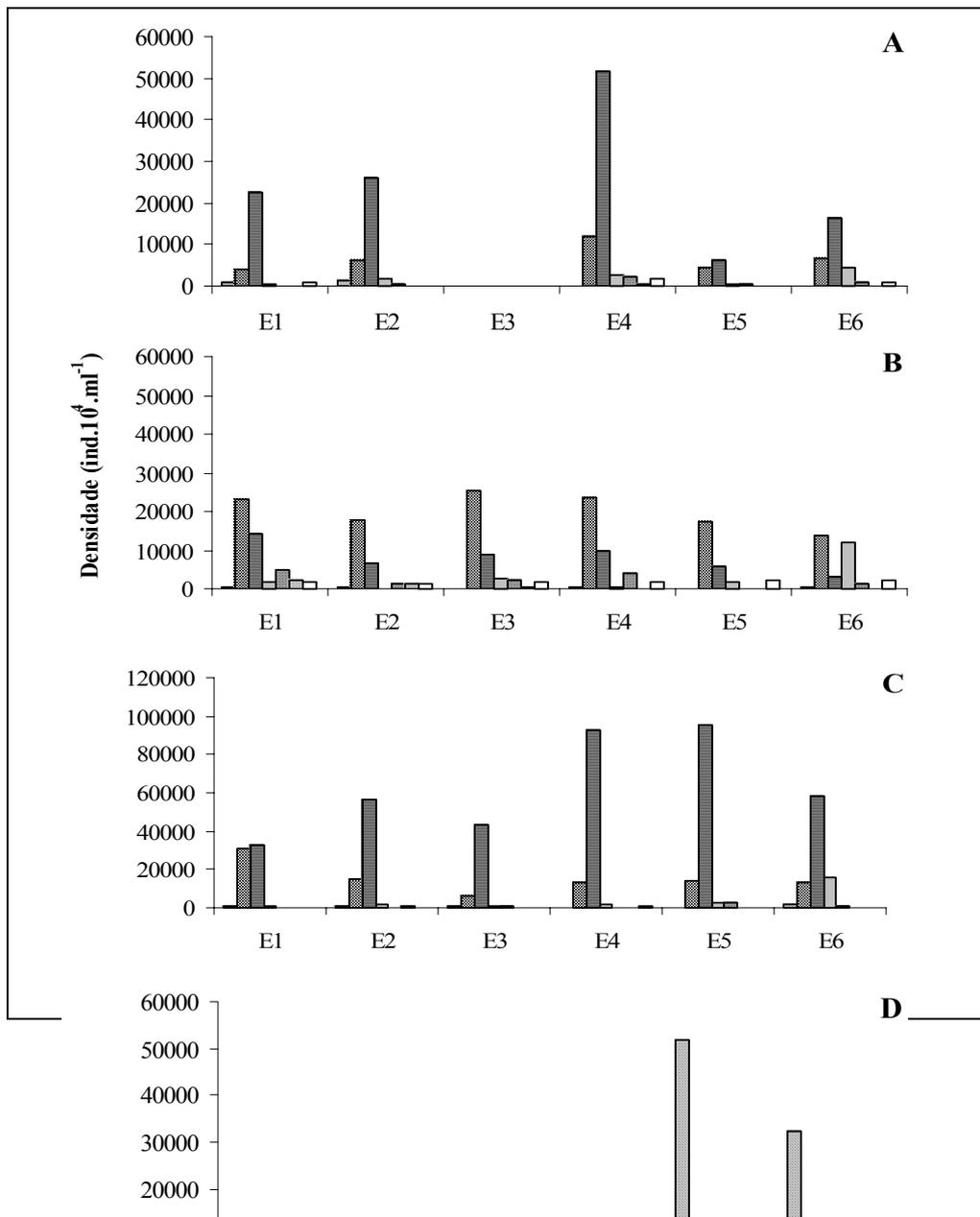


Figura 2 - Variação espacial da densidade total do fitoplâncton ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.



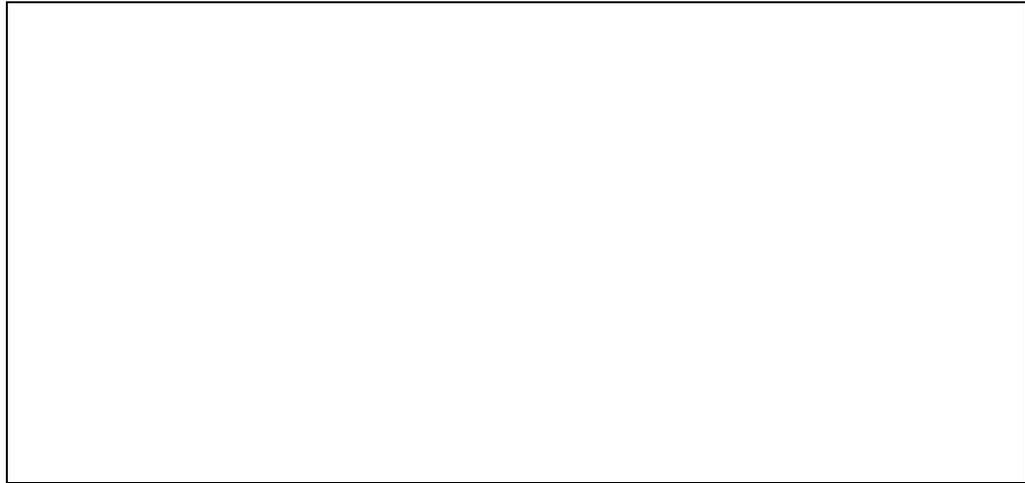


Figura 3 - Variação espacial da densidade dos grupos fitoplanctônicos (ind. $10^4$ .ml $^{-1}$ ) nas coletas de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D) no lago Aníbal.

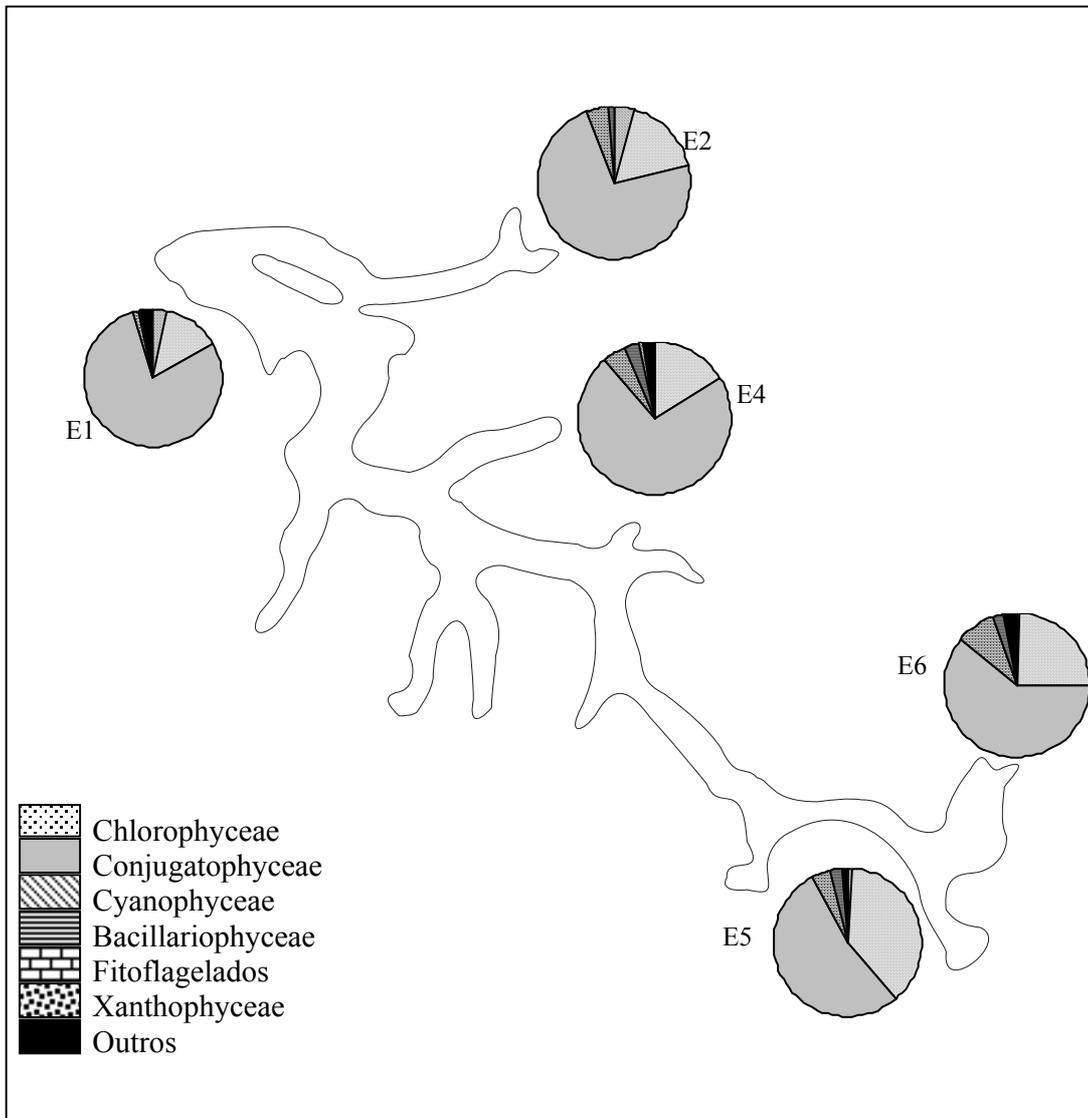


Figura 4 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal, exceto E3, na amostragem de junho de 1999, em condições de isoterмия.

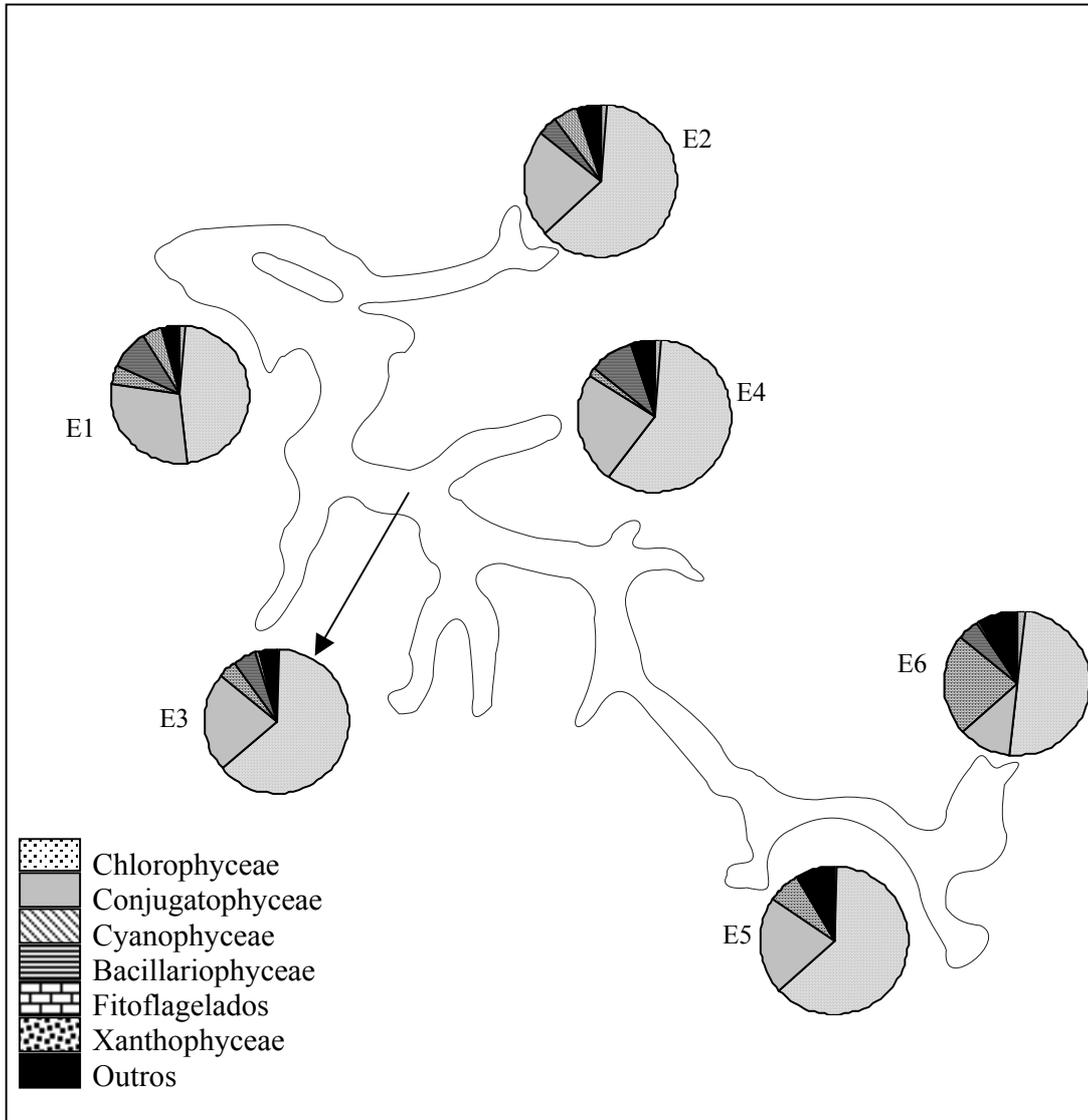


Figura5 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal na amostragem de agosto de 1999, em condições de isoterμία.

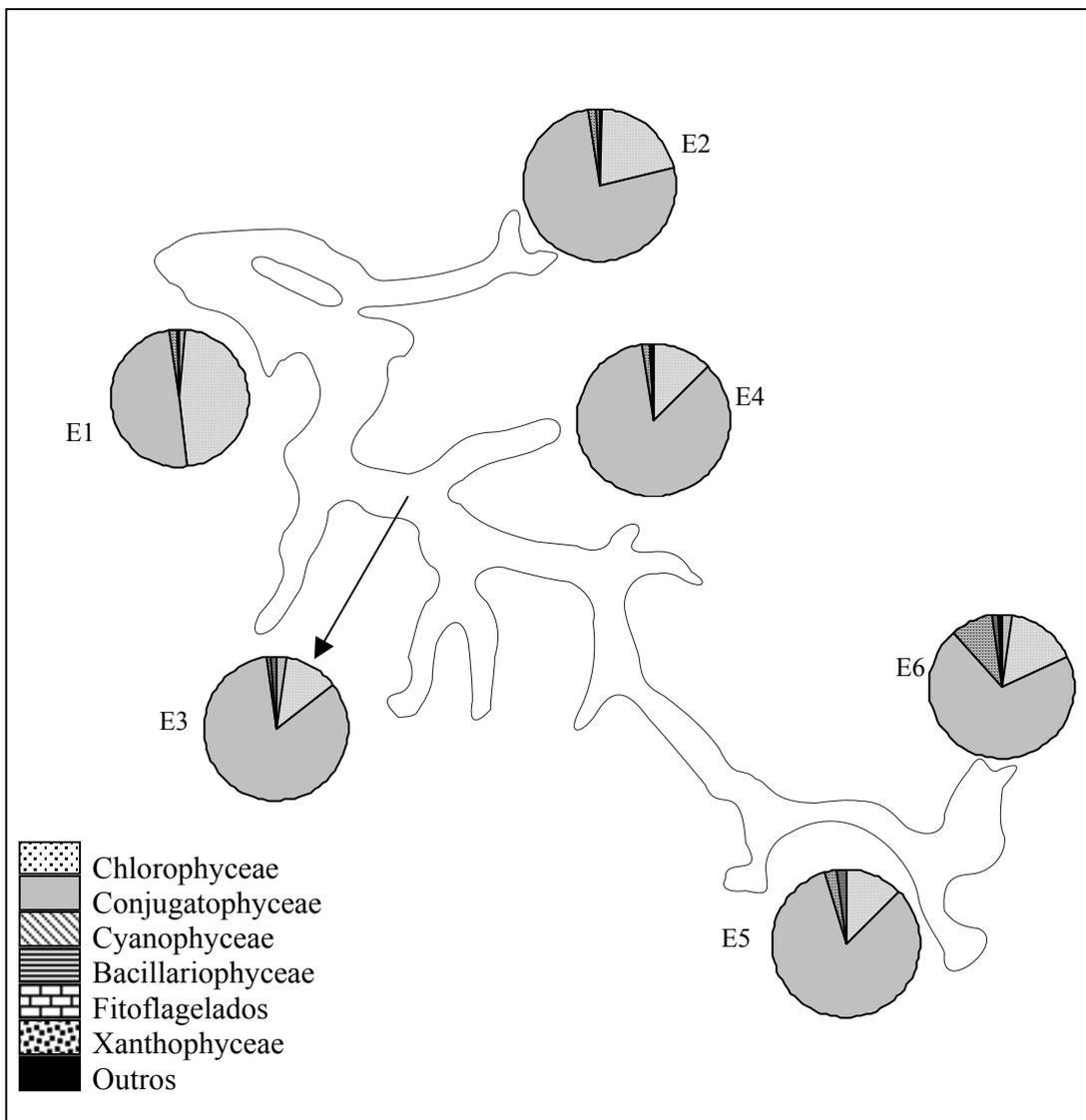


Figura 6 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal na amostragem de fevereiro de 2000, em condições de heterotermia.

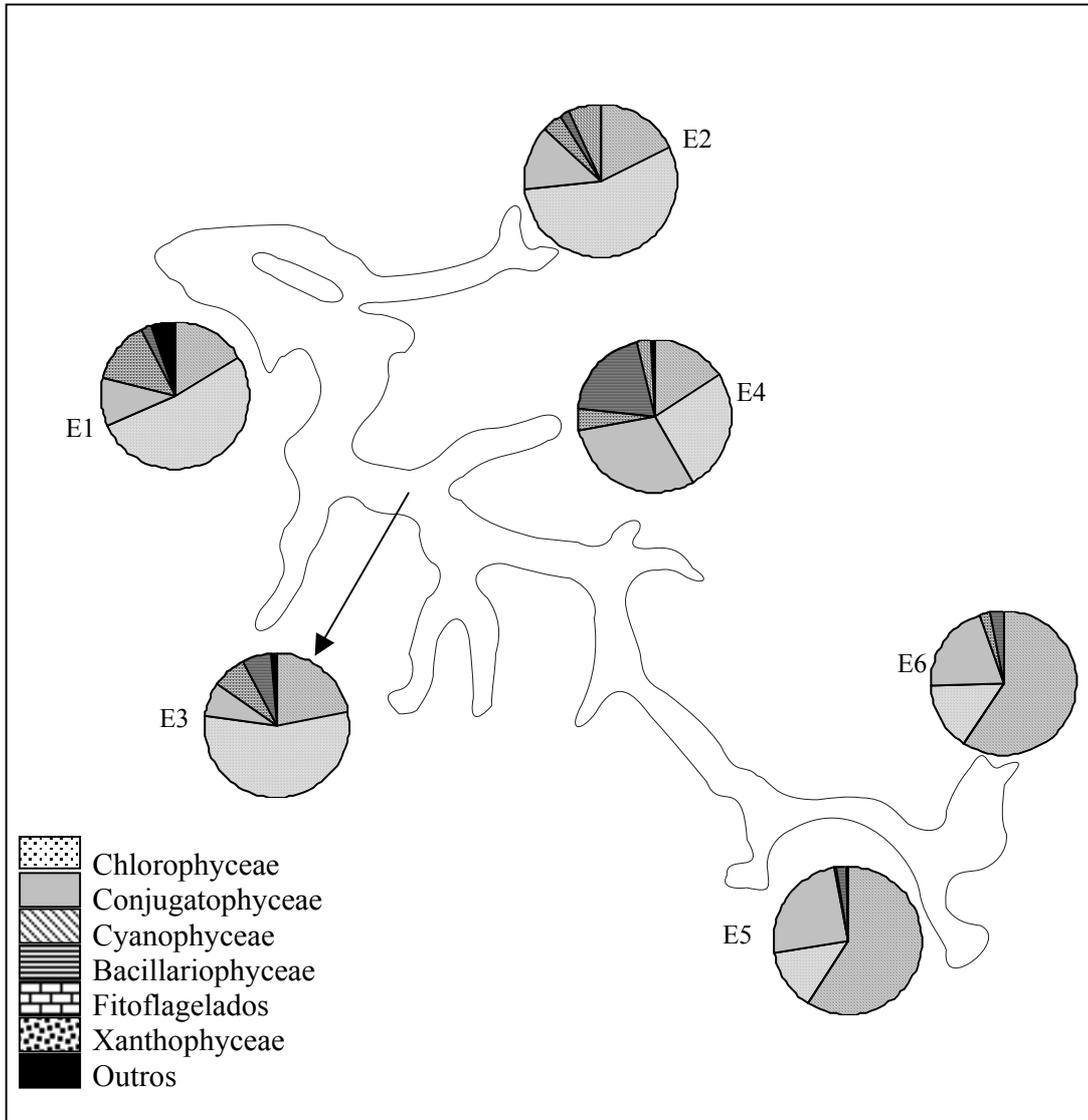


Figura 7 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E6) do lago Aníbal na amostragem de maio de 2000, em condições de isotermita.

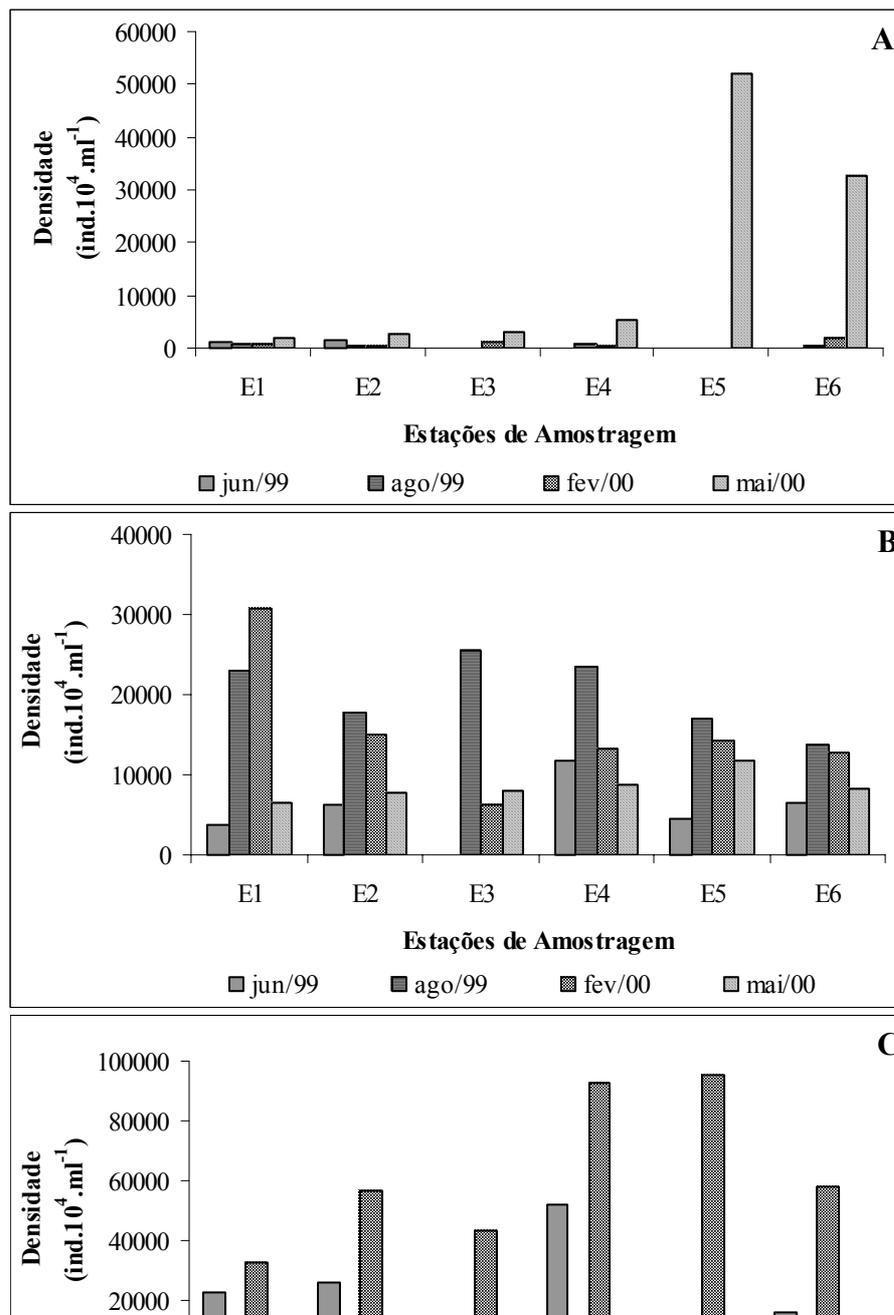


Figura 8 - Variação espacial horizontal (E1-E6) da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

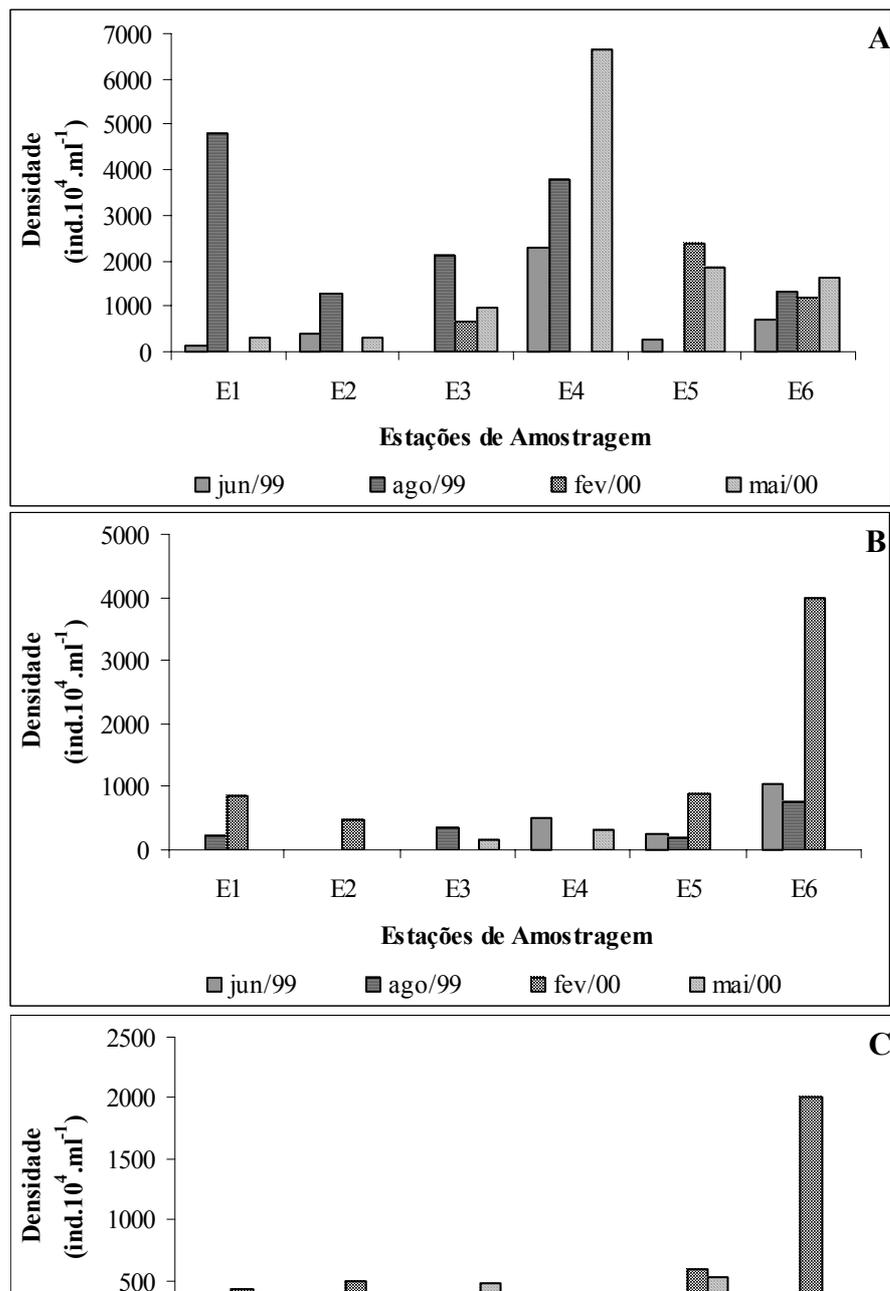


Figura 9 - Variação espacial horizontal (E1-E6) da densidade ( $\text{ind.}10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) das classes Bacillariophyceae (A), Chrysophyceae (B) e Cryptophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

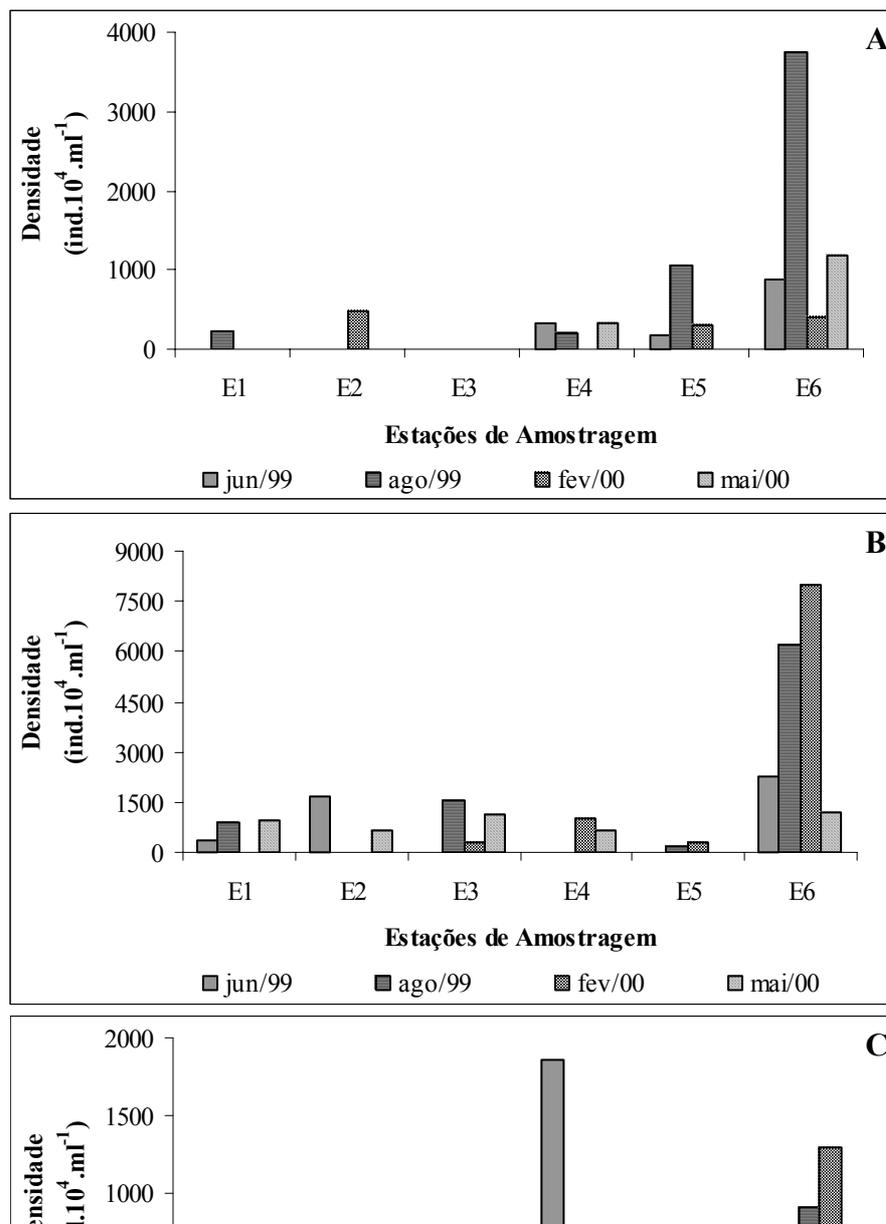


Figura 10 - Variação espacial horizontal (E1-E6) da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Dinophyceae (A), Euglenophyceae (B) e da ordem Volvocales (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

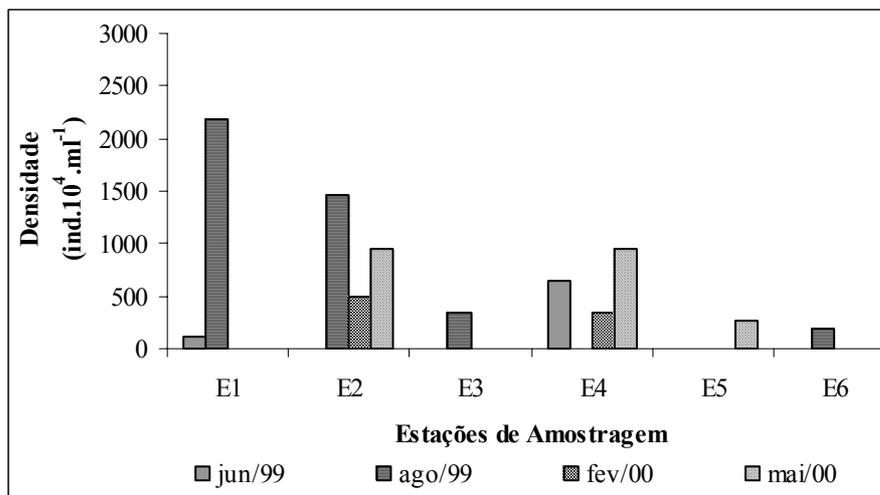


Figura 11 - Variação espacial da densidade da classe Xanthophyceae ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

Tabela 4 - Frequência de ocorrência (%) dos táxons registrados nas amostras quantitativas, referentes à distribuição horizontal e vertical, do lago Aníbal (Ct: constantes; C: comuns; R: raros; <sup>A</sup>: abundantes; <sup>D</sup>: dominantes).

Táxons	Frequência de Ocorrência (%)	
	Distribuição Horizontal	Distribuição Vertical
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Ankistrodesmus bernardii</i> Kom.	47,8% – C <sup>A</sup>	41,7% - C
<i>A. spirallis</i> (Turn.) Lemm.	26,1% – C	16,7% - C
<i>Chlorella</i> sp.	56,5% – Ct	50,0% - Ct
<i>Coelastrum pulchrum</i> Schmidle	---	8,3% - R
<i>C. sphaericum</i> Näg. var. <i>rugulosum</i> (Thom.) Sodomková	4,3% – R	---
<i>Crucigenia</i> cf. <i>fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle	4,3% – R	---
<i>C. tetrapedia</i> (Kirchn.) West & West	21,7% – C	16,7% - C
<i>Crucigeniella pulcra</i> (West & West) Kom.	13,0% – C	---
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	65,2% – Ct <sup>A</sup>	50,0% - Ct
<i>Didymocystis</i> sp.	86,9% – Ct <sup>A</sup>	91,7% - Ct <sup>A</sup>
<i>Elakatothrix viridis</i> (Snow) Printz	69,5% – Ct	58,3% - Ct
<i>Eutetramorus fottii</i> (Hind.) Kom.	78,2% – Ct <sup>A</sup>	58,3% - Ct <sup>A</sup>
<i>Glaucocystis nostochinearum</i> Itzigs. in Rabh.	82,6% – Ct <sup>A</sup>	91,7% - Ct
<i>Kirchneriella</i> sp.	13,0% – C <sup>A</sup>	---
<i>Monoraphidium mirabile</i> (West & West) Pankow	86,9% – Ct <sup>A</sup>	83,3% - Ct
<i>M. cf. pulsillum</i> (Printz) Kom.-Legn.	4,3% – R	---
<i>Oocystis</i> sp.	34,8% – C	66,7% - Ct
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	4,3% – R	---
<i>Scenedesmus arcuatus</i> Lemm. var. <i>arcuatus</i> f. <i>arcuatus</i>	30,4% – C	33,3% - C
<i>S. arcuatus</i> Lemm. var. <i>arcuatus</i> f. <i>gracile</i> Hortob.	17,4% – C	16,7% - C
<i>S. ecornis</i> (Ehr.) Chod.	65,2% – Ct <sup>A</sup>	75,0% - Ct
<i>S. quadricauda</i> (Turp.) Bréb. var. <i>westii</i> G. M. Smith	4,3% – R	---

<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansg.	52,2% – Ct <sup>A</sup>	41,7% - C
<i>T. gracile</i> (Reinsch) Hansg.	8,7% – R <sup>A</sup>	---
<i>T. minimum</i> (A. Br.) Hansg.	52,2% – Ct	75,0% - Ct
<i>Tetrastrum komarekii</i> Hind.	13,0% – C	8,3% - R
Chlorococcales 1	26,1% – C <sup>A</sup>	33,3% - C
Chlorococcales 2	13,0% – C	16,7% - C
Chlorococcales 3	8,7% – R	8,3% - R
Chlorococcales 4	4,3% – R	---
Chlorophyceae 1	4,3% – R <sup>A</sup>	8,3% - R
Chlorophyceae 2	91,3% – Ct	83,3% - Ct
<i>Bulbochaete</i> sp.	4,3% – R	---
<i>Oedogonium</i> sp.	13,0% – C	---
<i>Ulothrix</i> sp.	17,4% – C	---
<b>Conjugatophyceae</b>		
<i>Actinotaenium perminutum</i> (G. S. West) Teil. ex Ruzick. & Pouz.	78,2% – Ct <sup>A</sup>	66,7% - Ct
<i>Cosmarium asphaerosporum</i> Nordst. var. <i>strigosum</i> Nordst.	73,9% – Ct <sup>D</sup>	91,7% - Ct
<i>C. bioculatum</i> Bréb.	73,9% – Ct <sup>A</sup>	83,3% - Ct

Tabela 4 – Continuação

Táxons	Frequência de Ocorrência (%)	
	Distribuição Horizontal	Distribuição Vertical
<i>C. capitulum</i> Roy & Biss.	30,4% – C	33,3% - C
<i>C. contractum</i> Kirchn. var. <i>minututissimum</i> Grönb.	39,1% – C	33,3% - C
<i>C. contractum</i> Kirchn. var. <i>minutum</i> (Delp.) West & West	91,3% – Ct <sup>A</sup>	66,7% - Ct
<i>C. pygmeum</i> Arch. var. <i>perornatum</i> Skuja	69,5% – Ct <sup>A</sup>	25,0% - C
<i>Cosmarium</i> sp.1	21,7% – C	8,3% - R
<i>Cosmarium</i> sp.2	---	8,3% - R
<i>Cosmarium</i> sp.3	17,3% – C <sup>A</sup>	16,7% - C
<i>Cosmarium</i> sp. 4	4,3% – R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 5	4,3% – R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 6	4,3% – R	---
<i>Closterium</i> sp.	8,7% – R	---
<i>Staurastrum dentatum</i> Krieg. var. <i>gracile</i> Hirano	52,2% – Ct	33,3% - C
<i>S. ellipticum</i> W. West var. <i>ellipticum</i> f. <i>minutum</i> Sormus	30,4% – C	33,3% - C
<i>S. excavatum</i> West & West	73,9% – Ct <sup>A</sup>	58,3% - Ct
<i>S. cf. haaboliense</i> Wille	4,3% – R	8,3% - R
<i>S. laeve</i> Ralfs	73,9% – Ct <sup>A</sup>	75,0% - Ct
<i>S. leptocladum</i> Nordst. var. <i>cornutum</i> Wille	13,0% – C	8,3% - R
<i>S. novae-terrae</i> Taylor var. <i>longibrachiatum</i> Prescott & Scott	13,0% – C	8,3% - R
<i>S. rotula</i> Nordst.	17,4% – C	33,3% - C
<i>S. smithii</i> (G. M. Smith) Teil.	86,9% – Ct <sup>A</sup>	75,0% - Ct
<i>S. tetracerum</i> (Kütz.) Ralfs	65,2% – Ct <sup>A</sup>	75,0% - Ct
<i>Staurastrum</i> sp. 1	17,4% – C	8,3% - R
<i>Staurastrum</i> sp. 2	4,3% – R	---
<i>Staurastrum</i> sp. 3	---	8,3% - R
<i>Stauroidesmus convergens</i> (Ehr.) Teil. var. <i>laportei</i> Teil.	13,0% – C	---

<i>S. crassus</i> (West & West) Florin	86,9% – Ct <sup>A</sup>	75,0% - Ct
<i>S. cuspidatus</i> (Bréb.) Teil. var. <i>curvatus</i> (W. West) Teil.	21,7% – C	33,3% - C
<i>S. lobatus</i> var. <i>ellipticus</i> f. <i>minor</i>	4,3% – R	---
<i>S. mamillatus</i> (Nordst.) Teil.	17,4% – C	---
<i>S. cf. pterosporus</i> (Lund.) Bourr.	52,2% – Ct <sup>A</sup>	41,7% - C
<i>S. subulatus</i> (Kütz.) Thom.	4,3% – R	---
<i>Teilingia granulata</i> (Roy & Biss.) Bourr. ex Comp.	4,3% – R	33,3% - C
<i>Xanthidium cf. concinum</i> Arch.	69,5% – Ct <sup>A</sup>	66,7% - Ct
<i>Mougeotia</i> sp.	8,7% – R	8,3% - R
<b>Cyanophyceae</b>		
<i>Aphanocapsa</i> sp.	4,3% – R	---
<i>Aphanothece comasii</i> Kom.-Legn. et Tavera	8,7% – R	8,3% - R
<i>Arthrospira</i> sp.	---	8,3% - R
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz.) Näg.	39,1% – C	16,7% - C
<i>Limnothrix</i> sp.	---	8,3% - R
<i>Lynghya hyeronimussi</i> Lemm. var. <i>crassi-vaginata</i> Ghose	13,0% – C	---
<i>Microcystis protocystis</i> Crow	4,3% – R	---

Tabela 4 – Continuação

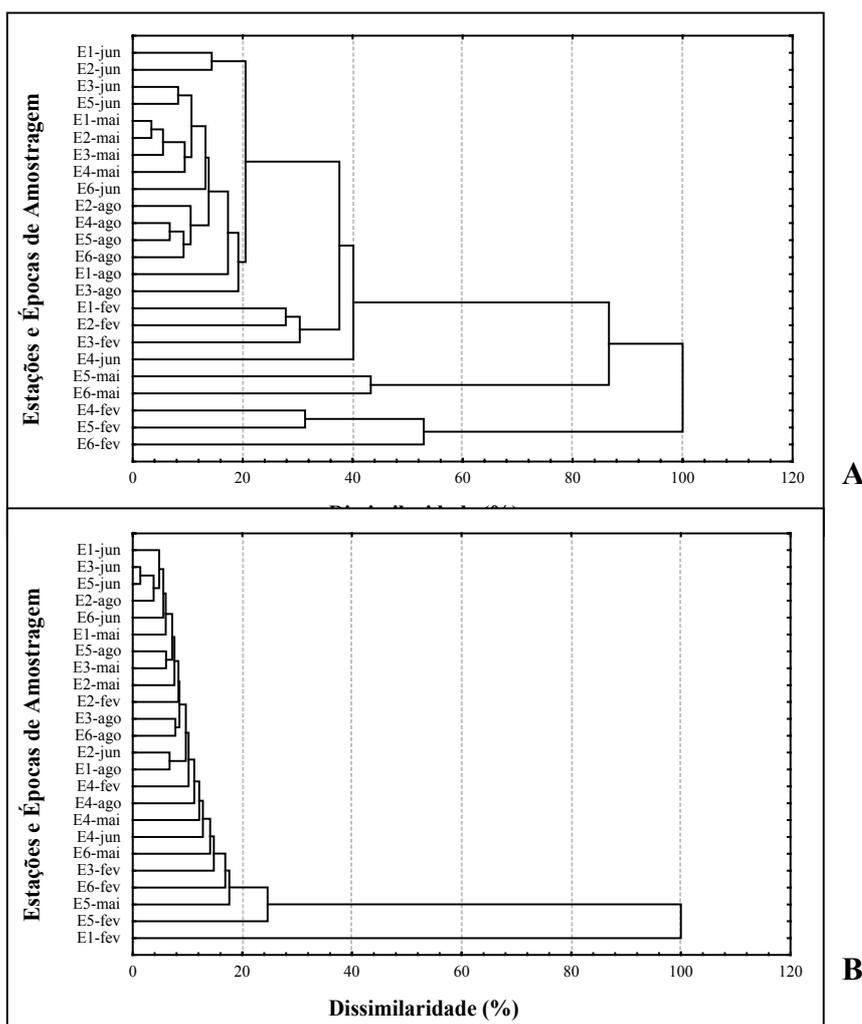
Táxons	Frequência de Ocorrência (%)	
	Distribuição Horizontal	Distribuição Vertical
<i>M. wezenbergii</i> (Kom.) Kom. in Kondrateva	4,3% – R	---
<i>Planktothrix cf. clanthrata</i> Skuja	4,3% – R	8,3% - R
<i>Woskyella</i> sp.	65,2% – Ct <sup>D</sup>	50,0% - Ct
<i>Microcystis</i> sp.	4,3% – R	---
Chroococcales 1	---	8,3% - R
Chroococcales 2	8,7% – R	8,3% - R
Pseudanabaenaceae 1	13,0% – C	---
Pseudanabaenaceae 2	4,3% – R	16,7% - C
<b>Bacillariophyceae</b>		
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.) Sim.	21,7% – C	16,7% - C
<i>Cymbella spicula</i> Hust.	4,3% – R	---
<i>Cymbella</i> sp.	8,7% – R	16,7% - C
<i>Navicula</i> sp.1	8,7% – R	---
<i>Navicula</i> sp.2	---	8,3% - R
<i>Navicula</i> sp.3	17,4% – C	---
<i>Nitzschia</i> sp.1	13,0% – C	---
<i>Nitzschia</i> sp.2	4,3% – R	---
<i>Nitzschia</i> sp.3	4,3% – R <sup>A</sup>	---
<i>Rhizosolenia</i> sp.	69,5% – Ct <sup>A</sup>	83,3% - Ct
<b>Xanthophyceae</b>		
<i>Goniochloris mutica</i> (A. Br.) Fott	13,0% – C <sup>A</sup>	33,3% - C
Xanthophyceae 1	34,8% – C <sup>A</sup>	25,0% - C
<b>Fitoflagelados</b>		
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Chlamydomonas</i> sp. 1	17,4% – C	8,3% - R
<i>Chlamydomonas</i> sp. 2	30,4% – C	16,7% - C
<i>Eudorina uniccocca</i> Smith	4,3% – R	---
<i>Gloeomonas</i> sp.	21,7% – C	16,7% - C
<b>Chrysophyceae</b>		
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	30,4% – C	41,7% - C

<i>Mallomonas</i> sp.	37,8% – C	33,3% - C
<b><u>Cryptophyceae</u></b>		
<i>Cryptomonas</i> cf. <i>ovata</i> Ehr.	47,8% – C	16,7% - C
<i>Cryptomonas</i> sp.	13,0% - C	8,3% - R
<b><u>Dinophyceae</u></b>		
<i>Peridinium umbonatum</i> Stein	26,1% – C	25,0% - C
<i>P. willei</i> Huitfeld-Kaas	34,8% – C <sup>A</sup>	---
<i>Peridinium</i> sp.	---	16,7% - C
<b><u>Euglenophyceae</u></b>		
<i>Phacus longicauda</i> (Ehr.)Dujard.	---	8,3% - R
<i>Trachelomona raciborskii</i> Wolosz.	4,3% – R	---
<i>T. sculpta</i> Balech	4,3% – R	---
<i>T. volvocinopsis</i> Swir.	43,5% – C <sup>A</sup>	41,7% - C
<i>Trachelomonas</i> sp.	13,0% – C <sup>A</sup>	16,7% - C

Tabela 5 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade H' (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada uma das estações de amostragem (E1 a E6) durante as quatro coletas realizadas no lago Aníbal.

Coleta	Estação	R	J	D	H'
Junho de 1999	E1	31	0,78	0,10	3,89
	E2	29	0,85	0,07	4,14
	E3	---	---	---	---
	E4	38	0,77	0,09	4,07
	E5	28	0,76	0,12	3,66
	E6	25	0,86	0,08	4,01
Agosto de 1999	E1	43	0,87	0,05	4,75
	E2	34	0,84	0,07	4,29
	E3	38	0,78	0,10	4,09
	E4	38	0,81	0,08	4,28
	E5	37	0,78	0,10	4,07
	E6	37	0,78	0,10	4,06
Fevereiro de 2000	E1	22	0,81	0,10	3,64
	E2	28	0,82	0,08	3,95
	E3	27	0,78	0,13	3,71
	E4	20	0,69	0,27	2,89
	E5	31	0,62	0,25	3,07
	E6	34	0,73	0,16	3,71
Maio de 2000	E1	26	0,74	0,16	3,51
	E2	23	0,76	0,15	3,47
	E3	21	0,78	0,14	3,43
	E4	34	0,86	0,07	4,39
	E5	32	0,55	0,33	2,79
	E6	32	0,58	0,30	2,90

O dendrograma resultante da análise estatística realizada para os táxons abundantes distinguiu as amostragens de junho de 1999 e agosto de 1999 das de fevereiro de 2000 e maio de 2000, sendo que as duas primeiras amostragens apresentaram aproximadamente 80% de similaridade. Houve ainda a separação das estações E4, E5 e E6 de fevereiro de 2000 e E5 e E6 de maio de 2000 das demais estações. A análise de agrupamento realizada para os táxons raros separou as coletas de junho de 1999 e fevereiro de 2000 das coletas de agosto de 1999 e maio de 2000, com 38% de dissimilaridade. A mesma análise feita para os táxons constantes e comuns não abundantes não distinguiu agrupamentos (Fig. 12).



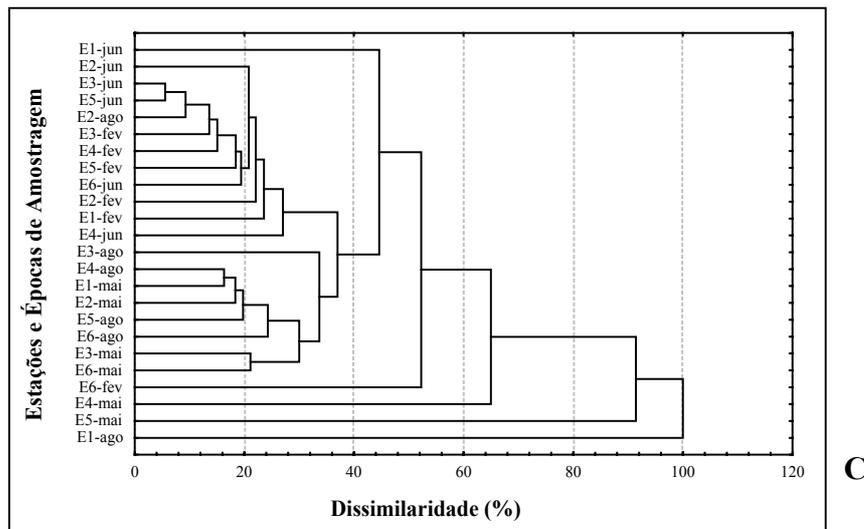


Figura 12 - Ordenação das épocas e estações de amostragem do lago Aníbal através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons abundantes comuns e constantes (A), não abundantes comuns e constantes (B) e raros (C).

Com relação à distribuição vertical, as análises quantitativas do fitoplâncton revelaram que a comunidade esteve composta por 78 táxons: 23 Chlorophyceae, 28 Conjugatophyceae, 9 Cyanophyceae, 12 fitoflagelados, 4 Bacillariophyceae e 2 Xanthophyceae.

Considerando a comunidade como um todo, nas coletas dos meses de junho e agosto de 1999 e maio de 2000 a distribuição foi homogênea ao longo da coluna d'água, ao passo que em fevereiro de 2000, foram observadas maiores densidades na superfície, intermediárias no meio e menores no fundo (Fig. 13). A variação sazonal seguiu o mesmo padrão da distribuição horizontal (Fig. 14).

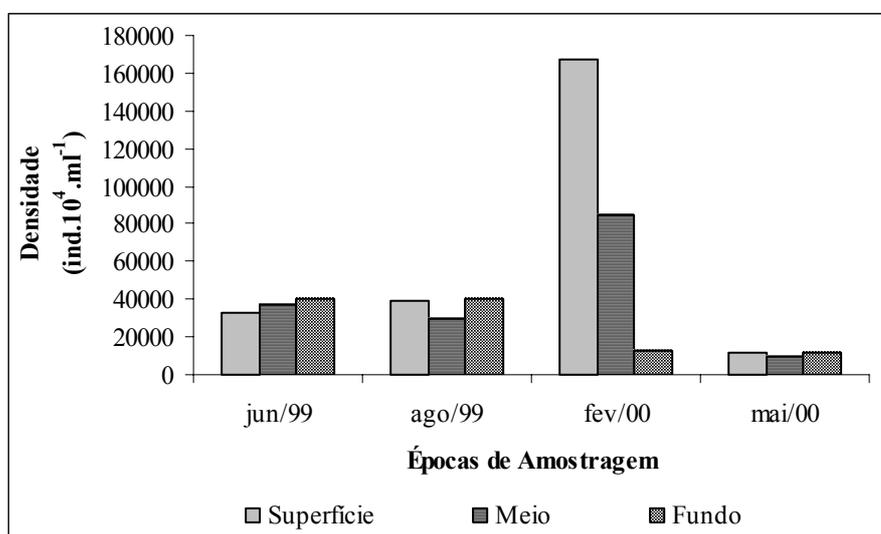


Figura 13 - Variação vertical da densidade total ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) do fitoplâncton na estação E3 durante as quatro amostragens realizadas no lago Aníbal.

A contribuição das classes fitoplanctônicas foi semelhante nas três profundidades em junho de 1999 e agosto de 2000. Em fevereiro de 2000, a superfície e o meio tiveram maior contribuição de Conjugatophyceae seguido por Chlorophyceae e, no fundo, a classe Cyanophyceae foi dominante. Em maio de 2000, predominaram as Chlorophyceae e as classes Cyanophyceae e Conjugatophyceae ocorreram em proporções semelhantes nas três profundidades. Porém, na superfície houve um aumento na porcentagem dos fitoflagelados e no fundo além dos fitoflagelados, houve também aumento das Bacillariophyceae (Fig. 15). As Figuras 16 a 19 trazem a distribuição vertical e temporal dos diferentes grupos de algas registrados no lago Aníbal.

Não foram registradas espécies dominantes nas amostras de distribuição vertical e somente duas espécies foram consideradas abundantes: *Didymocystis* sp. e *Euteramorus fottii*, ambos na superfície durante a coleta junho de 1999. 23 táxons foram considerados constantes, 33 foram comuns e 22 foram raros (Tab. 4). Com relação aos índices de diversidade, os maiores índices foram observados durante agosto de 1999, quando houve maior riqueza específica (Tab. 6). Durante as quatro coletas não se observou diferença dos índices entre superfície, meio da coluna d'água e fundo. No entanto, em fevereiro e maio de 2000, a riqueza específica foi maior na superfície e menor no fundo.

A análise estatística realizada para os táxons constantes e para os táxons comuns mostrou a distinção de cada época de coleta, agrupando as três profundidades em junho e agosto de 1999 e maio de 2000 e distanciando o fundo das profundidades superfície e meio em fevereiro de 2000. O teste estatístico para os táxons raros não distinguiu agrupamentos (Fig. 20).

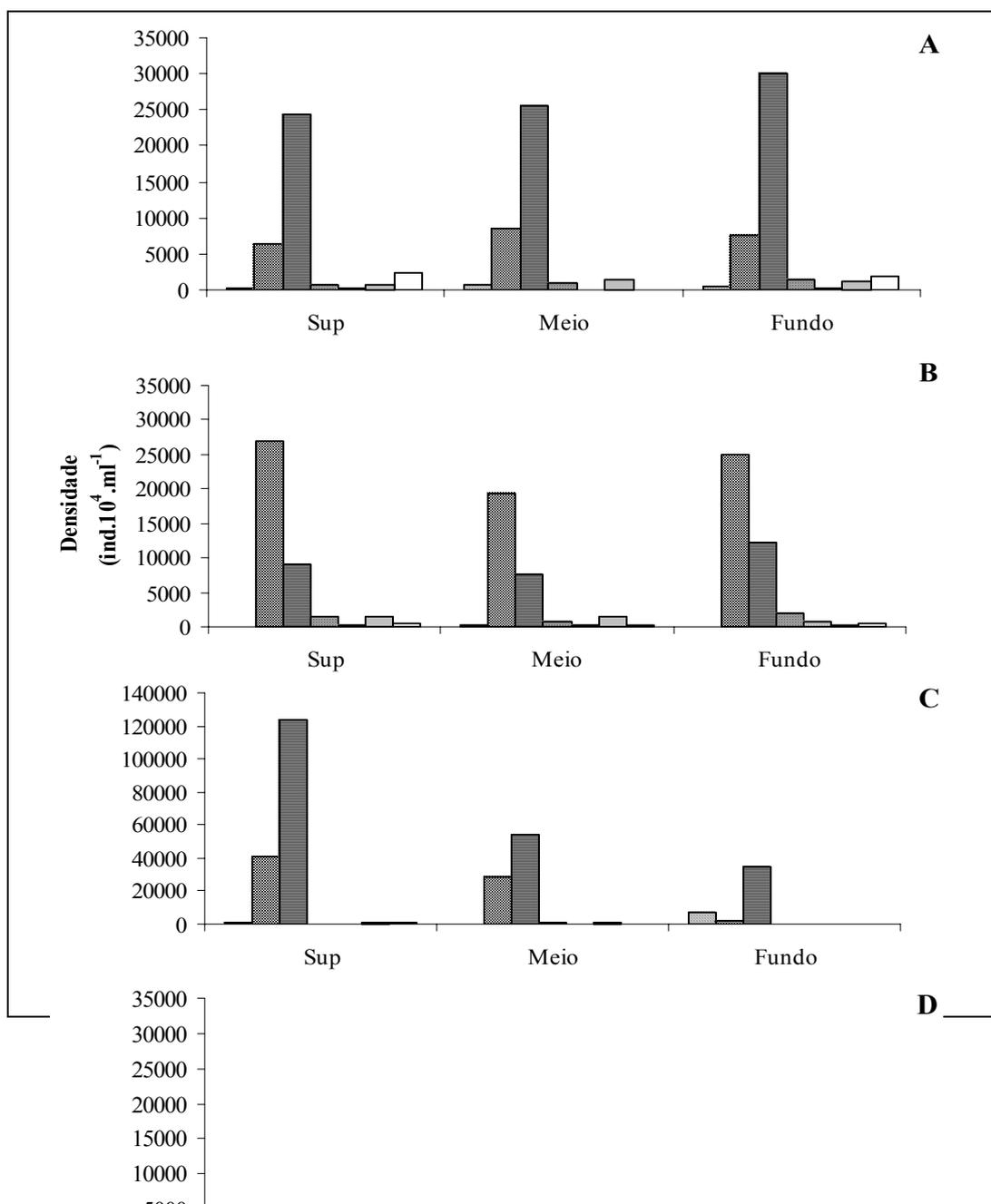
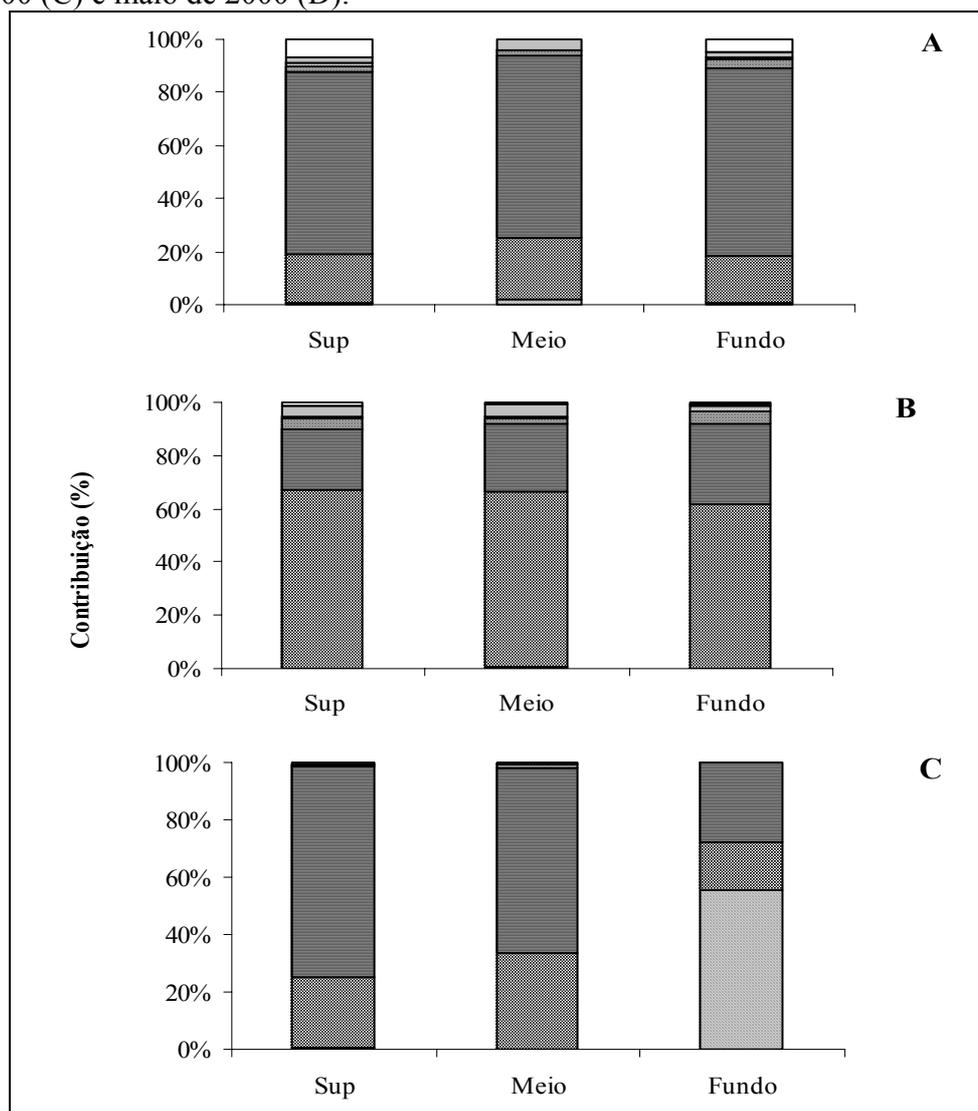




Figura 14 - Variação vertical da densidade dos grupos fitoplanctônicos ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) na estação E3 do lago Aníbal em de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).



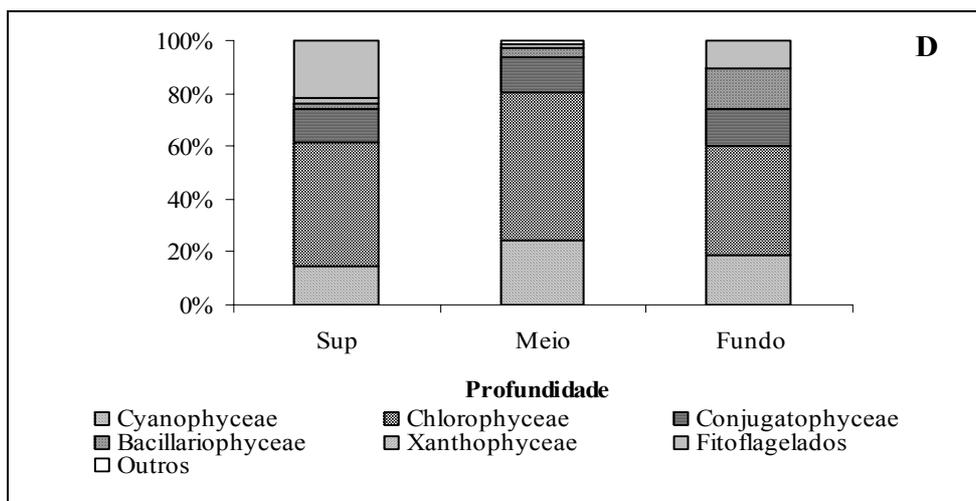


Figura 15 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplantônicos nas três profundidades da estação E3 do lago Aníbal nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

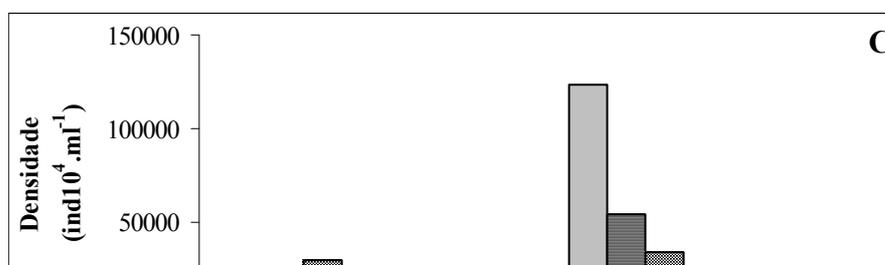
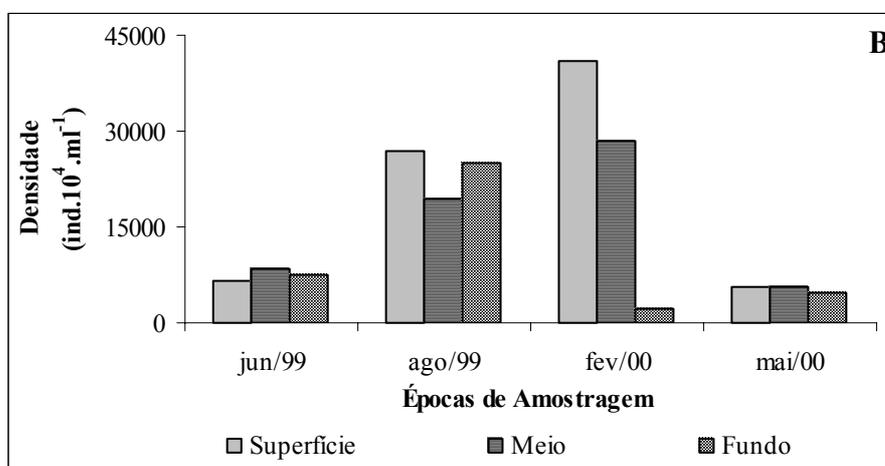
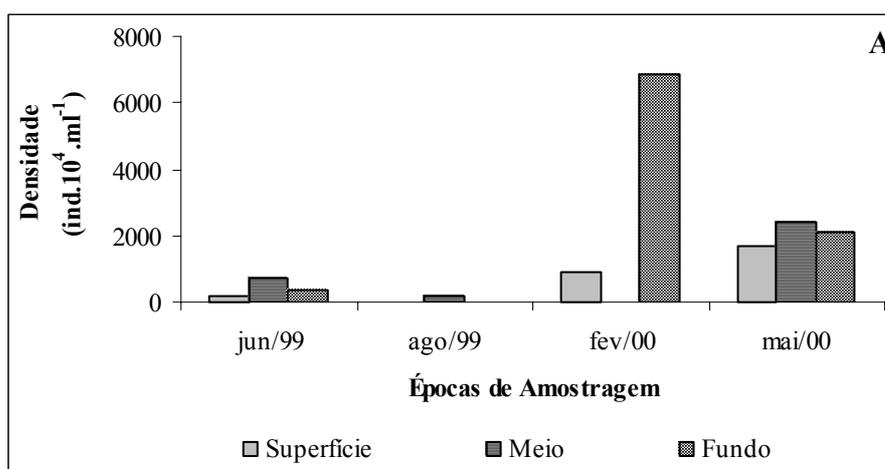


Figura 16 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Anibal.

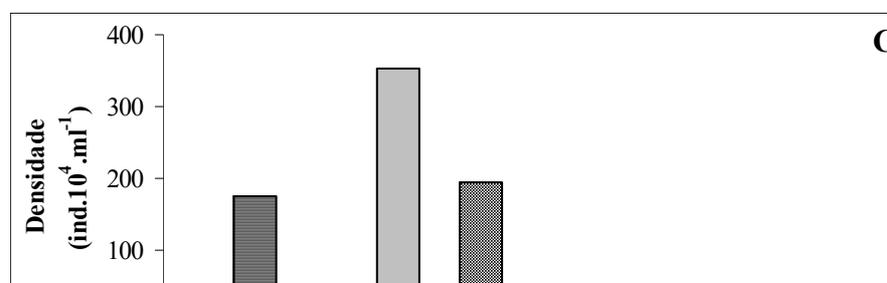
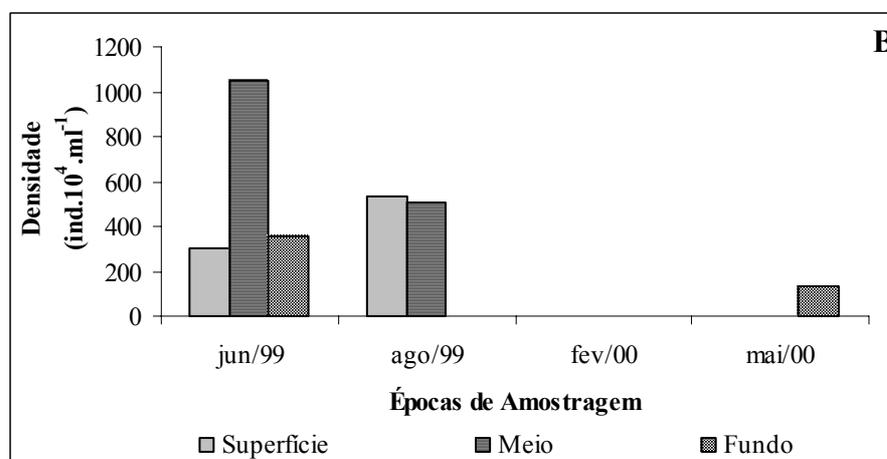
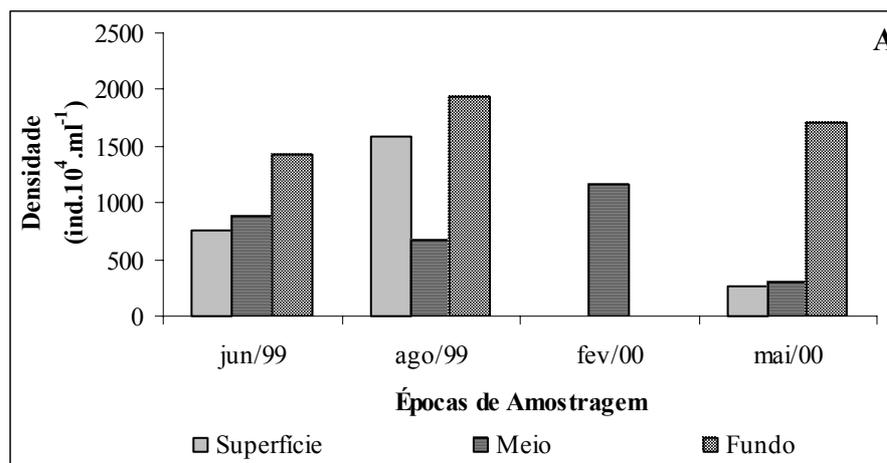


Figura 17 - Variação vertical da densidade (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) das classes Bacillariophyceae (A), Chrysophyceae (B) e Cryptophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal.

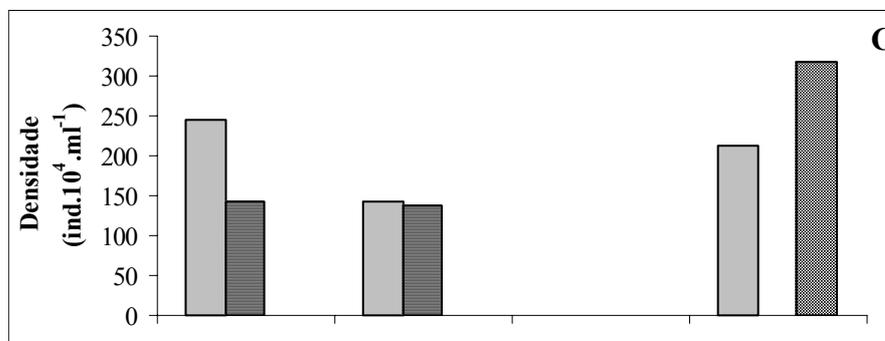
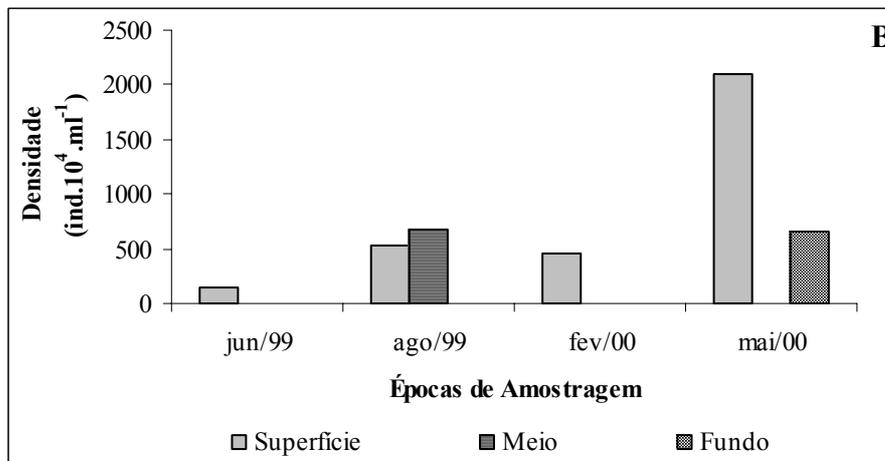
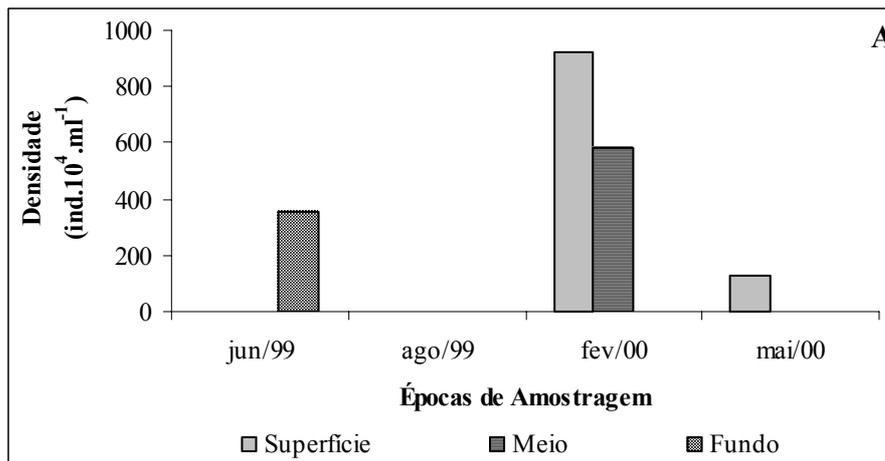


Figura 18 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) das classes Dinophyceae (A), Euglenophyceae (B) e da ordem Volvocales (C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal.

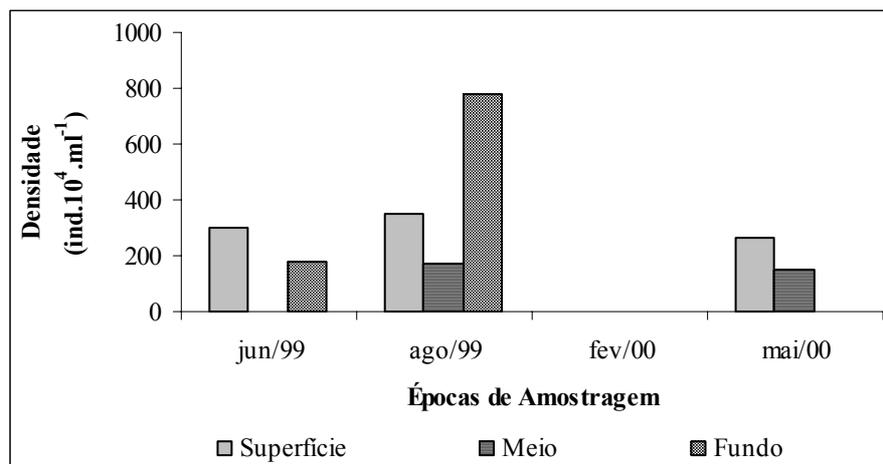
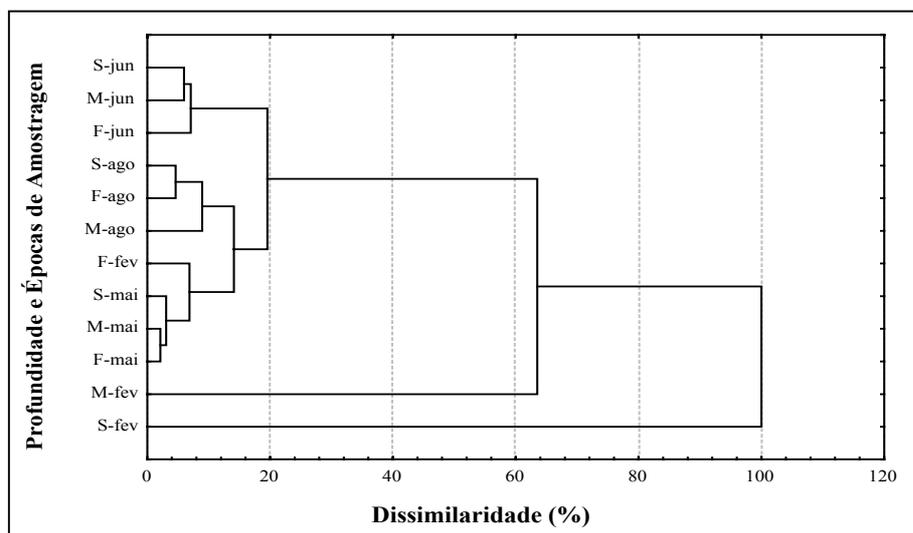


Figura 19 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) da classe Xanthophyceae durante as quatro amostragens realizadas na estação E3 do lago Aníbal.

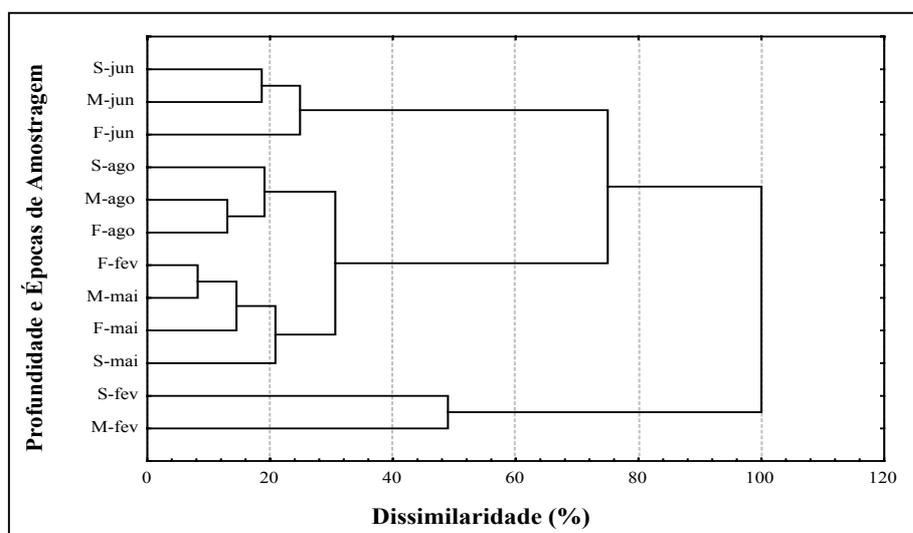
Tabela 6 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  ( $\text{bits} \cdot \text{ind}^{-1}$ ) para cada profundidade (superfície, meio e fundo) da estação E3 durante as quatro coletas realizadas no lago Aníbal.

Coleta	Profundidade	R	J	D	$H'$
--------	--------------	---	---	---	------

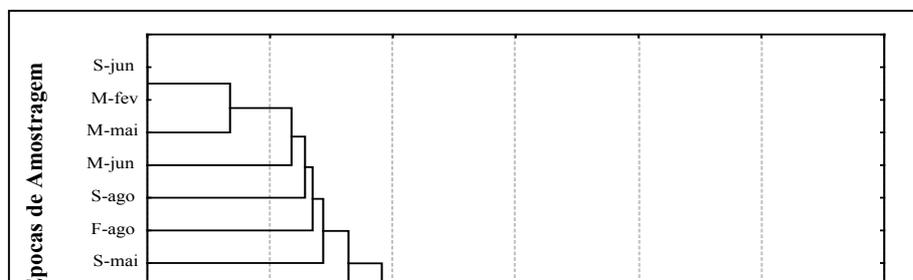
Junho de 1999	Superfície	28	0,80	0,09	3,83
	Meio	27	0,82	0,08	3,94
	Fundo	29	0,81	0,09	3,92
Agosto de 1999	Superfície	32	0,85	0,07	4,23
	Meio	38	0,86	0,05	4,54
	Fundo	33	0,88	0,06	4,42
Fevereiro de 2000	Superfície	32	0,73	0,13	3,66
	Meio	22	0,69	0,18	3,07
	Fundo	17	0,83	0,17	3,39
Maio de 2000	Superfície	25	0,85	0,09	3,94
	Meio	22	0,76	0,16	3,41
	Fundo	20	0,82	0,12	3,56



**A**



**B**



C

Figura 20 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem na estação E3 do lago Aníbal através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada realizada com os táxons constantes (A), comuns (B) e raros (C) (S: superfície, M: meio, F: fundo).

## DISCUSSÃO & CONCLUSÕES

Considerando os dados obtidos para as variáveis abióticas, verificou-se que o lago Aníbal possui um padrão de circulação semelhante aos outros lagos estudados por TUNDISI & SAIJO (1997) no sistema Vale do Rio Doce. No presente estudo, o mês de fevereiro de 2000 foi caracterizado como tipicamente estratificado e observou-se a formação de uma camada metalimnética bem definida, enquanto nos demais meses a coluna d'água se apresentou isotérmica. Foi verificado que os períodos de estabilidade térmica e isoterмия influenciaram a dinâmica dos nutrientes e do material em suspensão, corroborando, dessa forma, os dados já existentes.

O primeiro estudo limnológico com dados sobre a comunidade fitoplanctônica no lago Aníbal foi realizado por TUNDISI *et al.* (1987), os quais verificaram o predomínio de Chlorophyta (Chlorophyceae + Conjugatophyceae) e Cyanophyta e também a ocorrência de espécies epilimnéticas como os flagelados. De fato, tais grupos foram verificados como sendo os de maior abundância no lago. No entanto, houve uma variação temporal quanto ao grupo de maior contribuição relativa, bem como nas densidades dos diversos grupos de algas identificados. Entretanto, a ocorrência de *blooms* de Cyanophyceae não foi verificada. As Conjugatophyceae foram dominantes em junho de 99 e fevereiro de 2000, enquanto as Chlorophyceae predominaram na coleta de agosto de 1999 e as Cyanophyceae em maio de 2000.

As Conjugatophyceae (constituídas quase exclusivamente por desmídias) atingiram maiores densidades no período de estratificação (fevereiro de 2000). Segundo COESEL & WARDENAAR (1990), estas algas atingem crescimento máximo em altas temperaturas. Além disso, a estabilidade da coluna d'água deve favorecer o aumento na densidade deste grupo.

As Chlorophyceae no lago Aníbal estiveram quase que inteiramente compostas por indivíduos da ordem Chlorococcales e as maiores densidades foram observadas em agosto de 1999. WILLÉN (1992) comenta que o decréscimo desse grupo em épocas de estabilidade térmica ocorre devido à sua incapacidade de locomoção ativa, por isso necessitam de turbulência para seu desenvolvimento. Considerando que o período de estratificação dura de setembro a abril e o de desestratificação de maio a agosto (TUNDISI, 1997), pode-se dizer que as altas densidades verificadas em agosto/1999 deveram-se ao final do período de isoterma.

Quanto às Cyanophyceae, provavelmente a sua densidade tenha sido influenciada pela disponibilidade de fósforo. De acordo com PAERL (1988), as Cyanophyceae possuem a habilidade de armazenar fósforo para a sua sobrevivência em períodos de deficiência deste nutriente. Durante as três primeiras coletas, a razão NT/PT variou de 21 a 51, enquanto que na quarta coleta (maio/2000) esta razão diminuiu, variando de 9 a 17, quando houve o aumento na densidade deste grupo, chegando a 45% de contribuição relativa. SMITH (1983) demonstrou a hipótese de que a baixa razão NT/PT favorece o desenvolvimento desse grupo. No entanto, a razão para a dominância das Cyanophyceae não pode ser atribuída a um só fator. BLOMQVIST *et al.* (1994) também atribuíram a este grupo (relacionando as espécies não fixadoras de nitrogênio) o seu desenvolvimento à disponibilidade de nitrogênio em forma de amônio ( $\text{NH}_4$ ) e à baixa razão  $\text{NO}_3/\text{PT}$  (nitrato/fósforo total) combinada a altas temperaturas. Assim, pode-se inferir que a alta contribuição das Cyanophyceae no hipolímnio em fevereiro de 2000 no lago Aníbal esteja relacionada ao pico de amônio verificado nesta profundidade (Fig. 21) e também à menor relação  $\text{NO}_3/\text{PT}$  (Fig. 22).

Os fitoflagelados apresentaram baixas densidades quando comparadas a dos grupos discutidos anteriormente e, provavelmente, por este motivo não se observou um padrão de distribuição sazonal. No entanto, apresentaram maiores densidades na estação E6 e com relação à distribuição vertical, sua maior contribuição foi na superfície da

coluna d'água. Porém, quando cada grupo de fitoflagelados foi avaliado separadamente, não se verificou padrão de distribuição vertical definido.

As Bacillariophyceae (diatomáceas) e as Xanthophyceae não apresentaram padrão de distribuição definido com relação às épocas e nem estações de amostragem. Somente com relação à distribuição vertical, as diatomáceas tiveram maiores densidades no fundo da coluna d'água em junho e agosto de 1999 e maio de 2000 que pode ser relacionado, principalmente, ao seu hábito de vida perifítico/bentônico.

A distribuição vertical da densidade total fitoplanctônica bem como a contribuição relativa dos grupos foi semelhante nas três profundidades analisadas nas amostragens de junho e agosto de 1999 e maio de 2000, apesar da zona eufótica ter atingido, no máximo, 7,8m. Entretanto, a coleta de fevereiro de 2000, período tipicamente estratificado, as densidades foram superiores na superfície, intermediárias em 5,0m e menores no fundo da coluna d'água, ou seja, houve estratificação da comunidade. Este padrão foi estabelecido pelos grupos de maior densidade: Conjugatophyceae e Chlorophyceae. Todavia, as Cyanophyceae tiveram crescimento populacional e maior contribuição no hipolímnio, como já discutido anteriormente. REYNOLDS *et al.* (1983) verificaram que as populações de *Plantkolyngbya limnetica* (basônimo: *Lyngbya limnetica*) no lago Carioca tiveram picos de densidade na camada metalimnética durante o período de estratificação, sendo este comportamento também constatado por HINO *et al.* (1986) para as populações fitoplanctônicas do lago Dom Helvécio. Segundo estes autores, o acúmulo da biomassa algal nos estratos estáveis da coluna d'água é comumente observado em lagos oligotróficos. Contudo, no presente estudo, a distribuição vertical não foi analisada em detalhe, já que apenas três profundidades foram amostradas, não permitindo uma comparação direta.

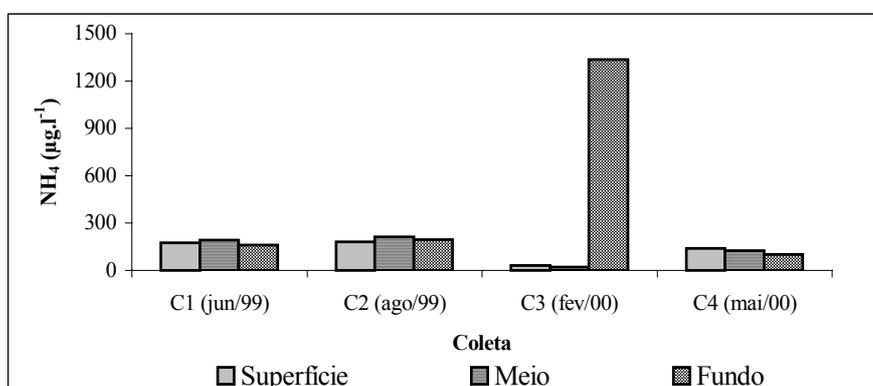


Figura 21 – Distribuição vertical e temporal do amônio -  $\text{NH}_4$  ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) na estação E3 do lago Aníbal.

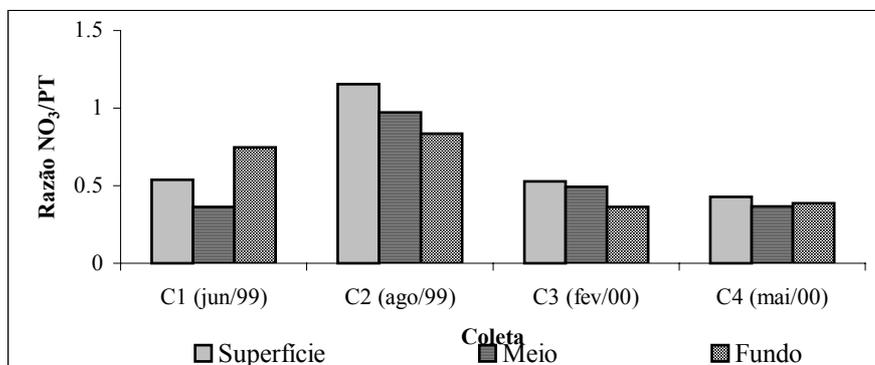


Figura 22 – Distribuição vertical e temporal da razão  $\text{NO}_3/\text{PT}$  na estação E3 do lago Aníbal.

Em relação aos índices de diversidade, observou-se, durante o período amostrado, altos índices quando comparados com alguns lagos do Baixo Rio Doce (HUSZAR *et al.*, 1990), os quais possuem grande influência antrópica e foram semelhantes aos verificados por DELLAMANO-OLIVEIRA *et al.* (no prelo) para um lago natural oligotrófico da região Nordeste (lagoa do Caçó, Maranhão). Pôde-se observar que os maiores índices de diversidade ocorreram nos períodos de isotermita e os menores no período de estratificação, quando o aumento na densidade fitoplanctônica esteve associado a um aumento nos índices de dominância. Apesar do período de estratificação ter influenciado a distribuição vertical do fitoplâncton, este fato não refletiu sobre os índices de diversidade. Constatou-se que a diversidade fitoplanctônica é influenciada principalmente pelo componente sazonal seguido do componente espacial horizontal, porém não é alterado pelo fator espacial vertical.

Baseando-se nas avaliações da composição, densidade e diversidade do fitoplâncton pode-se fazer algumas inferências sobre o índice de estado trófico. HUSZAR *et al.* (1998) salientaram que a concentração de nutrientes e clorofila *a* é usualmente inadequada para caracterizar os lagos tropicais, principalmente rasos, sendo que a composição de espécies do fitoplâncton é um critério mais sensível para essa avaliação.

REYNOLDS (1997) e HUSZAR & REYNOLDS (1997) salientaram que a predominância de desmídias como *Cosmarium*, *Staurastrum* e *Staurodesmus* é indicativa de um ambiente não enriquecido, com deficiência de fósforo, como é o caso do lago Aníbal. BROOK (1965, 1981) afirmou ainda que a grande maioria das espécies

de desmídias ocorre em ambientes oligotróficos. NYGAARD (1991), analisando a variação sazonal de desmídias planctônicas do lago Grane Langsø (Dinamarca) observou a ocorrência de espécies como *Cosmarium bioculatum*, *C. contractum* var. *minutum* e *Staurodesmus crassus* que também tiveram ocorrência no lago Aníbal, além de outras espécies que no presente trabalho só foram observadas nas amostras qualitativas. De acordo com CROASDALE & FLINT (1988) e CROASDALE *et al.* (1994), muitos dos táxons de desmídias registrados para o lago Aníbal são de águas oligotróficas ou oligo-mesotróficas, como, *Cosmarium bioculatum*, *C. contractum* var. *minutum*, *Staurastrum laeve*, *Staurodesmus cuspidatus* var. *curvatus*, *S. mamillatus* ou ainda encontrados desde ambientes oligotróficos até os eutrofizados, como: *Staurastrum excavatum*, *S. smithii*, *S. tetracerum* e *Teilingia granulata*.

Apesar da grande contribuição das desmídias no fitoplâncton do lago Aníbal, as Chlorococcales também foram muito abundantes, tanto em número de indivíduos como em número de espécies. E, diferentemente das desmídias, as Chlorococcales habitam preferencialmente águas mesotróficas a eutróficas (COMAS, 1996).

No entanto, a ocorrência de pequenos organismos em águas oligotróficas e de organismos progressivamente maiores com o aumento do estado de trofia foi relatado por HARRIS (1994 *apud* HUSZAR *et al.*, 1998). WILLÉN (1992) afirma que as algas verdes (inclui Chlorophyceae + Conjugatophyceae) de ambientes oligotróficos tendem a ser de pequenas dimensões (algumas espécies de *Oocystis*, *Chlamydomonas*), delgados e alongados (*Monoraphidium*) ou equipados com projeções que ampliem sua superfície (*Staurastrum*, *Staurodesmus*) para manterem uma área celular em relação ao volume celular que melhore a eficiência na absorção dos nutrientes.

Sendo assim, com os resultados sobre a composição e a densidade de espécies, pode-se dizer que o lago Aníbal possui características de um ambiente oligo-mesotrófico, ainda que seja classificado como mesotrófico segundo o índice de estado de trófico de SALAS & MARTINO (1988).

Através das análises de agrupamento, houve a separação de cada uma das coletas realizadas, bem como das estações de amostragem. As estações E4, E5 e E6 de fevereiro de 2000 e E5 e E6 de maio de 2000 se distanciaram das demais. Ao contrário do que se esperava, não houve a distinção das estações de amostragem limnéticas (E1, E3 e E5) das litorâneas (E2, E4 e E6). Esta diferença foi observada somente nas

amostras qualitativas, as quais apresentaram grande contribuição de espécies metafíticas/perifíticas nas estações litorâneas. Nas análises estatísticas, houve ainda a separação do fundo da coluna d'água das demais profundidades, na amostragem correspondente ao período estratificado.

Evidenciou-se um padrão bem definido da comunidade fitoplanctônica, as espécies abundantes e raras permitiram diferenciar as épocas de coleta. Contudo, as espécies abundantes são mais adequadas para a distinção de cada época amostrada e, por possuírem maior representatividade no plâncton do que espécies raras, em termos de ocorrência e densidade, distinguem as localidades amostradas (estações de coleta). Por outro lado, espécies comuns e constantes não abundantes, por se desenvolverem praticamente em todas as épocas, são influenciadas pelos períodos de circulação da água e, dessa forma, são úteis para distinguir diferentes profundidades em períodos de estratificação do que espécies raras.

Através deste estudo, pode-se confirmar a influência do período de estratificação sobre o fitoplâncton, tanto em termos de distribuição sazonal quanto de distribuição espacial, bem como a influência sobre sua diversidade. Não houve a separação das estações limnéticas das litorâneas, sugerindo uma homogeneidade da comunidade no lago. No entanto, verificou-se uma compartimentalização deste ambiente, sendo um compartimento formado pelas estações E1, E2, E3 e E4 (região noroeste do lago) e outro formado pelas estações E5 e E6 (região sudeste). Esta “divisão” em duas partes distintas pode estar relacionada à direção do vento. Por ser um lago extenso, com, aproximadamente, 9,0km de comprimento, o vento poderia provocar esta diferenciação. De acordo com TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982), o vento pode ter importante influência no ciclo de eventos de um lago. TUNDISI *et al.* (1977 *apud* TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982) e LIMA *et al.* (1978) constataram a influência do vento sobre o fitoplâncton. Contudo, o presente trabalho não dispõe dos dados de direção e velocidade do vento, necessários para a confirmação desta hipótese.

Dessa forma, através dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a principal função de força no lago Aníbal, em relação à comunidade fitoplanctônica, é o fator climático;
- na escala espacial horizontal, há a formação de dois grandes compartimentos no lago: o primeiro formado pela porção noroeste e o segundo pela porção sudeste;

- os grupos de maior contribuição no fitoplâncton são Conjugatophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae;
- durante o período estratificado, os grupos componentes da comunidade fitoplanctônica possuem uma distribuição vertical diferenciada ao longo da coluna d'água, com maiores densidades de Conjugatophyceae e Chlorophyceae na superfície e 5,0m e Cyanophyceae no fundo, enquanto no período de isotermita os grupos algais apresentam distribuição semelhante ao longo da coluna d'água. De forma geral, o fitoplâncton possui maiores densidades nas camadas de superfície e meio da coluna d'água e menores no fundo durante a estratificação e as densidades são homogêneas nos períodos de isotermita;
- a diversidade fitoplanctônica aumenta em períodos de isotermita e diminui nos períodos de estabilidade térmica, porém este fator não altera a diversidade ao longo da coluna d'água;
- não há diferenciação entre região limnética e litorânea em relação aos dados quantitativos (densidade) da comunidade fitoplanctônica. Essa diferença é observada somente no aspecto qualitativo (composição de espécies);
- o lago Aníbal pode ser classificado como oligo-mesotrófico, levando-se em consideração a composição, densidade, diversidade e índice de estado trófico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, F. A. R. & TUNDISI, J. G. 1980. Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow Quaternary lake at Eastern Brazil. **Archiv für Hydrobiologie** 90(2): 139-161.
- BICUDO, D. C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. **Acta Limnologica Brasiliensia** 3: 459-475.
- BLOMQUIST, P.; PETTERSON, A. & HYENSTRAND, P. 1994. Ammonium-nitrogen: a key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen-fixing cyanobacteria in aquatic systems. **Archiv für Hydrobiologie** 132: 141-164.
- BROOK, A. J. 1965. Planktonic algae as indicators of lake types with special reference to the Desmidiaceae. **Limnology and Oceanography** 10: 403-411.
- BROOK, A. J. 1981. **The biology of desmids**. Botanical Monographs 16. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 276 p.
- COESEL, P. & WARDENAAR, K. 1990. Growth response of planktonic desmid species in a temperature light gradient. **Freshwater Biology** 23: 551-560.
- COLE, G. 1994. **Textbook of limnology**. Saint Louis: The C. V. Mosby. 283 p.
- COMAS, A. 1996. **Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba**. Bibliotheca Phycologica 99. Berlin: J. Cramer. 192p. + 65 figuras.
- CROASDALE, H. & FLINT, E. A. 1988. **Flora of New Zealand: freshwater algae, Chlorophyta, desmids, with ecological comments on their habitats, II**. Christchurch: The Caxton Press.

- CROASDALE, H., FLINT, E. A. & RACINE, M. M. (1994) **Flora of New Zealand: freshwater algae, Chlorophyta, desmids, with ecological comments on their habitats**, III. Christchurch: The Caxton Press.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J., SENNA, P. A. C. & TANIGUCHI, G. M. no prelo. Limnological characteristics and seasonal changes in density and diversity of the phytoplankton community at the Caçó Pond, Maranhão State, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**.
- GUILHUIS, J. P. 1986. **Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil**. Wageningen: Agricultural University of Wageningen. 112 p.
- HINO, K.; TUNDISI, J. G. & REYNOLDS, C. S. 1986. Vertical distribution of phytoplankton in a stratified lake (lago Dom Helvecio, Southeastern Brazil) with special reference to the metalimnion. **Japanese Journal of Limnology** 47(3): 239-246.
- HUSZAR, V. L. M. & REYNOLDS, C. S. 1997. Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. **Hydrobiologia** 346: 169-181.
- HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H.; DOMINGOS, P.; MARINHO, M. & MELO, S. 1998. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. **Hydrobiologia** 369-370: 59-71.
- HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. & ESTEVES, F. A. 1990. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia** 50(3): 585-598.
- LIMA, W. C.; TUNDISI, J. G. & MARINS, M. A. 1978. A systemic approach to the sensivity of *Melosira italica* (Ehr.) Kütz. **Revista Brasileira de Biologia** 39(3): 559-563.
- LOBO, E. & LEIGHTON, G. 1986. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biologia Marinha** 22(1): 1-29.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J. & TALLING, J. F. 1978. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. Ambleside: Freshwater Biological Association Scientific Publication, n. 36. 120 p.

- MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press. 179p.
- MANLY, B. F. J. 1986. **Multivariate statistical methods: a primer**. New York: Chapman, 215 p.
- MARGALEF, R. 1983. **Limnologia**. Barcelona: Ed. Omega. 1010 p.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. M. 1977. As unidades morfo-estratigráficas neoquaternárias do médio rio Doce. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 49(3): 443-459.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. M. & MONTEIRO, A. M. F. 1979. Upper Quaternary "rampas". Rio Doce valley, Southeastern Brazilian Plateau. **Zeitschr. Für Geomorph.** 23: 132-151.
- NYGAARD, G. 1991. Seasonal periodicity of planktonic desmids in oligotrophic lake Grane Langsø, Denmark. **Hydrobiologia** 211: 195-226.
- ODUM, E. P. 1988. **Fundamentos de ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 927 p.
- PAERL, H. W. 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria) *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 261-315.
- PFLUG, R. 1969. Quaternary lakes of Eastern Brazil. **Photogrammetria** 24: 29-35.
- PONTES, M. C. F. 1980. **Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago Dom Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce – MG**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 293 p. Dissertação (Mestrado).
- REYNOLDS, C. S. 1997. On the vertical distribution of phytoplankton in the middle rio Doce Vale lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SALJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 227-241.
- REYNOLDS, C. S.; TUNDISI, J. G. & HINO, K. 1983. Observations on a metalimnetic *Lyngbya* population in a stably stratified tropical lake (lagoa Carioca, Eastern Brazil). **Archiv für Hydrobiologie** 97(1): 7-17.
- ROS, J. 1979. **Práctica de ecologia**. Barcelona: Ed. Omega. 181 p.
- ROUND, F. E. 1983. **Biologia das algas**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1983. 263p.
- SALAS, H. J. & MARTINO, P. 1988. **Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales**. Organización Mundial de la Salud /

Organización Pan-Americana de la Salud – OPS / Centro Pan-Americano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS: 51p.

- SIF. 1990. **Plano diretor do Parque Florestal Estadual do Rio Doce**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais/Instituto Estadual de Florestas – MG. 99 p.
- SMITH, V. H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. **Science** 221: 669-671.
- STATSOFT, INC., 2000. **Statistica for Windows** (Computer Program Manual). Tulsa, Statsoft, Inc.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G. & KUTNER, M. B. 1965. Plankton studies in a mangrove. II: The standing-stock and some ecological factors. **Boletim do Instituto Oceanográfico** 24: 23-41.
- TUNDISI, J. G. 1994. Tropical South America: present and perspectives. *In*: MARGALEF, R. (ed.) **Limnology now: a paradigm of planetary problems**. Amsterdam: Elsevier Science, pp. 353-424.
- TUNDISI, J. G. 1997. Climate. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 7-11.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 1982. Estudos limnológicos no sistema de lagos do médio rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Anais do II Seminário Regional de Ecologia**, pp. 133-258.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M. C.; HENRY, R.; IBAÑEZ, M. S. R. & NAKAMOTO, N. 1997a. Limnological survey of lake Anibal. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 441-447.
- TUNDISI, J. G.; CALIJURI, M. C.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; HENRY, R.; IBAÑEZ, M. S. R.; & MITAMURA, O. 1987. A note on some limnological characteristics of Lake Aníbal. *In*: SAIJO, Y. & TUNDISI, J. G. (eds.) **Limnological studies in the Rio Doce Valley Lakes and Pantanal Wetland, Brazil**. Nagoya : Water Research Institute. pp. 163-169.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; FUKUHARA H.; MITAMURA, O.; GUILLÉN, S. M.; HENRY, R.; ROCHA, O.; CALIJURI, M. C.; IBAÑEZ, M. S. R.; ESPÍNDOLA, E. L. G. & GOVONI, S. 1997b. Limnology of fifteen lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y.

(eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 410-439.

TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. 1997. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 513p.

TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y.; HENRY, R. & NAKAMOTO, N. 1997c. Primary productivity, phytoplankton biomass and light photosynthesis responses in four lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 199-225.

TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y. & SUNAGA, T. 1997d. Ecological effects of human activities in the middle rio Doce lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 477-482.

UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen** 9: 1-38.

WILLÉN, E. 1992. Planktonic green algae in an acidification gradient of nutrient-poor lakes. **Arch. Protistenkd.** 141: 47-64.

### **CAPÍTULO III**

Estudo da  
Comunidade  
Fitoplanctônica  
do Lago Dom  
Helvécio,

# Parque Florestal Estadual do Rio Doce, Minas Gerais

## **RESUMO**

A variação sazonal e espacial (horizontal e vertical) e estrutura da comunidade fitoplanctônica foram avaliadas durante quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio, o maior lago pertencente ao sistema lacustre natural do Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais. Um total de dezessete variáveis físicas e químicas e a comunidade fitoplanctônica foram analisados em onze estações de coleta. O fitoplâncton esteve representado principalmente pelas classes Conjugatophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae. Durante o período isotérmico a contribuição relativa dos grupos foi semelhante em todas as profundidades da coluna d'água e, durante o período de estratificação térmica, os grupos componentes dessa comunidade

apresentaram uma distribuição vertical diferenciada. Verificou-se que as classes Conjugatophyceae e Chlorophyceae sempre ocorreram em maiores densidades aos 0,0m e 5,0m e, no período estratificado, a classe Cyanophyceae apresentou maior densidade e maior contribuição relativa no metalímnio. O período de estabilidade térmica coincidiu com uma redução na diversidade fitoplanctônica, porém esta não foi alterada ao longo da coluna d'água. Menores diversidades foram observadas no hipolímnio em todas as amostragens. Os resultados indicaram que a principal função de força, em relação às mudanças observadas para o fitoplâncton, foi constituída pelos fatores climáticos que determinaram os períodos de circulação e estabilidade térmica do ambiente. O lago Dom Helvécio foi classificado como oligotrófico, levando-se em consideração a composição, densidade e diversidade da comunidade fitoplanctônica.

## **ABSTRACT**

Seasonal and spatial variation (horizontal and vertical distribution) and the structure of the phytoplanktonic community were evaluated during four sampling seasons performed in Lake Dom Helvécio, the largest lake belonging to the natural lacustrine system of Rio Doce Valley, Minas Gerais State, Brazil. A total of seventeen variables including physical, chemical variables and the composition of phytoplanktonic community were analysed in eleven sampling stations. The phytoplankton was mainly represented by Conjugatophyceae, Chlorophyceae and Cyanophyceae classes. During the isothermal period the relative contribution of the main groups was similar at all depths of the water column, but during the stratified period the component groups

displayed different vertical distribution. The classes Conjugatophyceae and Chlorophyceae always occurred at higher densities at 0,0m and 5,0m, and during the stratified period the class Cyanophyceae was dominant in the metalimnion. The thermal stability period concurrence with phytoplanktonic diversity reduction but this reduction did not change throughout the water column. Small diversity was observed in the hypolimnion in all samples. The results indicated that the main forcing function regarding to the phytoplankton changes was determined by climatic factors which control the periods of circulation and thermal stratification of the water column. Lake Dom Helvécio was classified as oligotrophic, considering the species composition, population densities, and diversity of the phytoplanktonic community.

## **INTRODUÇÃO**

Os trabalhos ecológicos do fitoplâncton em ambientes tropicais são escassos e recentes quando comparados com os de ambientes temperados do hemisfério norte. Atualmente, sabe-se que o conhecimento da comunidade fitoplanctônica (composição, estrutura, variabilidades espacial e temporal) para os ecossistemas aquáticos continentais pode trazer elucidaciones quanto ao funcionamento e fluxo de energia destes ambientes, uma vez que o fitoplâncton forma a base da cadeia de herbivoria, sendo muitas vezes o principal produtor primário destes sistemas.

No lago Dom Helvécio, os trabalhos limnológicos vêm sendo desenvolvidos desde a década de 70, quando se iniciaram as primeiras expedições limnológicas aos

lagos do Vale do Rio Doce. O lago Dom Helvécio e a lagoa Carioca são os que contam com maior número de informações limnológicas. O principal enfoque dado na grande maioria dos trabalhos realizados está relacionado à formação da camada metalimnética e sua influência sobre os processos e as comunidades biológicas presentes nestes lagos. Os padrões de estratificação térmica e da distribuição vertical do oxigênio dissolvido em alguns desses ambientes foram bem descritos.

Segundo JONES *et al.* (1995), os estudos que avaliam as mudanças sazonais no plâncton comumente baseiam-se em coletas realizadas em apenas uma estação de amostragem, assumindo que este local é representativo sobre as condições do lago como um todo. Para o lago Dom Helvécio, esta afirmação é verdadeira, contando com apenas dois trabalhos que trazem informações sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica realizados em apenas um ponto de amostragem. PONTES (1980), que investigou a variação estacional e distribuição vertical da produção primária, fitoplâncton, clorofila *a* e fatores físicos e químicos e HINO *et al.* (1986), que analisaram a distribuição vertical do fitoplâncton, com ênfase no metalímio durante o período estratificado.

Dessa forma, devido às poucas informações existentes e à importância do conhecimento sobre o fitoplâncton lacustre, os objetivos do presente estudo são:

- caracterizar a comunidade fitoplanctônica no lago Dom Helvécio através do estudo qualitativo e quantitativo;
- analisar a variação espacial horizontal e vertical da comunidade fitoplanctônica no lago, procurando estabelecer quais são os fatores relacionados a essa variabilidade;
- verificar se há variação temporal da comunidade fitoplanctônica e qual o efeito das mudanças ambientais sobre o fitoplâncton.

O presente trabalho visa ainda fornecer informações e subsídios para estudos futuros em lagos naturais.

## **ÁREA DE ESTUDO**

O sistema de lagos do Vale do Rio Doce situa-se na grande área fisiográfica denominada “depressão Interplanáltica do rio Doce” (19°50’S e 42°35’-42°40’W), confinada entre as elevações correspondentes ao planalto do reverso da serra do Mar, com uma altitude média de 300m e localizada sobre um embasamento de gnaisses variados, micaxistos, quartzitos e granitos, que afloram nas elevações do planalto circundante à depressão do médio rio Doce (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

O Vale do Rio Doce, formado há cerca 14.000 anos B.P., é ocupado por lagos permanentes (MOUSINHO-DE-MEIS & MONTEIRO, 1979), em diferentes estágios de eutrofização natural. Segundo GUILHUIS (1986), o clima regional é classificado como

Aw, de acordo com o sistema de KÖPPEN, com um período chuvoso no verão (outubro a março) e um seco no inverno. A média anual de precipitação pluviométrica é de 1480mm e a temperatura do ar é de 21,9°C, com máxima de 40°C no verão e mínima de 3°C no inverno.

O Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PERD) possui 35974ha de área, com altitude de 230 a 515m acima do nível do mar, com áreas no distrito de Marliéria e municípios de Dionísio e Timóteo, no Vale do Rio Doce. Os limites naturais do Parque são o rio Doce ao Leste e rio Piracicaba ao Norte (CETEC, 1981 *apud* ANDRADE *et al.*, 1997). A vegetação é constituída por floresta tropical úmida, do tipo Mata Atlântica, enquanto que a região circundante é coberta por *Eucalyptus* sp. e, em menor proporção, por pastagens, áreas de agricultura e floresta natural (SIF, 1990). Dos 150 lagos existentes no Vale do Rio Doce, 38 estão localizados dentro dos limites do Parque Florestal, ocupando 6% desta área (GUILHUIS, 1986).

O lago Dom Helvécio (19°45'-19°48'45''S e 42°41'15''-42°33'45''W) é o maior lago presente no sistema do vale do médio rio Doce, possuindo 32,5m de profundidade máxima (média de 12m) e 6,87km<sup>2</sup>, com forma dendrítica (TUNDISI & MUSARRA, 1986). Segundo MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI (1995), é um lago quente, monomítico (período de estratificação compreendido entre setembro a maio), com um metalímnio altamente estável. De acordo com HINO *et al.* (1986), esta estratificação exerce grande influência sobre a distribuição da biomassa fitoplanctônica, fluxo de energia e ciclagem de material no lago.

## MATERIAIS & MÉTODOS

As coletas foram realizadas em junho e agosto de 1999 e fevereiro e maio de 2000, em onze estações de amostragem, sendo 6 na região limnética (E1, E3, E5, E6, E8 e E10) e 5 na região litorânea (E2, E4, E7, E9 e E11) (Tab. 1). A amostragem para caracterização da distribuição vertical foi realizada em E1 (Fig. 1).

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio.

Coleta	Data
Coleta 1 (C1)	11/06/1999

Coleta 2 (C2)	09/08/1999
Coleta 3 (C3)	04/02/2000
Coleta 4 (C4)	16/05/2000

---

Variáveis abióticas como temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram registradas *in situ* com o auxílio do mutisensor Horiba, modelo U-10. Um disco de Secchi foi utilizado para a determinação da transparência da água. As análises laboratoriais foram realizadas para a determinação da concentração de nutrientes na água (nitrito, nitrato, nitrogênio total, fósforo inorgânico, fósforo total dissolvido, fósforo total e ortossilicato) segundo procedimentos descritos em MACKERETH *et al.* (1978) e material em suspensão, segundo TEIXEIRA *et al.* (1965). Foram estimados ainda a extensão da zona eufótica (Zeu) seguindo a fórmula de COLE (1994), a razão nitrogênio/fósforo e o índice de estado trófico de acordo com SALAS & MARTINO (1988).

As coletas para análise qualitativa do fitoplâncton foram realizadas com rede de plâncton com 20 $\mu$ m de abertura de malha e o material coletado foi preservado com solução de formol 4%. A identificação das algas foi realizada com o auxílio de um microscópio binocular da marca Zeiss, modelo Axioscop, com resolução máxima de 2560 vezes. Para a análise quantitativa do fitoplâncton, as coletas foram realizadas com bomba de sucção e as amostras (150ml) foram acondicionadas em frascos de vidro e preservadas com solução de lugol acético a 0,5% e mantidas no escuro. A quantificação das populações algais foi realizada aplicando-se o método descrito por UTERMÖHL (1958) e feita com o auxílio de um microscópio invertido da marca Zeiss, em aumento de 400 vezes. O tempo de sedimentação foi de três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983). O limite de contagem foi estabelecido pelo método da saturação taxonômica, conforme BICUDO (1990). As quantificações foram expressas tanto em termos das espécies raras como das dominantes, segundo os critérios propostos por LOBO & LEIGHTON (1986). A fórmula utilizada para o cálculo da densidade seguiu ROS (1979).

Com os dados obtidos na análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica, foram estimados o índice de diversidade de SHANNON-WIENNER ( $H'$ ), o índice de uniformidade ou equitabilidade de PIELOU (J), o índice de dominância de SIMPSON (D) e a riqueza específica (R), conforme MAGURRAN (1988) e ODUM (1988).

Para melhor compreensão dos dados relativos à comunidade fitoplanctônica, foram aplicados dois grupos de análise estatística: o primeiro para os dados quantitativos de distribuição horizontal e o segundo para os dados de distribuição vertical. Para a ordenação das estações de amostragem e coletas referentes aos dados de distribuição horizontal, foi aplicada a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), utilizando a Distância Euclidiana como fator de ligação (MANLY, 1986), considerando duas categorias: a primeira, formada pelas espécies abundantes comuns e constantes e espécies não abundantes comuns e, a segunda, pelas espécies raras. Para a ordenação das diferentes profundidades e épocas de coleta referentes aos dados de distribuição vertical foi utilizada a mesma análise estatística, considerando três constâncias: 1) espécies abundantes, comuns e constantes, 2) espécies não abundantes, comuns e constantes e 3) espécies raras. Todos os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa “Statistica for Windows – Versão 5.5” (STATSOFT, INC.,2000), licenciado para a Universidade Federal de São Carlos.

Deve-se esclarecer que não constam os dados quantitativos da comunidade fitoplanctônica referentes à estação E1 de junho de 1999, por perda da amostra durante o transporte e armazenagem.

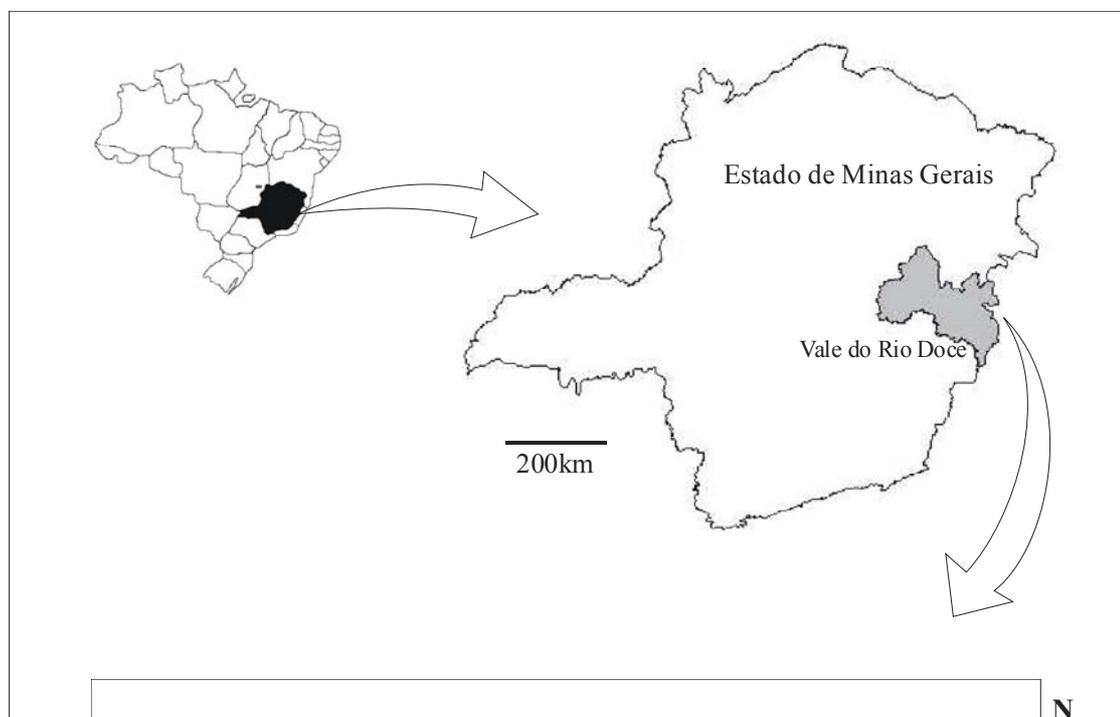


Figura 1 - Localização do lago Dom Helvécio no estado de Minas Gerais (Brasil) e das estações de amostragem E1 a E11.

## **RESULTADOS**

Os valores médios, máximos, mínimos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas do lago Dom Helvécio obtidos no período em estudo constam na Tabela 2. A profundidade, a transparência da água e a extensão da zona eufótica na estação E1 foram superiores em agosto de 1999 e inferiores em junho de 1999 (Tab. 3). As concentrações de nitrito e fósforo inorgânico estiveram abaixo do nível de detecção do método. Os maiores valores de temperatura foram registrados em fevereiro de 2000. Observaram-se estratificações térmicas e do oxigênio dissolvido em fevereiro de 2000 e maio de 2000. O lago apresentou, de forma geral, pH levemente

ácido e as concentrações de nitrogênio e fósforo totais indicaram a limitação por fósforo em todo o período analisado, com exceção de algumas estações de amostragem em junho de 1999 e maio de 2000 cujas razões NT/PT estiveram dentro da faixa considerada ideal.

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, matéria inorgânica e matéria orgânica em suspensão), da razão nitrogênio/fósforo e do índice de estado trófico observados no lago Dom Helvécio durante as quatro coletas realizadas.

Variável	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
pH	5,42	6,54	8,9	0,64	0,09
Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	27,50	31,95	46,05	3,98	0,60
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	22,3	25,9	31,6	2,59	0,39
Oxigênio Dissolvido – OD (mg/l)	3,34	5,89	8,04	1,11	0,17
Nitrato – $\text{NO}_3$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}$ )	3,94	10,70	17,88	3,62	0,54
Amônio – $\text{NH}_4$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	6,54	114,34	652,91	139,43	21,02
Nitrogênio Total – NT ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	200,91	461,33	948,77	165,14	24,89
Fósforo Total Dissolvido – PTD ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	1,48	7,32	12,94	2,85	0,43
Fósforo Total - PT ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	7,91	18,47	33,36	6,07	0,91
Ortossilicato – $\text{Si}(\text{OH})_4$ ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	2,84	3,95	5,14	0,52	0,08
Matéria Inorgânica em Suspensão – MI ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0,20	1,00	4,17	0,89	0,13
Matéria Orgânica em Suspensão – MO ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	1,12	3,28	7,62	1,52	0,23
NT/PT	13,38	26,31	46,84	8,31	1,25
IET	34,00	45,45	54,75	4,86	0,73

Tabela 3 – Profundidade máxima, transparência da água e extensão da zona eufótica (m) verificadas na estação E1, nas quatro coletas realizadas no lago Dom Helvécio.

	Junho de 1999	Agosto de 1999	Fevereiro de 2000	Mai de 2000
<b>Profundidade Máxima (m)</b>	17,0	22,0	17,0	19,2
<b>Transparência da Água (m)</b>	2,9	4,3	3,2	2,3
<b>Zona Eufótica (m)</b>	8,7	12,9	9,6	6,9

As análises qualitativas totalizaram 163 táxons: 74 Conjugatophyceae, 20 Chlorophyceae, 24 Cyanophyceae, 27 Bacillariophyceae e 18 fitoflagelados (Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae e Euglenophyceae).

Através das análises quantitativas da amostragem espacial horizontal foram identificados 124 táxons: 22 Chlorophyceae, 39 Conjugatophyceae, 28 Cyanophyceae, 19 fitoflagelados e 16 Bacillariophyceae. Os organismos não identificados, presentes nas contagens foram considerados como “outros” e não inclusos nos cálculos de biodiversidade e análises estatísticas.

A densidade total da comunidade fitoplanctônica foi maior em fevereiro de 2000 e maio de 2000 e menor em agosto de 1999 (Fig 2) e esteve principalmente composta por Conjugatophyceae (exclusivamente desmídias), Chlorophyceae (principalmente Chlorococcales) e Cyanophyceae. Em junho de 1999, a maior porcentagem de contribuição foi da classe Conjugatophyceae. Em agosto de 1999, Chlorophyceae foi o grupo dominante e nas coletas de fevereiro de 2000 e maio de 2000, Conjugatophyceae voltou a apresentar maior densidade que os demais grupos. Em fevereiro de 2000 observou-se o aumento na densidade e porcentagem de contribuição das Cyanophyceae. A classe Bacillariophyceae e os fitoflagelados (Chrysophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae e Volvocales) apresentaram baixas densidades e pequena contribuição relativa (Fig. 3). Nas Figuras 4 a 7 estão ilustradas a contribuição dos diferentes grupos de algas para cada estação de amostragem durante as quatro coletas. A variação espacial e temporal de cada classe fitoplanctônica registrada no lago Aníbal está ilustrada nas Figuras 8 a 10.

O lago Dom Helvécio apresentou apenas uma espécie dominante durante todo o período analisado *Cosmarium asphaerosporum* var. *strigosum* (E9 de fevereiro de 2000), no entanto 33 foram abundantes, em pelo menos uma estação de amostragem de uma coleta. Com relação à frequência de ocorrência, 13 foram consideradas constantes (ocorreram em mais de 50% das amostras analisadas), 36 comuns (ocorreram em mais de 10% e menos de 50% das amostras) e 75 raras (ocorreram em menos de 10% das amostras). Todos os táxons constantes foram abundantes (Tab. 4).

Os maiores índices de diversidade foram verificados em junho de 1999 e os menores em fevereiro de 2000 (Tab. 5).

Através do dendrograma de dissimilaridade, resultante da análise de agrupamento, observou-se que os táxons abundantes comuns e constantes e táxons comuns não abundantes distinguiram três agrupamentos: o primeiro formado pelas coletas de junho de 1999 e agosto de 1999 (com aproximadamente 74% de similaridade, ou 26% de dissimilaridade), o segundo formado pelas coletas de fevereiro de 2000 e estações E3, E6, E7, E8, E9, E10 e E11 de maio de 2000 (58% de dissimilaridade do primeiro grupo) e o terceiro formado pelas estações E1, E2, E4 e E5 de maio de 2000 (cerca de 82% de dissimilaridade) (Fig. 11A). A mesma análise aplicada para os táxons raros não distinguiu agrupamentos (Fig. 11B).

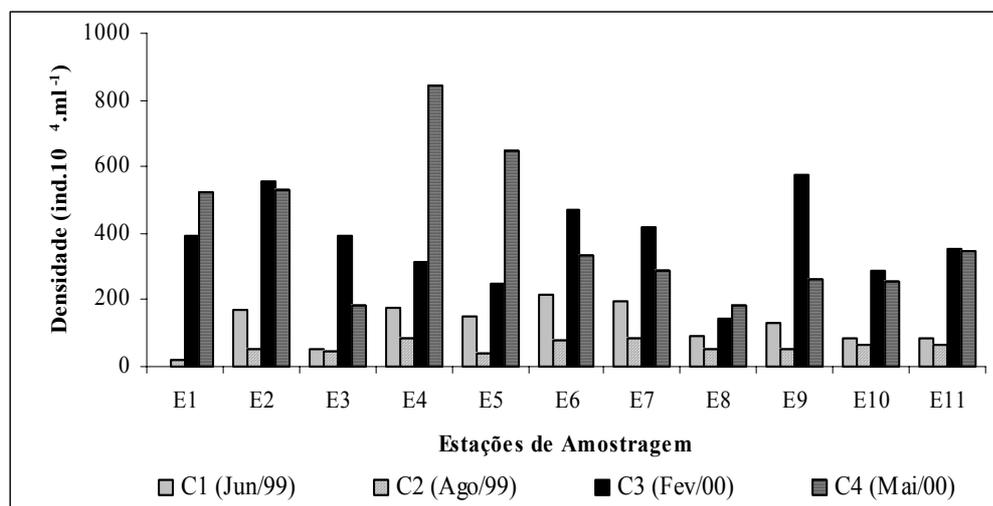
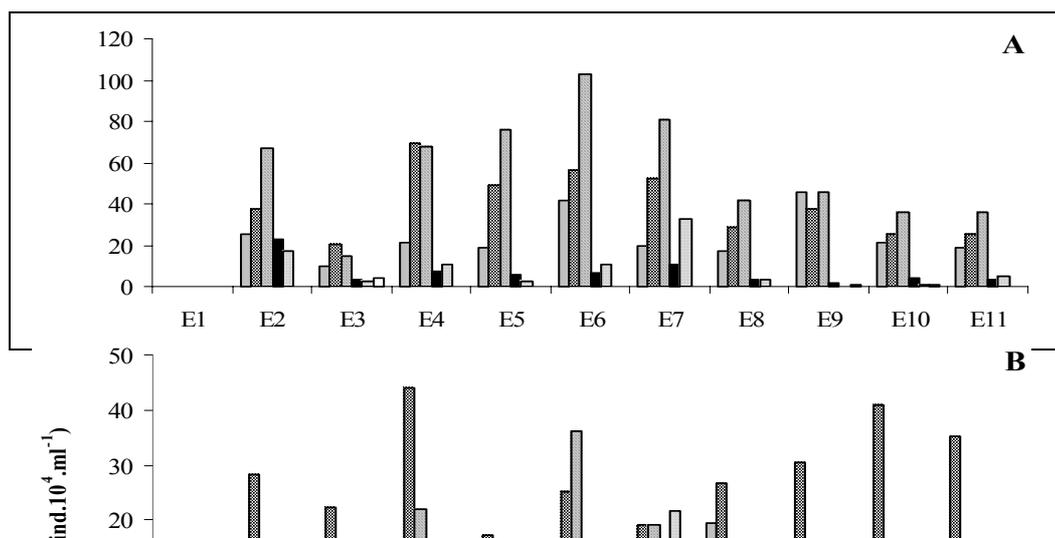


Figura 2 - Variação espacial horizontal e temporal da densidade total do fitoplâncton (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) do lago Dom Helvécio.



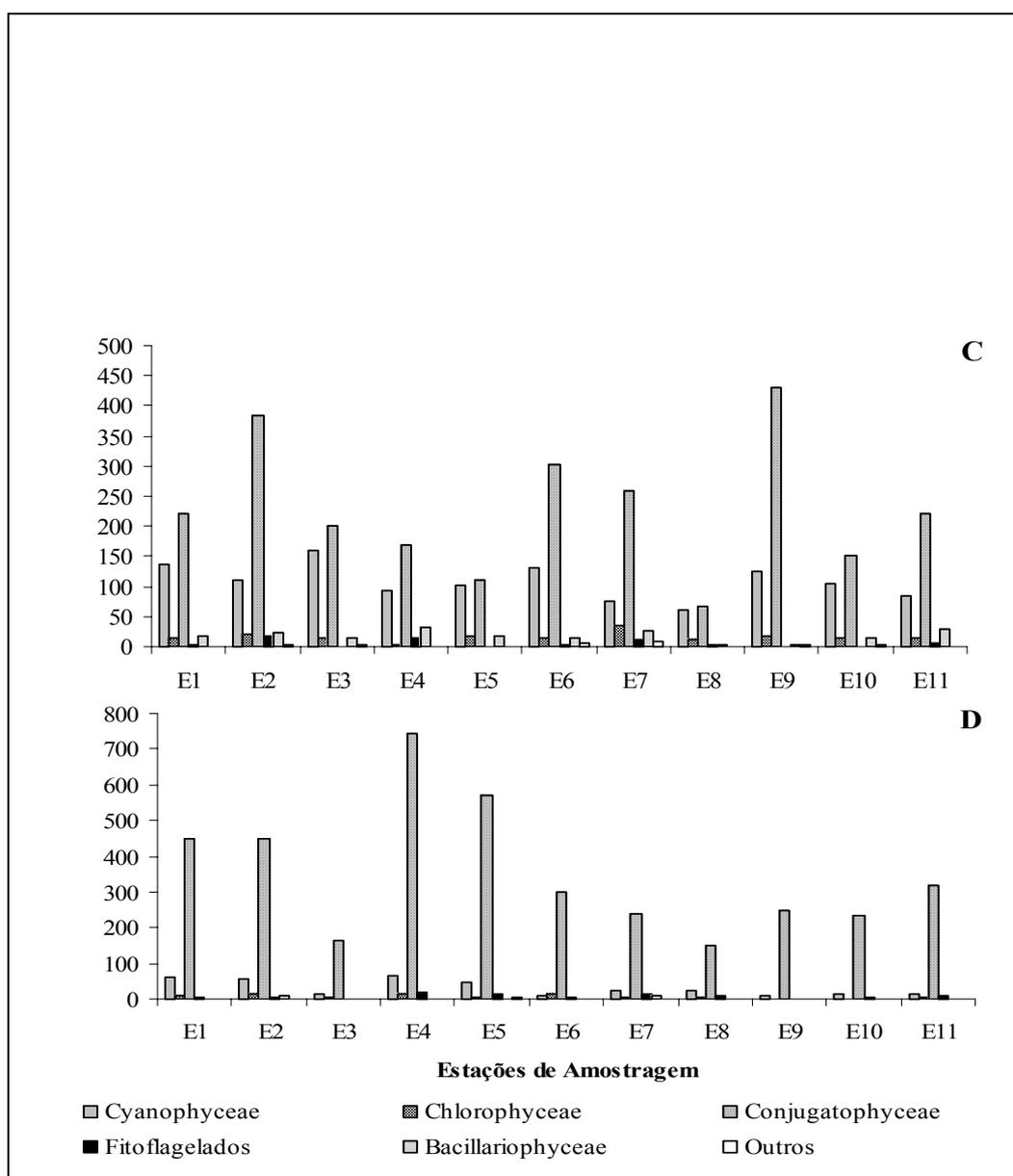


Figura 3 - Variação espacial horizontal e temporal da densidade dos grupos fitoplanctônicos ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) do lago Dom Helvécio. A: junho de 1999; B: agosto de 1999; C: fevereiro de 2000; D: maio de 2000.

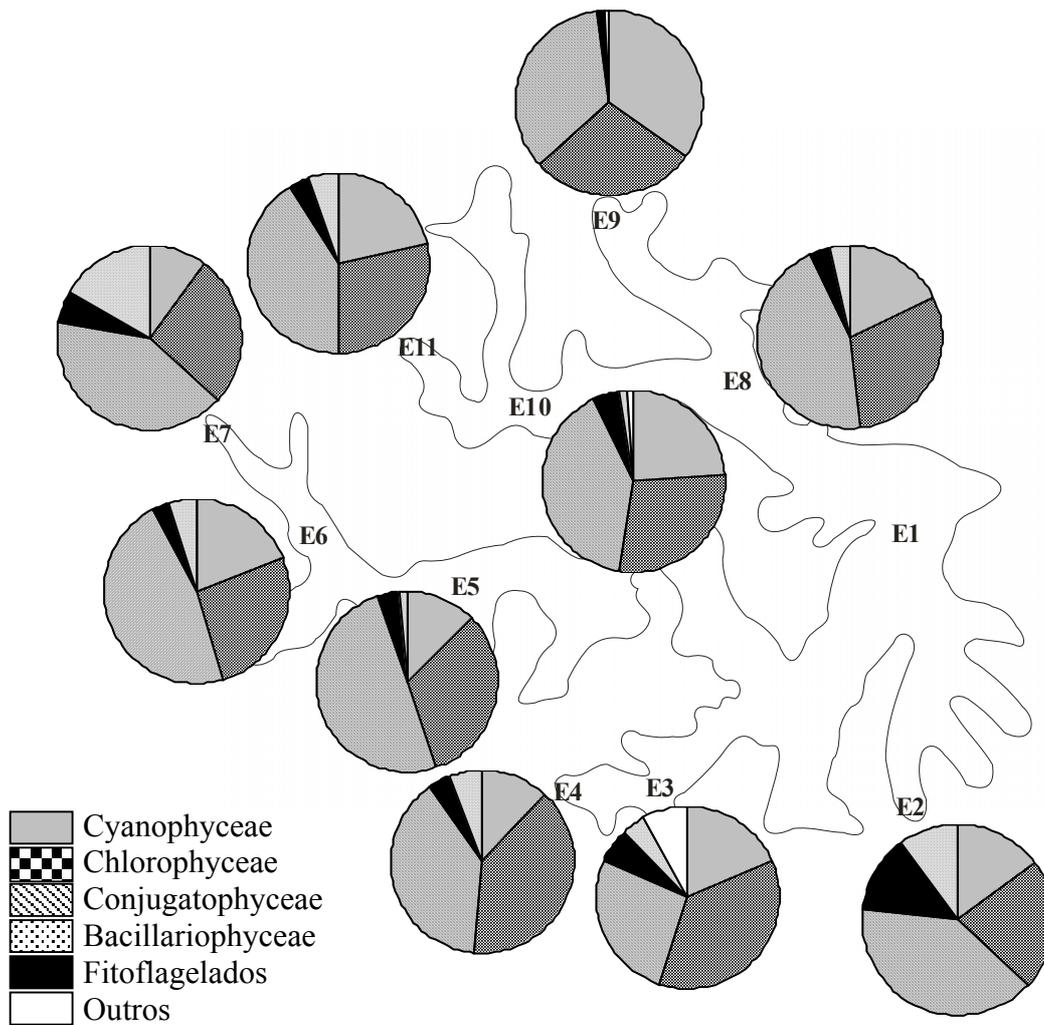
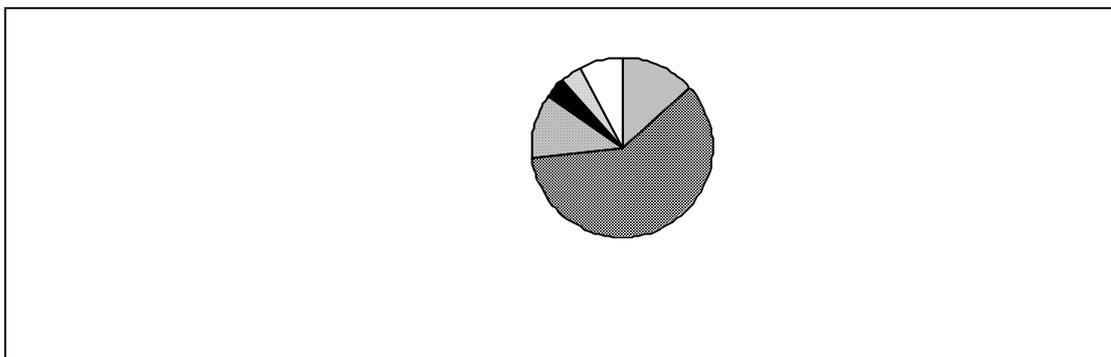


Figura 4 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E2 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de junho de 1999, em condições de isotermita.



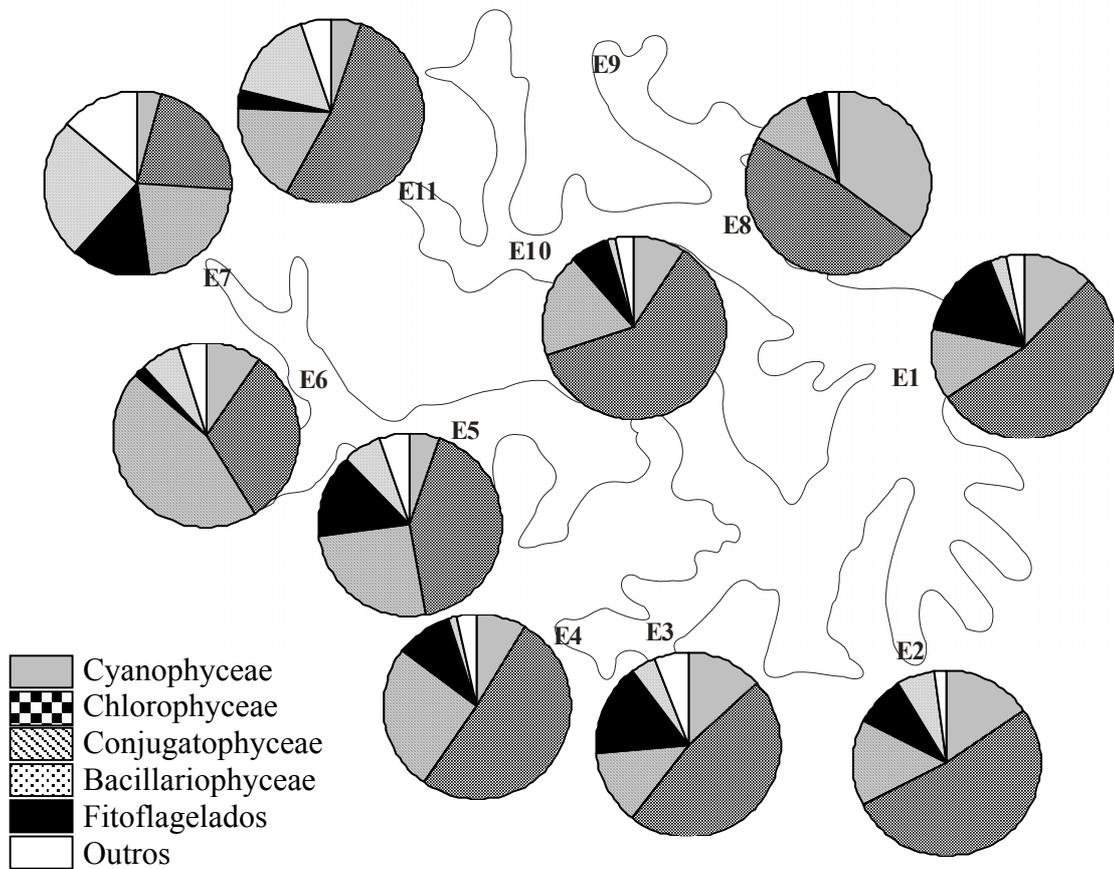
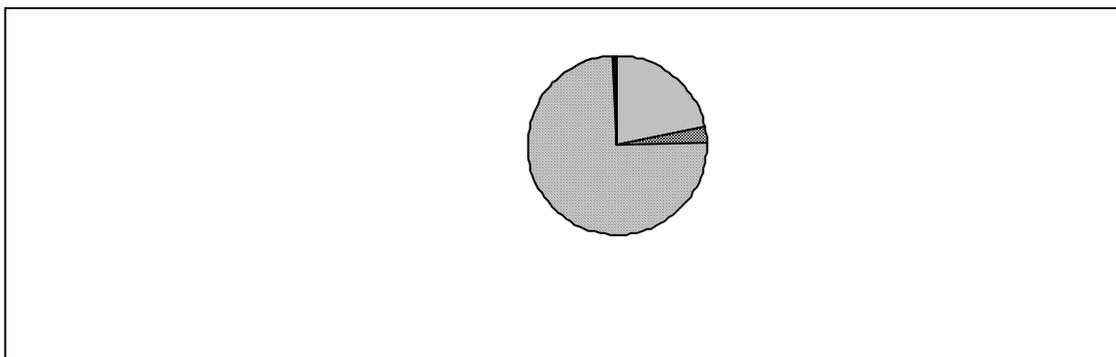


Figura 5 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de agosto de 1999, em condições de isotermita.



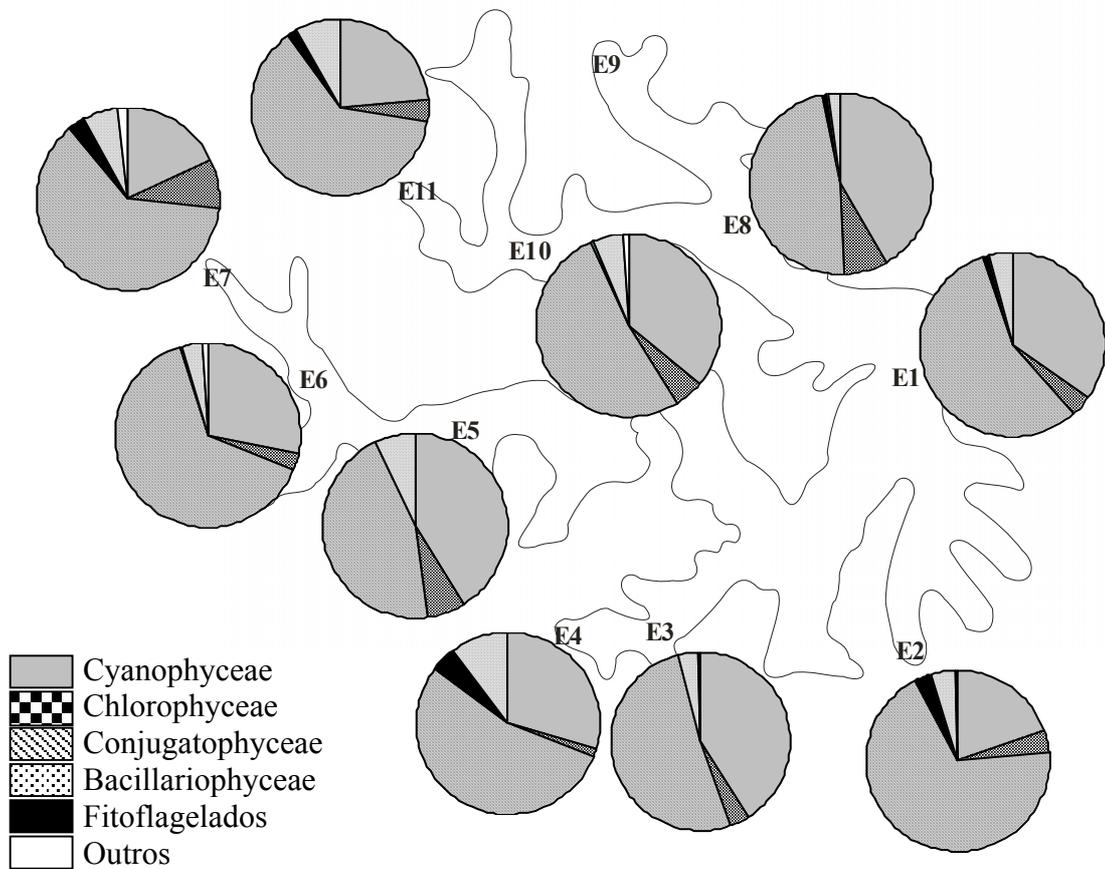
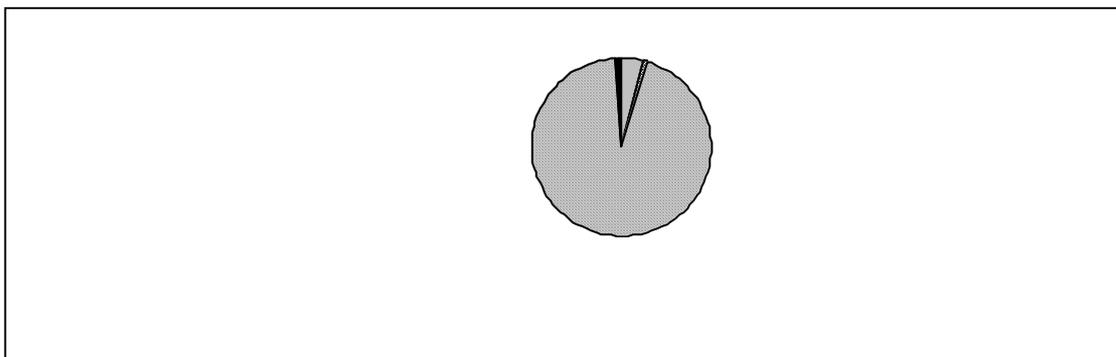


Figura 6 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de fevereiro de 2000, em condições de heterotermia.



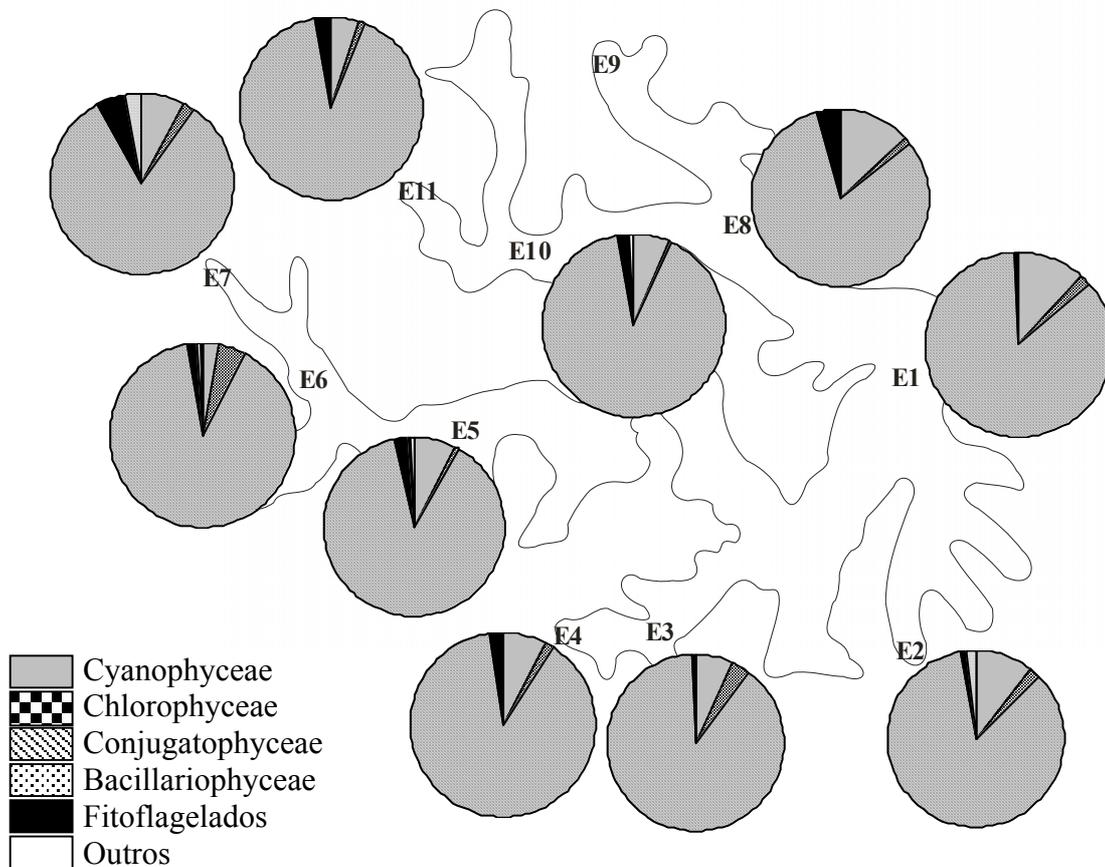
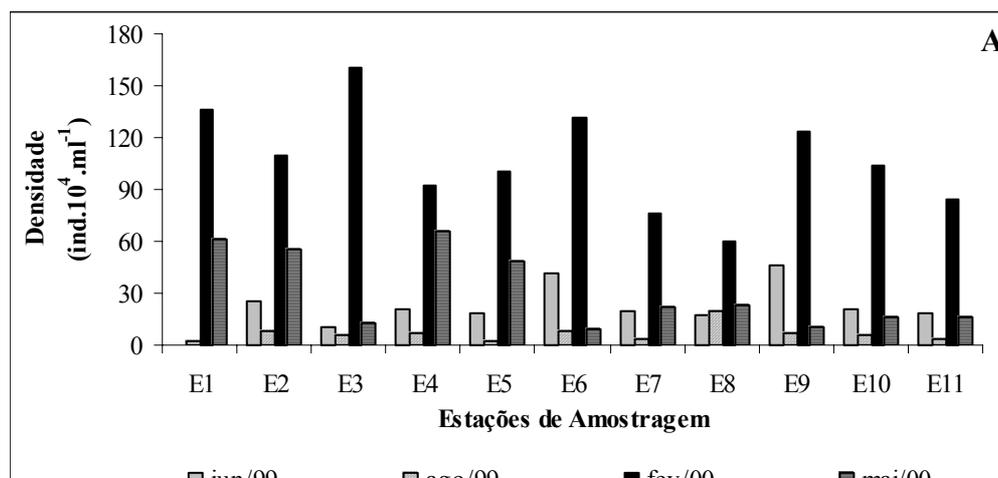


Figura 7 – Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos para cada estação de coleta (E1 a E11) do lago Dom Helvécio na amostragem de maio de 2000, em condições de heterotermia.



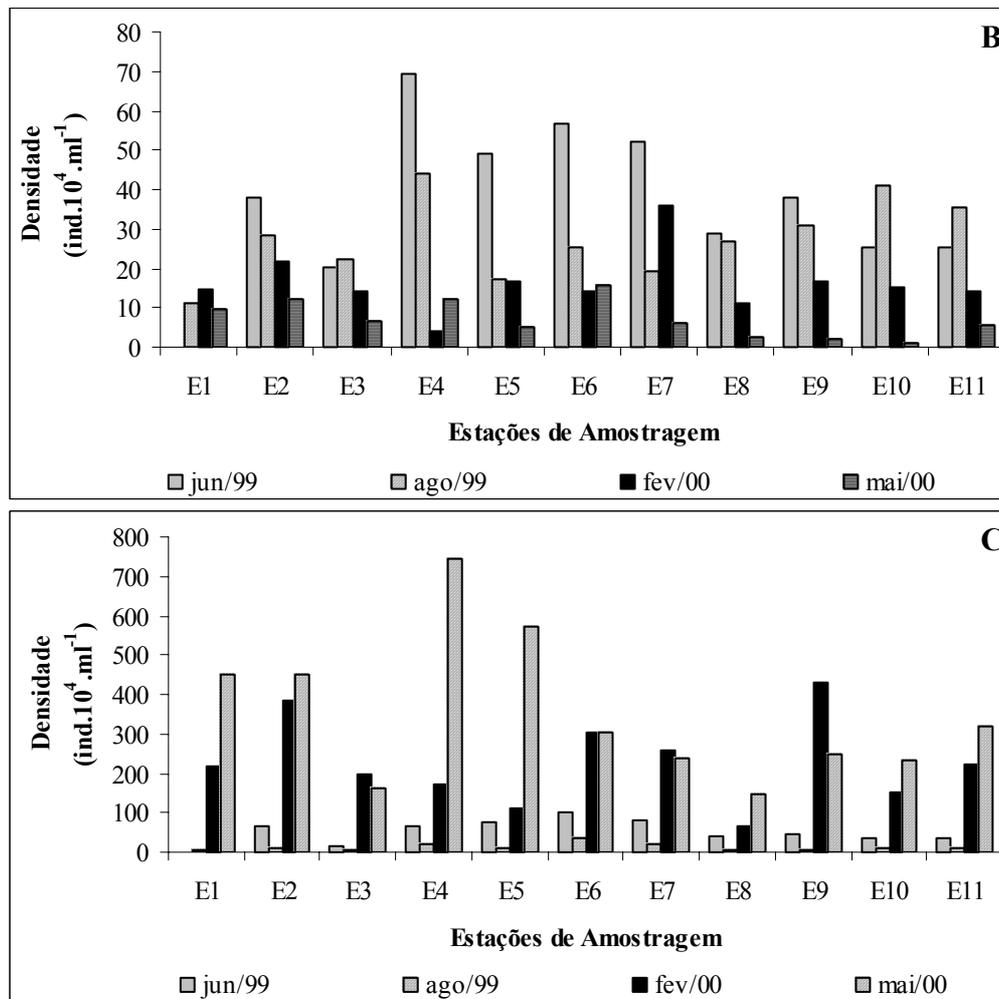
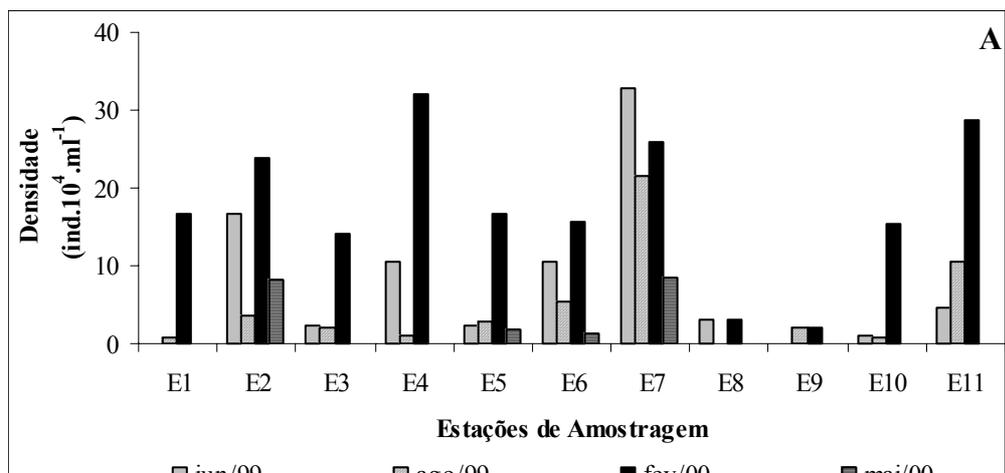


Figura 8 - Variação espacial horizontal da densidade (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.



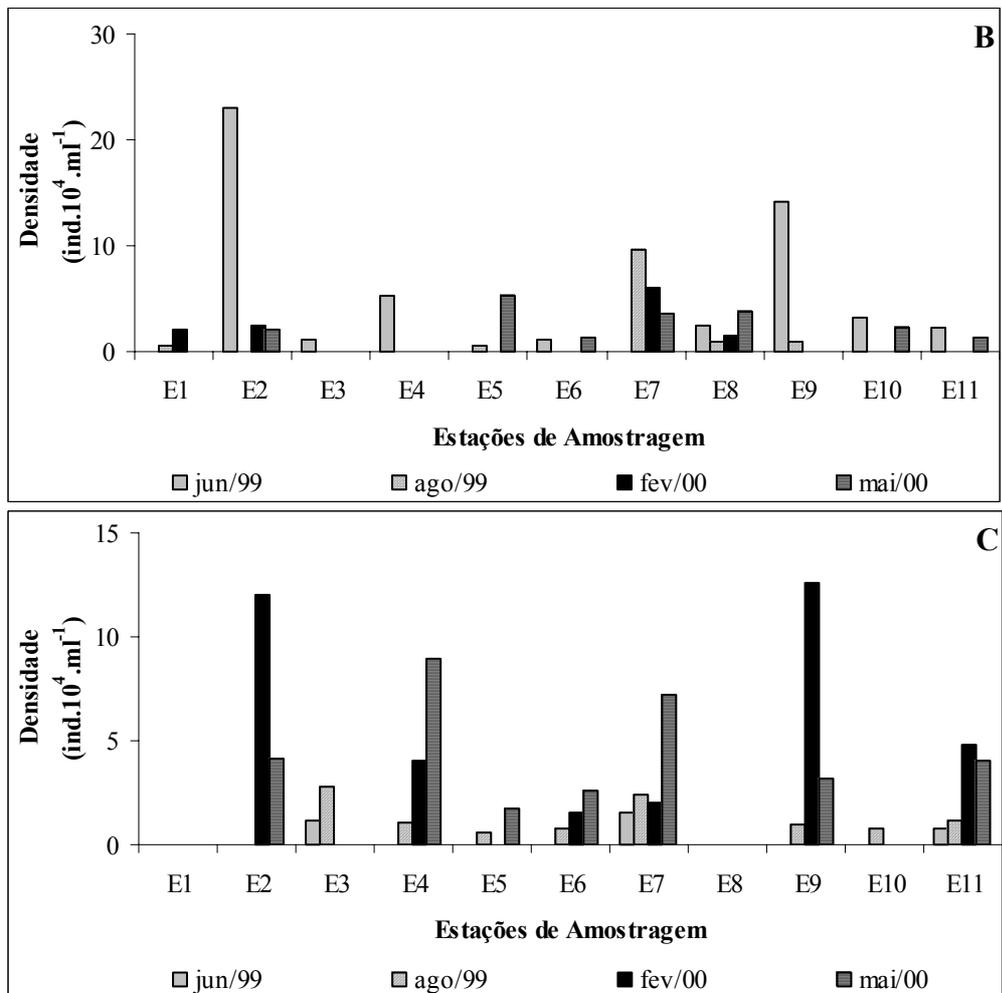
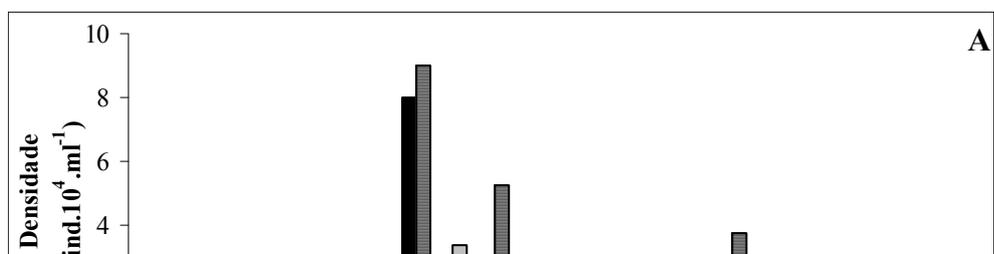


Figura 9 - Variação espacial horizontal da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Bacillariophyceae (A), Cryptophyceae (B) e Dinophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.



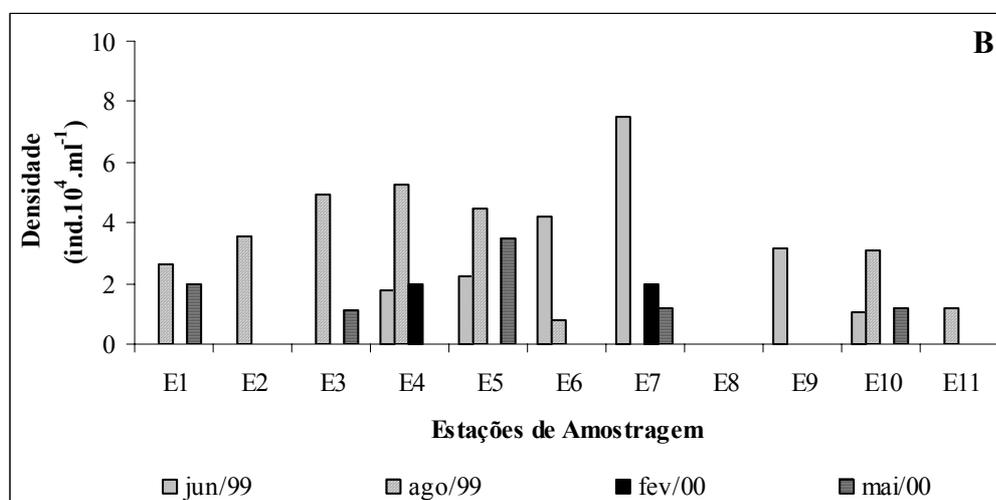


Figura 10 - Variação espacial horizontal da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) da classe Euglenophyceae (A) e da ordem Volvocales (B) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

Tabela 4 – Frequência de ocorrência (%) dos táxons registrados nas amostras quantitativas, referentes à distribuição horizontal e vertical do lago Dom Helvécio (Ct: constantes; C: comuns; R: raros; <sup>A</sup>: abundantes; <sup>D</sup>: dominantes).

Táxons	Amostragem Horizontal	Amostragem Vertical
<b>Cyanophyceae</b>		
<i>Anabaena</i> sp.	2,3% - R	---
<i>Aphanothece comasii</i> Kom.-Legn. et Tavera	13,9% - C	11,8% - C

<i>Aphanothece</i> sp. 1	4,6 % - R	11,8% - C
<i>Aphanothece</i> sp. 2	2,3% - R	---
<i>Aphanothece</i> sp. 3	4,6 % - R	---
<i>Chroococcus</i> sp.	9,3% - R	---
<i>Cylindrospermopsis raciborski</i> (Wolosz.) Seen. et Subba Raju	97,6% - Ct <sup>A</sup>	88,2% - Ct <sup>A</sup>
<i>Geitlerinema amphibium</i> (Ag. ex Gom.) Anag.	30,2% - C <sup>A</sup>	---
<i>G. splendidum</i> (Grev. ex Gom.) Anag. & Kom.	2,3 % - R	---
<i>Lyngbya hyeronimussi</i> Lemm. var. <i>crassivaginata</i> Ghose	2,3% - R	---
<i>Merismopedia</i> cf. <i>warmingiana</i>	---	5,9% - R
<i>Microcystis protocystis</i> Crow	2,3% - R	---
<i>Microcystis</i> sp.	4,6% - R	11,8% - C <sup>A</sup>
<i>O. cf. annae</i> van Goor	---	5,9% - R
<i>O. lauterbornii</i>	16,2% - C	5,9% - R
<i>O. pseudogeminata</i> G. Schmid	4,6% - R	---
<i>Planktolingbya</i> cf. <i>circuncreta</i> (G. S. West) Anag. & Kom.	---	11,8% - C
<i>Planktolingbya</i> sp.	2,3% - R	---
<i>Pseudanabaena papilaterminata</i> Starmach	4,6% - R	5,9% - R
<i>Pseudanabaena</i> sp.	2,3% - R	---
<i>Spirulina</i> cf. <i>major</i> Kütz.	2,3% - R	11,8% - C
<i>S. subsalsa</i> Oerst ex Gom.	4,6% - R	17,6% - C
<i>Synechococcus</i> sp.	16,2% - C <sup>A</sup>	29,4% - C <sup>D</sup>
<i>Woronichinia</i> sp.	18,6% - C	11,8% - C
<i>Woskyella</i> sp.	51,2% - Ct <sup>A</sup>	64,7% - Ct <sup>A</sup>
Chroococcales 1	2,3% - R	11,8% - C <sup>A</sup>
Chroococcales 2	4,6% - R	---
Oscillatoriales 1	18,6% - C <sup>A</sup>	5,9% - R
Nostocales 1	2,3% - R	---
Cyanophyceae 1	2,3% - R	---
Cyanophyceae 2	---	5,9% - R
Cyanophyceae 3	2,3% - R	---
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Ankistrodesmus bernardii</i> Kom.	79,1% - Ct <sup>A</sup>	70,6% - Ct <sup>A</sup>
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	2,3% - R <sup>A</sup>	---
<i>Chlorella</i> sp.	81,4% - Ct <sup>A</sup>	47,0% - C <sup>A</sup>
<i>Chlorococcum</i> sp.	20,9% - C <sup>A</sup>	17,6% - C
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	53,5% - Ct <sup>A</sup>	47,0% - C <sup>A</sup>
<i>Didymocystis</i> sp.	7,0% - R	5,9% - R
<i>Elakatothrix viridis</i> (Snow) Printz	27,9% - C <sup>A</sup>	35,3% - C <sup>A</sup>
<i>Eutetramorus fottii</i> (Hind.) Kom.	9,3% - R	---
<i>Glaucozystis nostochinearum</i> Itzigs. in Rabh.	18,6% - C	5,9% - R

Tabela 4 - continuação

Táxons	Amostragem Horizontal	Amostragem Vertical
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Monoraphidium mirabile</i> (West & West) Pankow	69,8% - Ct <sup>A</sup>	64,7% - Ct
<i>M. cf. nanum</i> (Ettl) Hind.	32,5% - C <sup>A</sup>	23,5% - C <sup>A</sup>
<i>Nephrocytium allantoideum</i> Bohl	4,6% - R	5,9% - R
<i>N. cf. lunatum</i> W. West	9,3% - R	5,9% - R
<i>Nephrocytium limneticum</i> (Smith) Smith	18,6% - C	17,6% - C <sup>A</sup>

<i>Nephrocytium</i> sp.	4,6% - R	---
<i>Oedogonium</i> sp.	4,6% - R	---
<i>Oocystis</i> sp.	30,2% - C <sup>A</sup>	23,5% - C
<i>Raphidiocelis</i> sp.	13,9% - C	5,9% - R
<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansg.	11,6% - C	23,5% - C
Chlorococcales 1	23,0% - C	---
Chlorophyceae 1	16,2% - C <sup>A</sup>	11,8% - C
Chlorophyceae 2	2,3% - R	---
<b>Conjugatophyceae</b>		
<i>Actinotaenium perminutum</i> (G. S. West) Teil. ex Ruzick. & Pouz.	95,3% - Ct <sup>A</sup>	76,6% - Ct <sup>A</sup>
<i>Closterium gracile</i> Bréb. ex Ralfs	2,3% - R	---
<i>Cosmarium asphaerosporum</i> Nordst. var. <i>strigosum</i> Nordst.	90,7% - Ct <sup>D</sup>	70,6% - Ct <sup>A</sup>
<i>C. capitulum</i> Roy & Biss.	11,6% - C	5,9% - R
<i>C. contractum</i> Kirchn. var. <i>contractum</i>	13,9% - C	---
<i>C. contractum</i> Kirchn. var. <i>minututissimum</i> Grönb.	34,9% - C	17,6% - C
<i>C. contractum</i> Kirchn. var. <i>minutum</i> (Delp.) West & West	65,1% - Ct <sup>A</sup>	47,0% - C
<i>C. depressum</i> (Näg.) Lund. var. <i>depressum</i> f. <i>minutum</i>	2,3% - R	---
<i>C. monomazum</i> cf. var. <i>dimazum</i>	2,3% - R	---
<i>C. ocellatum</i> Eich. & Gutw.	2,3% - R	---
<i>C. pseudoconnatum</i> Nordst.	2,3% - R	---
<i>C. pygmeum</i> Arch. var. <i>perornatum</i> Skuja	25,6% - C <sup>A</sup>	11,8% - C
<i>C. trilobulatum</i> Reinsch	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 1	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 2	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 3	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 4	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 5	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 6	46,5% - C <sup>A</sup>	17,6% - C
<i>Cosmarium</i> sp. 7	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 8	2,3% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp. 9	---	5,9% - R
<i>Cosmarium</i> sp. 10	---	5,9% - R
<i>Desmidium swartzii</i> (Ag.) Ag. ex Ralfs	2,3% - R	---
<i>Haplotaenium minutum</i> (Ralfs) Bando	2,3% - R	---
<i>Hyalotheca mucosa</i> (Mertens) Ehr. ex Ralfs	2,3% - R	---
<i>Pleurotaenium</i> sp.	2,3% - R	---
<i>Staurostrum disputatum</i> var. <i>sinense</i>	2,3% - R	---
<i>S. ellipticum</i> W. West var. <i>ellipticum</i> f. <i>minutum</i> Sormus	34,9% - C	29,4% - C
<i>S. excavatum</i> West & West	34,9% - C <sup>A</sup>	17,6% - C <sup>A</sup>
<i>S. cf. haaboliense</i> Wille	2,3% - R	5,9% - R

Tabela 4 - continuação

Táxons	Amostragem Horizontal	Amostragem Vertical
<b>Conjugatophyceae</b>		
<i>S. laeve</i> Ralfs	72,1% - Ct <sup>A</sup>	70,6% - Ct <sup>A</sup>
<i>S. muticum</i> (Bréb.) Ralfs	2,3% - R	---
<i>S. novae-terrae</i> Taylor var. <i>longibrachiatum</i> Prescott & Scott	4,6% - R	---
<i>S. rotula</i> Nordst.	9,3% - R	5,9% - R

<i>S. smithii</i> (G. M. Smith) Teil.	88,4% - Ct <sup>A</sup>	82,3% - Ct <sup>A</sup>
<i>S. tetracerum</i> (Kütz.) Ralfs	55,8% - Ct <sup>A</sup>	29,4% - C <sup>A</sup>
<i>Staurodesmus crassus</i> (West & West) Florin	88,4% - Ct <sup>A</sup>	64,7% - Ct <sup>A</sup>
<i>S. cuspidatus</i> (Bréb.) Teil. var. <i>curvatus</i> (W. West) Teil.	7,0% - R	---
<i>S. triangularis</i> var. <i>latus</i>	9,3% - R	---
<i>Xanthidium</i> cf. <i>concinum</i> Arch.	7,0% - R <sup>A</sup>	11,8% - C
<i>Xanthidium</i> sp.	---	5,9% - R
<b>Bacillariophyceae</b>		
<i>Aulacoseira</i> sp.	2,3% - R	---
<i>Cymbella mesiana</i> Chohn.	2,3% - R	---
<i>C. microcephala</i> Grun.	13,9% - C <sup>A</sup>	---
<i>Cymbella spicula</i> Hust.	9,3% - R	---
<i>Cymbella</i> sp. 1	2,3% - R	---
<i>Cymbella</i> sp. 2	2,3% - R	---
<i>Encyonema gracile</i> (Ehr.) D. G. Mann	2,3% - R	---
<i>Eunotia flexuosa</i> Bréb. ex Kütz.	2,3% - R	---
<i>Frustulia</i> sp.	4,6% - R	---
<i>Gomphonema gracile</i> Ehr.	4,6% - R	---
<i>Kobayasiella</i> sp.	16,2% - C <sup>A</sup>	---
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	2,3% - R	---
<i>Navicula</i> sp.	25,6% - C <sup>A</sup>	17,6% - C
<i>Rhizosolenia</i> sp.	39,5% - C <sup>A</sup>	11,8% - C
<i>Stenopterobia curvula</i> (W. Smith) Kram.	2,3% - R	---
<i>Surirella</i> sp.	2,3% - R	---
<b>Fitoflagelados</b>		
<b>Volvocales</b>		
<i>Chlamydomonas</i> sp. 1	11,6% - C <sup>A</sup>	11,8% - C <sup>A</sup>
<i>Chlamydomonas</i> sp. 2	2,3% - R	---
<i>Chlamydomonas</i> sp. 3	---	5,9% - R
<i>Chlamydomonas</i> sp. 4	34,9% - C <sup>A</sup>	5,9% - R
<i>Eudorina unicocca</i> Smith	2,3% - R	---
<i>Gloeomonas</i> sp.	---	5,9% - R
Volvocales 1	16,2% - C	---
<b>Chrysophyceae</b>		
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	7,0% - R	---
<b>Cryptophyceae</b>		
<i>Cryptomonas</i> cf. <i>ovata</i> Ehr.	46,5% - C <sup>A</sup>	35,3% - C <sup>A</sup>
<i>Cryptomonas</i> sp.	13,9% - C <sup>A</sup>	---
<b>Dinophyceae</b>		
<i>Peridinium umbonatum</i> Stein	23,2% - C	---
<i>P. willei</i> Huitfeld-Kaas	20,9% - C <sup>A</sup>	11,8% - C
<i>Peridinium</i> sp.	18,6% - C	17,6% - C
<i>Gymnodinium</i> sp.	2,3% - R	11,8% - C <sup>A</sup>

Tabela 4 - continuação

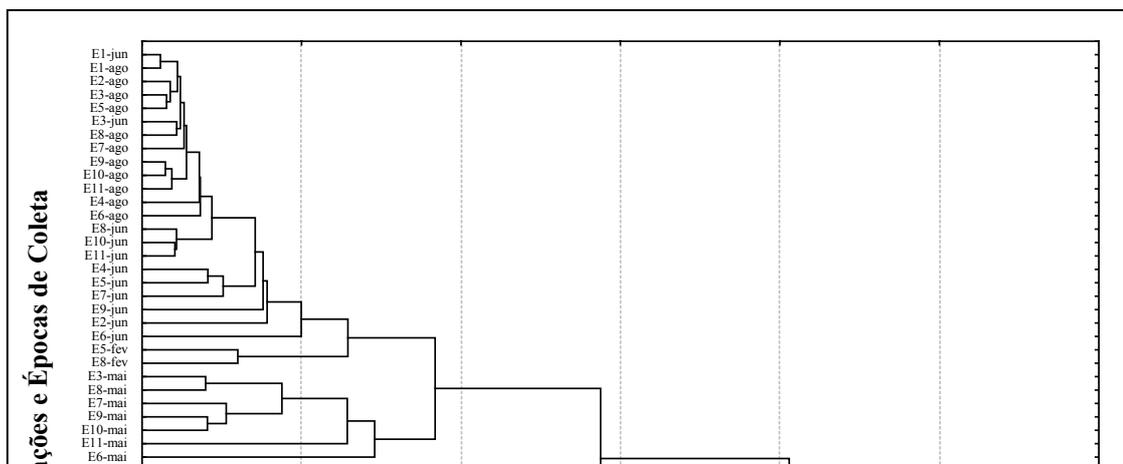
Táxons	Amostragem Horizontal	Amostragem Vertical
<b>Euglenophyceae</b>		
<i>Phacus hamatus</i> Pochm.	4,6% - R	---
<i>Phacus</i> sp.	4,6% - R	---
<i>Strombomonas</i> sp.	2,3% - R	---
<i>Trachelomonas</i> cf. <i>planctonica</i> Swir.	---	5,9% - R

<i>T. raciborskii</i> Wolosz.	2,3% - R	---
<i>T. volvocina</i> Ehr.	27,9% - C	5,9% - R
<i>T. volvocinopsis</i> Swir.	37,2% - C	29,4% - C
<i>Trachelomonas</i> sp.1	2,3% - R	---
<i>Trachelomonas</i> sp. 2	---	5,9% - R

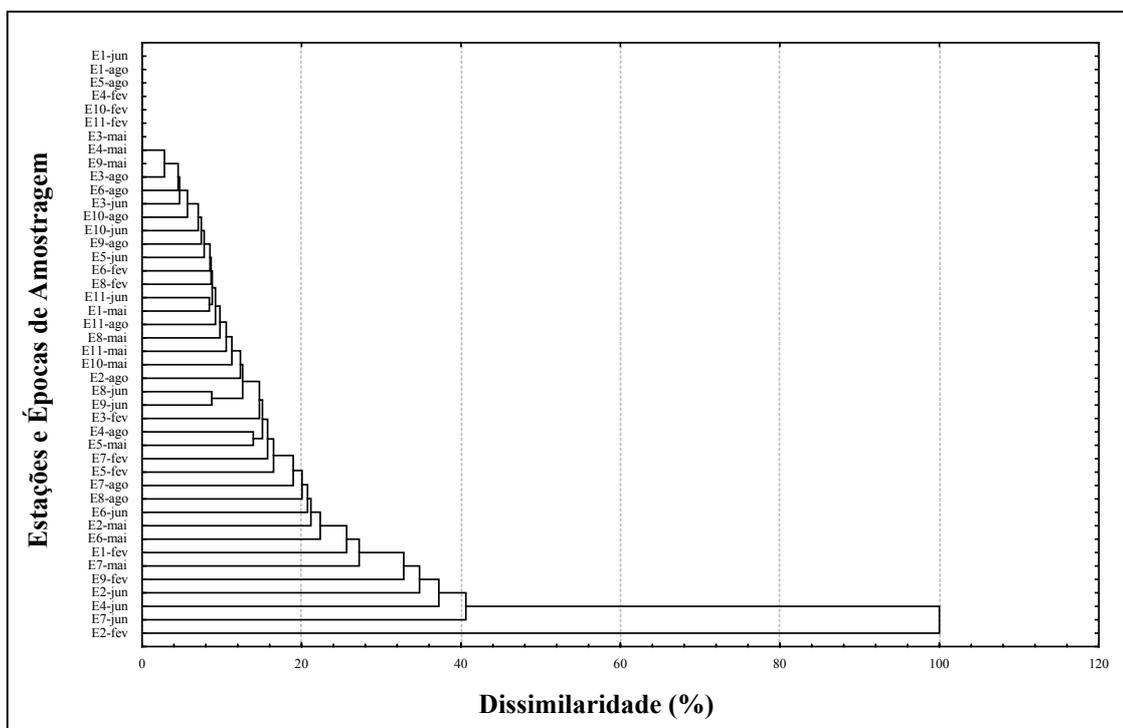
Tabela 5 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada uma das estações de amostragem (E1 a E11) durante as quatro coletas realizadas no lago Dom Helvécio.

Coleta	Estação	R	J	D	$H'$
--------	---------	---	---	---	------

<b>Junho de 1999</b>	E1	---	---	---	---
	E2	33	0,89	0,05	4,49
	E3	19	0,92	0,06	3,92
	E4	30	0,87	0,06	4,25
	E5	27	0,85	0,07	4,06
	E6	33	0,80	0,09	4,06
	E7	31	0,91	0,04	4,51
	E8	18	0,89	0,08	3,73
	E9	23	0,82	0,11	3,72
	E10	21	0,83	0,10	3,65
	E11	23	0,85	0,09	3,83
<b>Agosto de 1999</b>	E1	16	0,92	0,07	3,68
	E2	16	0,87	0,10	3,49
	E3	18	0,84	0,10	3,49
	E4	22	0,84	0,09	3,75
	E5	21	0,89	0,08	3,92
	E6	26	0,74	0,10	3,46
	E7	21	0,96	0,04	4,23
	E8	20	0,86	0,09	3,74
	E9	17	0,80	0,15	3,26
	E10	23	0,82	0,11	3,71
	E11	18	0,81	0,14	3,38
<b>Fevereiro de 2000</b>	E1	24	0,67	0,18	3,08
	E2	32	0,65	0,21	3,25
	E3	20	0,67	0,20	2,89
	E4	15	0,75	0,16	2,95
	E5	17	0,81	0,13	3,32
	E6	17	0,63	0,25	2,56
	E7	19	0,64	0,27	2,71
	E8	13	0,75	0,19	2,78
	E9	14	0,59	0,36	2,25
	E10	16	0,68	0,22	2,74
	E11	18	0,66	0,24	2,74
<b>Mai De 2000</b>	E1	21	0,76	0,14	3,32
	E2	22	0,78	0,11	3,50
	E3	16	0,79	0,14	3,16
	E4	20	0,76	0,14	3,29
	E5	24	0,72	0,14	3,30
	E6	22	0,69	0,19	3,06
	E7	31	0,74	0,12	3,66
	E8	20	0,81	0,11	3,51
	E9	18	0,75	0,14	3,15
	E10	18	0,74	0,15	3,07
	E11	21	0,68	0,18	2,97



**A**



**B**

Figura 11 - Ordenação das épocas e estações de amostragem no lago Dom Helvécio através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons comuns e constantes abundantes, comuns não abundantes (A) e raros (B).

Com relação à distribuição vertical, as análises quantitativas do fitoplâncton estiveram compostas por 67 táxons: 16 Chlorophyceae, 20 Conjugatophyceae, 17 Cyanophyceae, 12 fitoflagelados e 2 Bacillariophyceae.

Considerando a densidade total fitoplanctônica, em todas as coletas realizadas os maiores valores foram observados aos 5,0m de profundidade e os menores aos 15,0m

e 20,0m. Com relação à variação sazonal, observou-se que em fevereiro de 2000 ocorreram maiores densidades e, em agosto de 1999, as menores (Fig. 12). A contribuição das classes fitoplanctônicas foi semelhante nas diferentes profundidades em junho de 1999 e agosto de 1999. Em fevereiro e maio de 2000, na superfície e aos 5,0m houve maior contribuição de Conjugatophyceae e aos 10,0m e 15,0m a classe Cyanophyceae foi dominante. (Fig. 13). As Figuras 14 a 16 trazem a distribuição vertical e temporal dos diferentes grupos de algas registrados no lago Dom Helvécio. Nas Figuras 17 a 20 estão plotadas as densidades dos principais grupos da comunidade juntamente com os perfis térmicos.

Foi registrado apenas um táxon dominante nas amostras de distribuição vertical: *Synechococcus* sp. (15,0m em fevereiro de 2000) e 21 espécies foram abundantes. 9 táxons foram considerados constantes, 34 foram comuns e 24 foram raros (Tab. 4). A Figura 21 traz a distribuição vertical de *Cylindrospermopsis raciborskii* nas quatro amostragens realizadas e nas Figuras 22 a 24 constam apenas as espécies mais abundantes durante as coletas referentes ao período estratificado (fevereiro e maio de 2000). Os maiores índices de diversidade ( $H'$ ) foram observados aos 5,0m em junho de 1999 e agosto de 1999 e na superfície (0,0m) em fevereiro de 2000 e maio de 2000, ao passo que os menores índices sempre ocorreram no fundo (15,0m e 20,0m) (Tab. 6).

A análise de agrupamento para os táxons abundantes comuns e constantes e para táxons comuns e constantes não abundantes apresentou resultados semelhantes. Houve a distinção de dois agrupamentos: o primeiro, formado principalmente pelas coletas de junho de 1999 e agosto de 1999 (com 78 a 90% de similaridade) e o segundo pelas coletas de fevereiro de 2000 e maio de 2000 (Fig. 25A e 25B). Os táxons abundantes distinguiram ainda um subgrupo formado pelas profundidades 15,0 de todas as amostragens e 20,0m de agosto de 1999, que apresentaram 96% de similaridade, aproximadamente (Fig. 25A). As profundidades 0,0m, 5,0m e 10,0m apresentaram maior dissimilaridade entre si durante as amostragens de fevereiro de 2000 e maio de 2000. Os táxons raros não distinguiram agrupamentos (Fig. 25C).

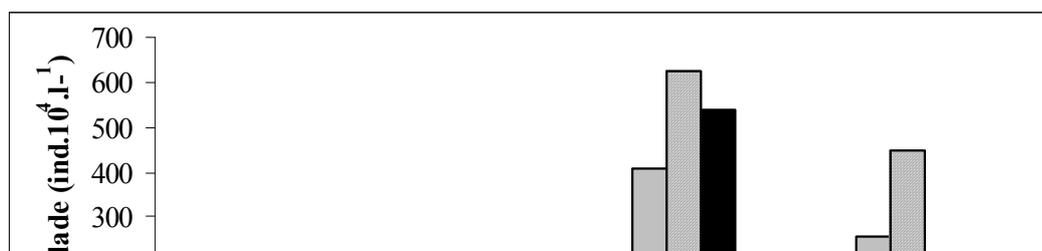
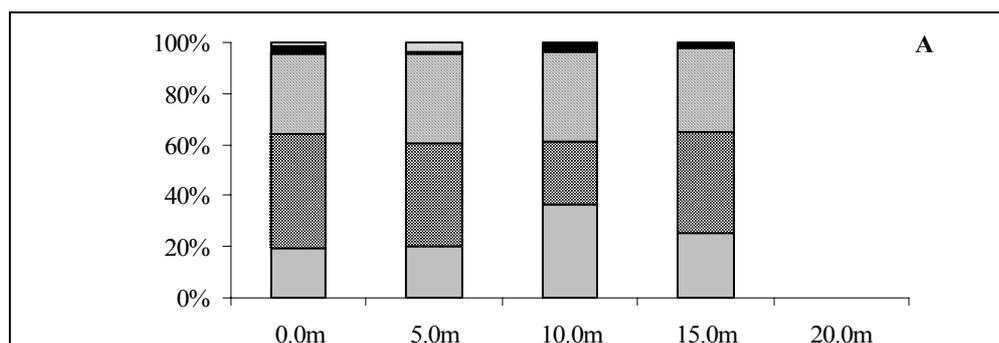


Figura 12 - Variação vertical e temporal da densidade total do fitoplâncton ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) do lago Dom Helvécio.



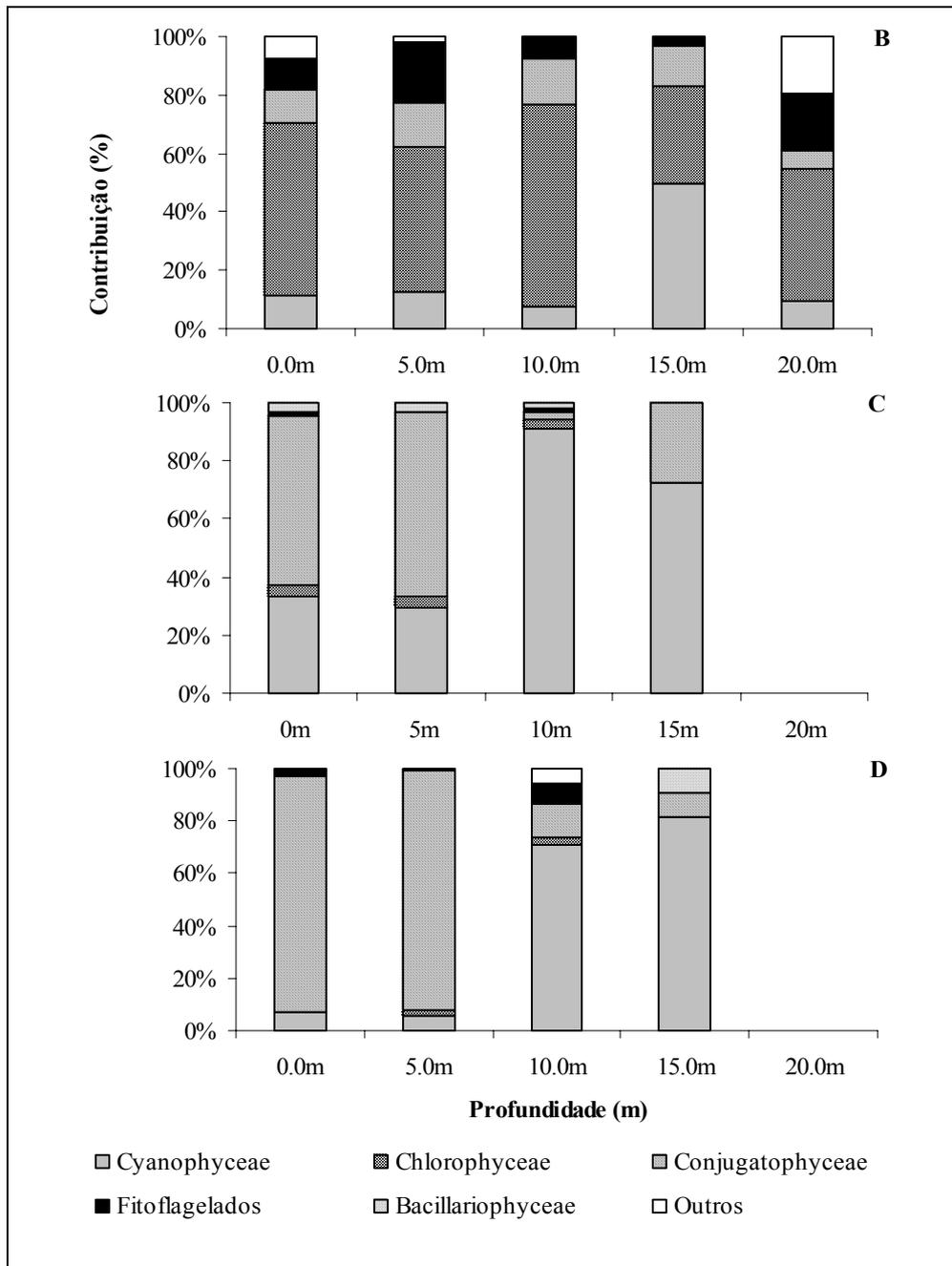
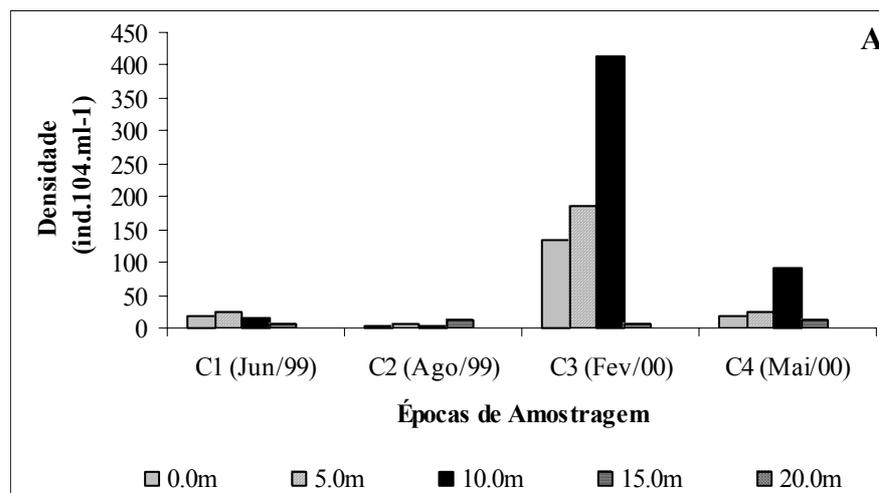


Figura 13 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nas diferentes profundidades amostradas da estação E1 do lago Dom Helvécio durante as quatro coletas. A: junho de 1999; B: agosto de 1999, C: fevereiro de 2000 e D: maio de 2000.



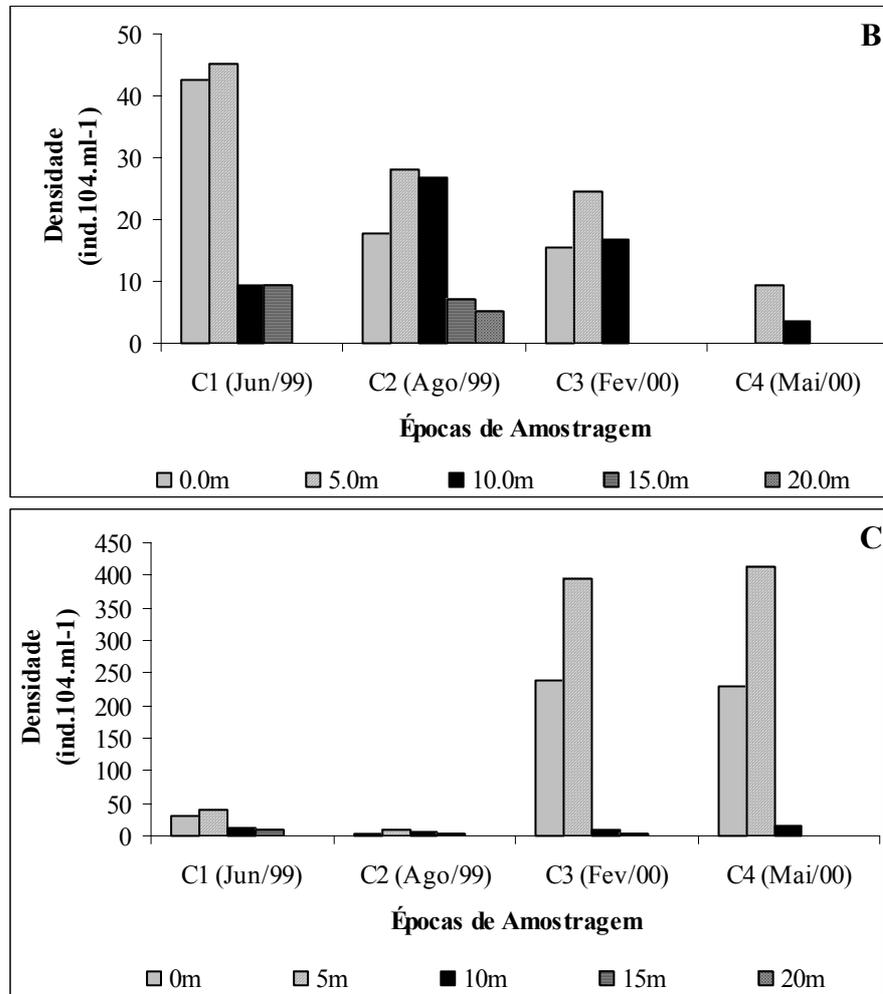
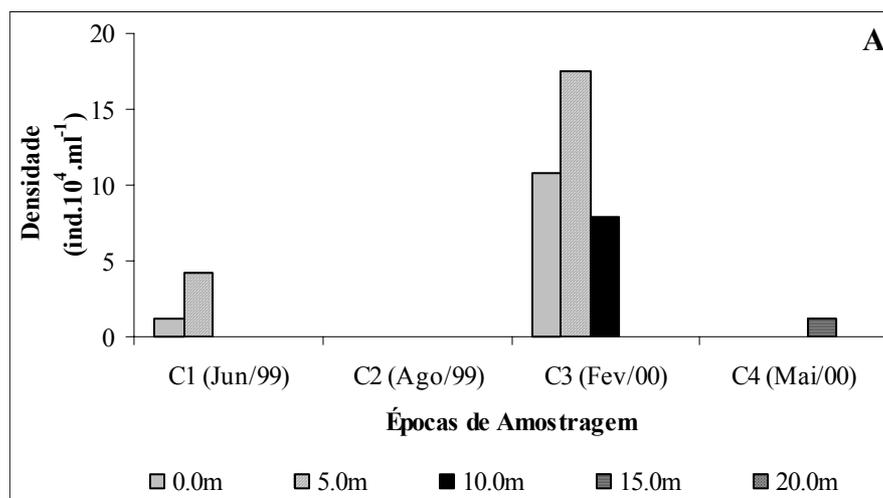


Figura 14 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.



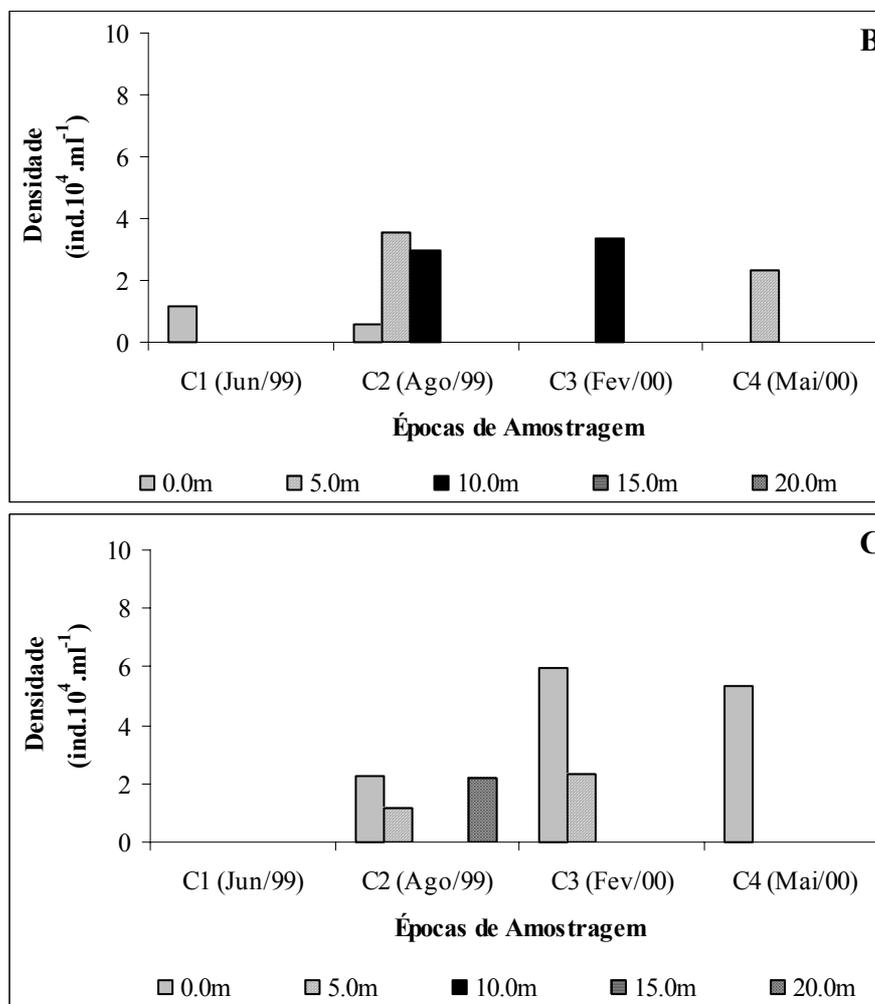
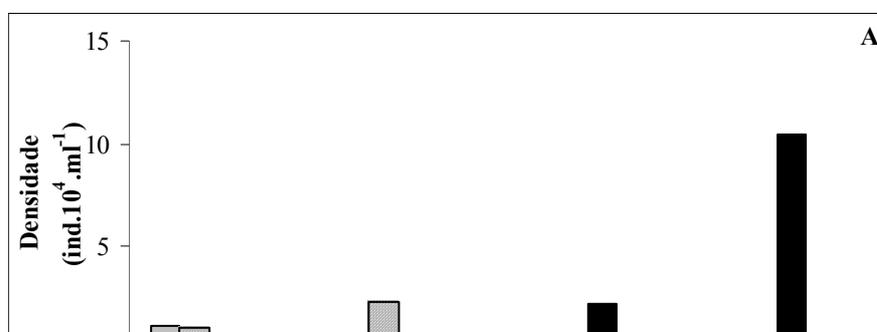


Figura 15 - Variação vertical da densidade (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) das classes Bacillariophyceae (A), Cryptophyceae (B) e Dinophyceae (C) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.



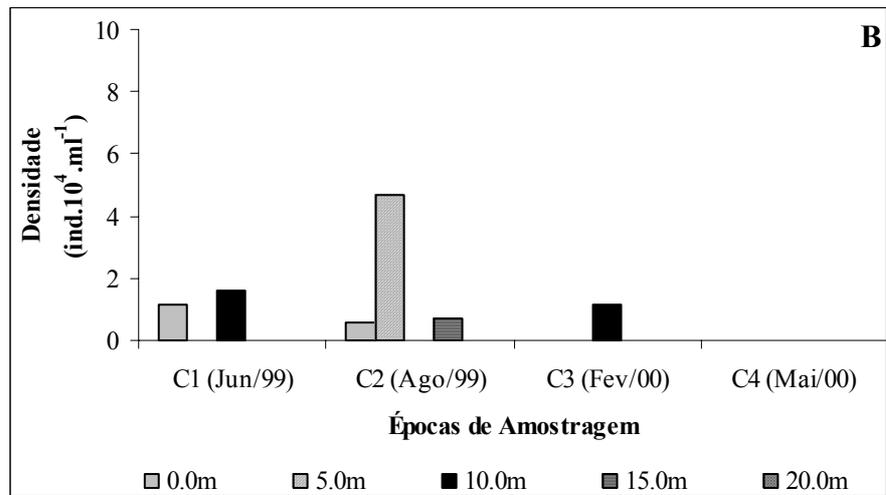


Figura 16 - Variação vertical da densidade (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) da classe Euglenophyceae (A) e da ordem Volvocales (B) durante as quatro amostragens realizadas no lago Dom Helvécio.

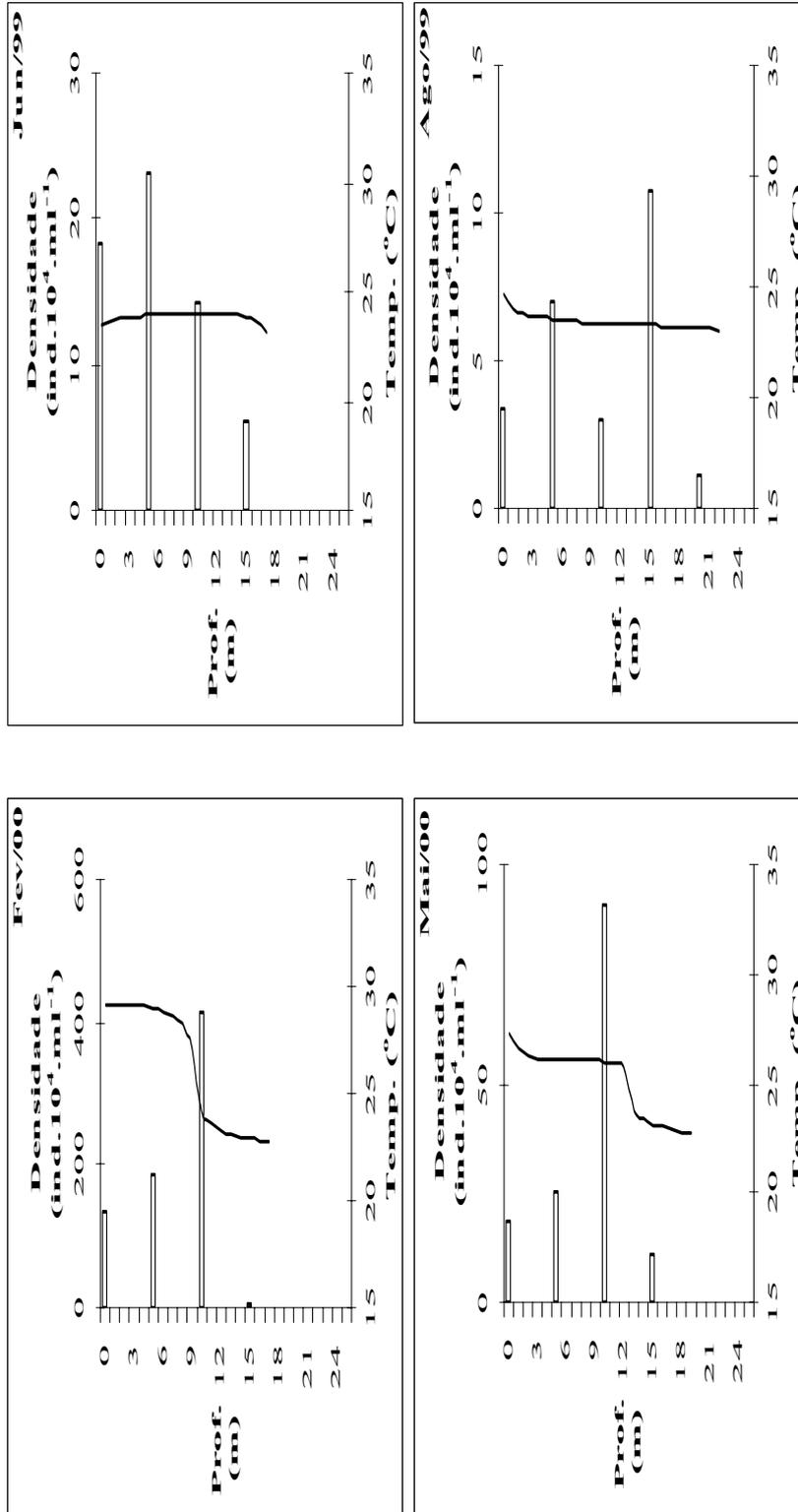


Figura 17 – Distribuição vertical da classe Cyanophyceae (ind. $10^4 \cdot ml^{-1}$ ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio.

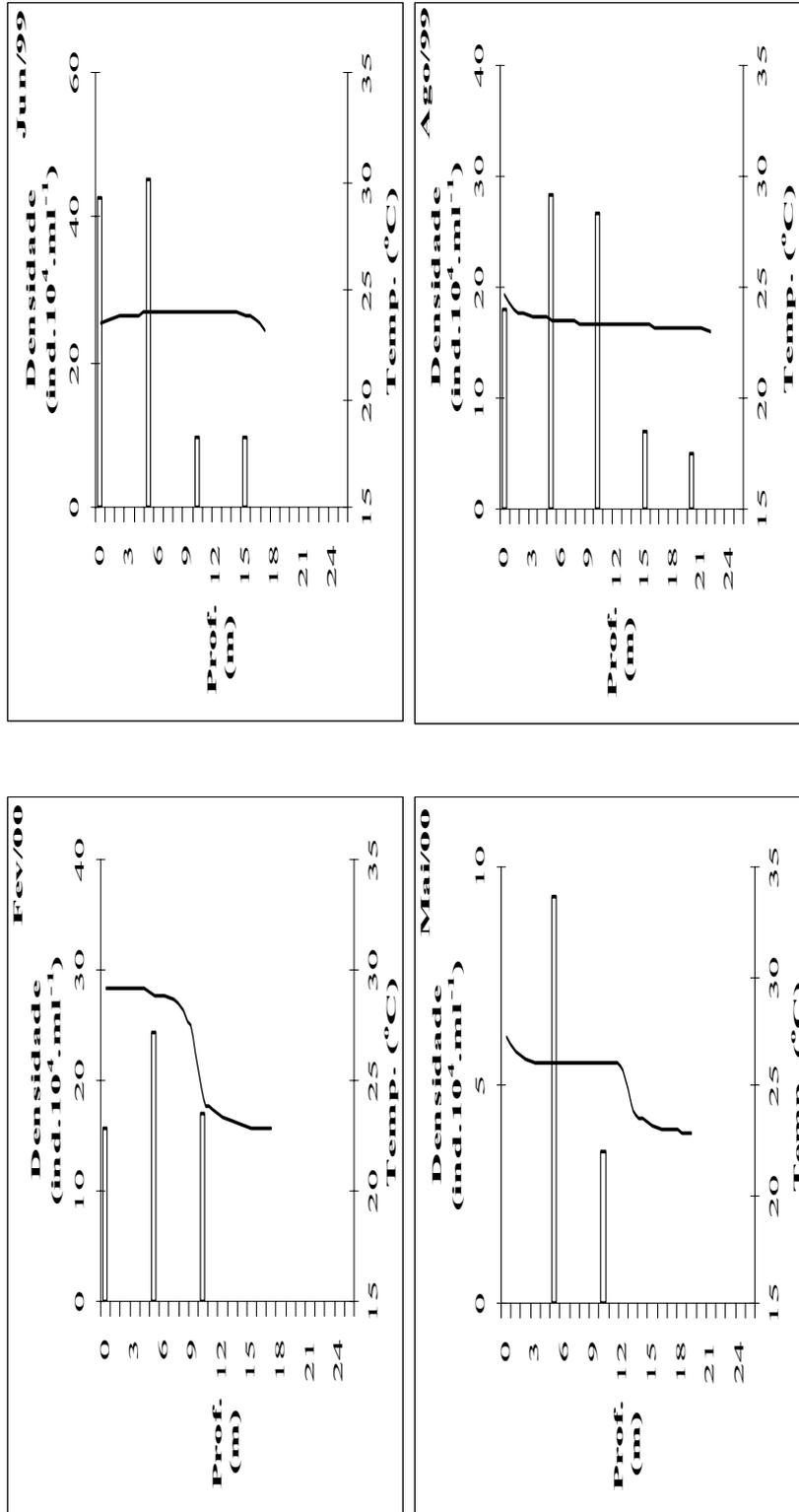


Figura 18 – Distribuição vertical da classe Chlorophyceae (ind. $10^4 \cdot ml^{-1}$ ) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio.

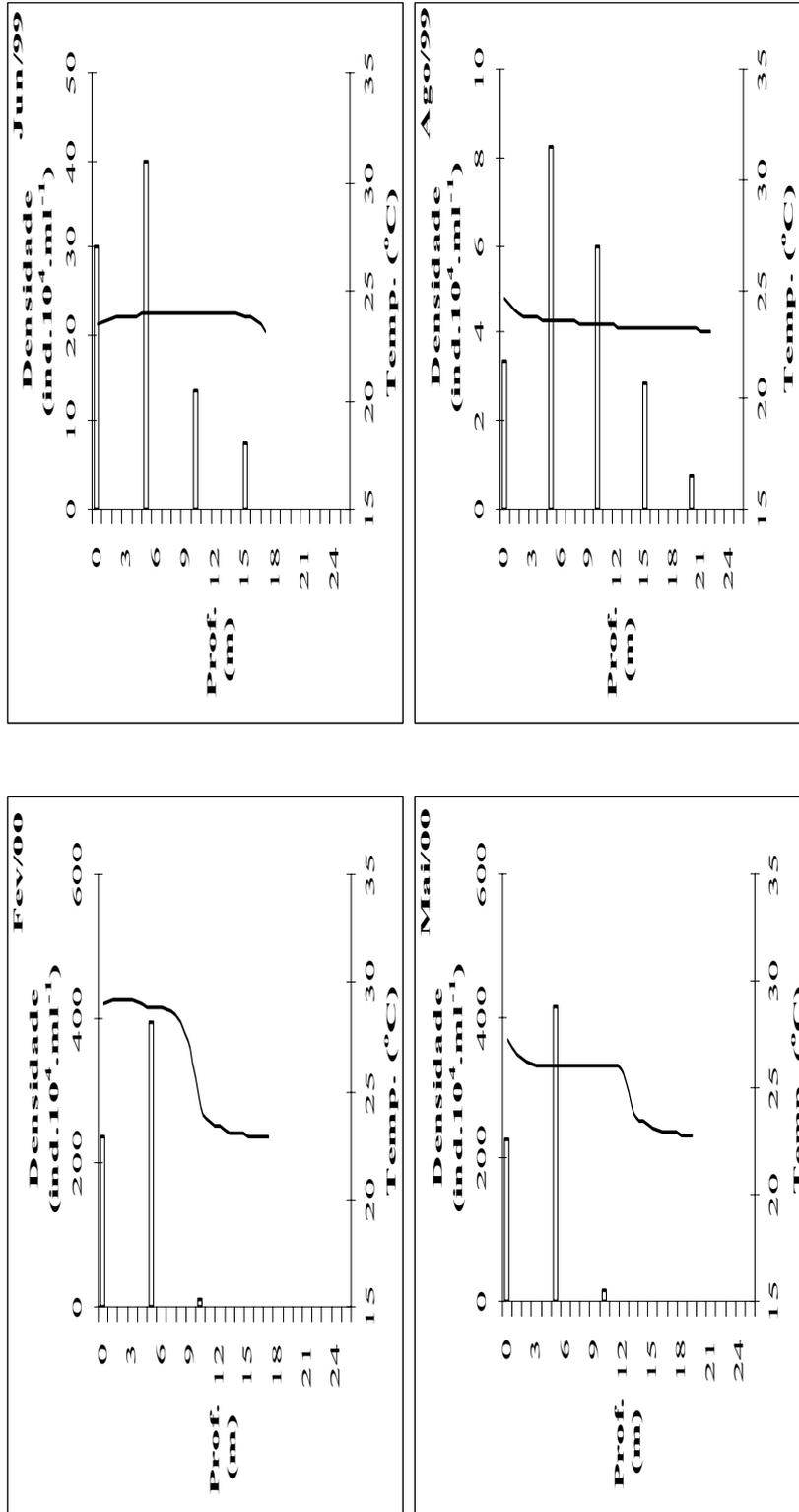


Figura 19 – Distribuição vertical da classe Conjugatophyceae (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) e perfil térmico da coluna d'água (°C) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio.

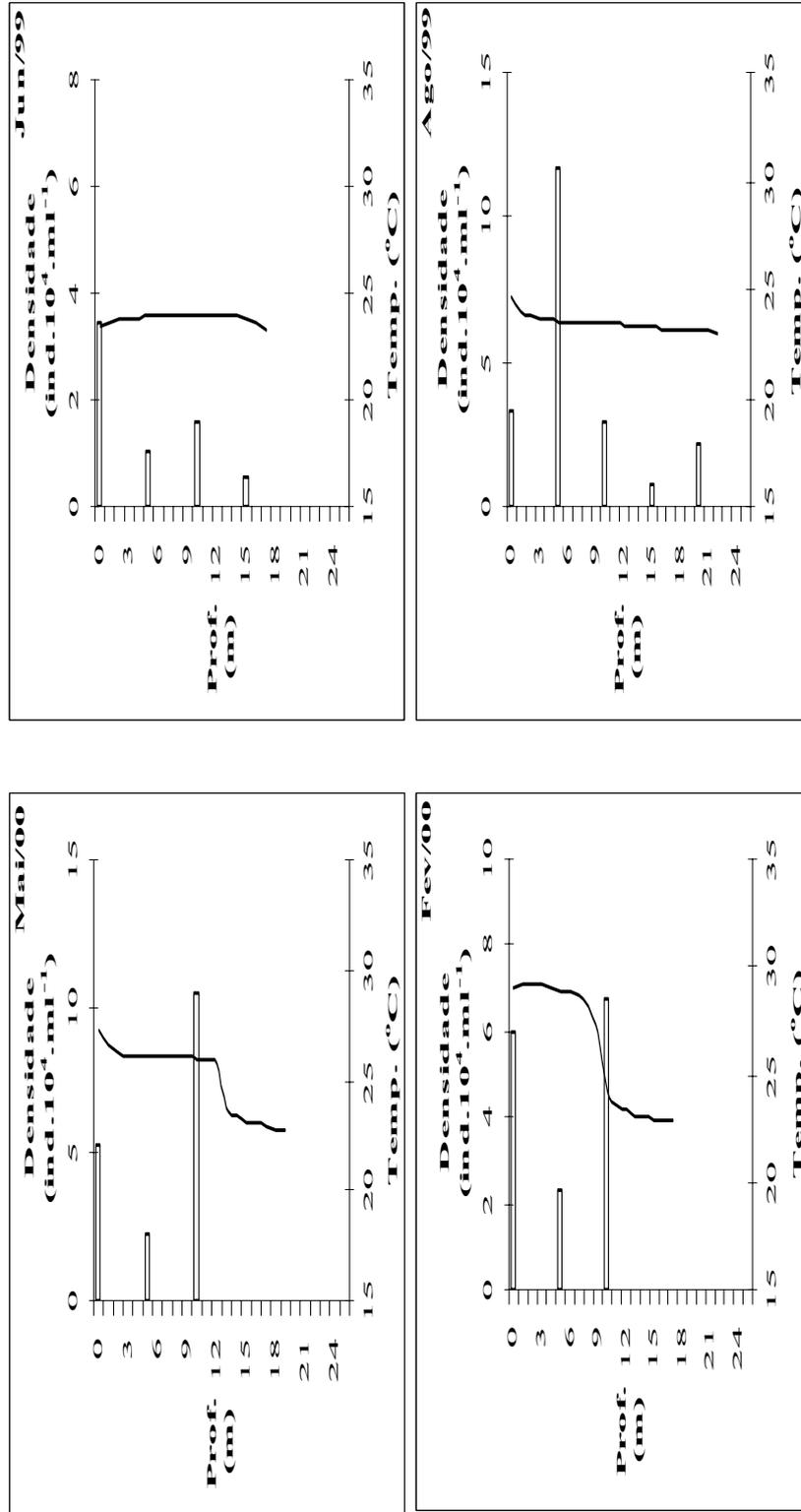


Figura 20 – Distribuição vertical dos Fitoflagelados ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) e perfil térmico da coluna d'água ( $^{\circ}\text{C}$ ) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio.

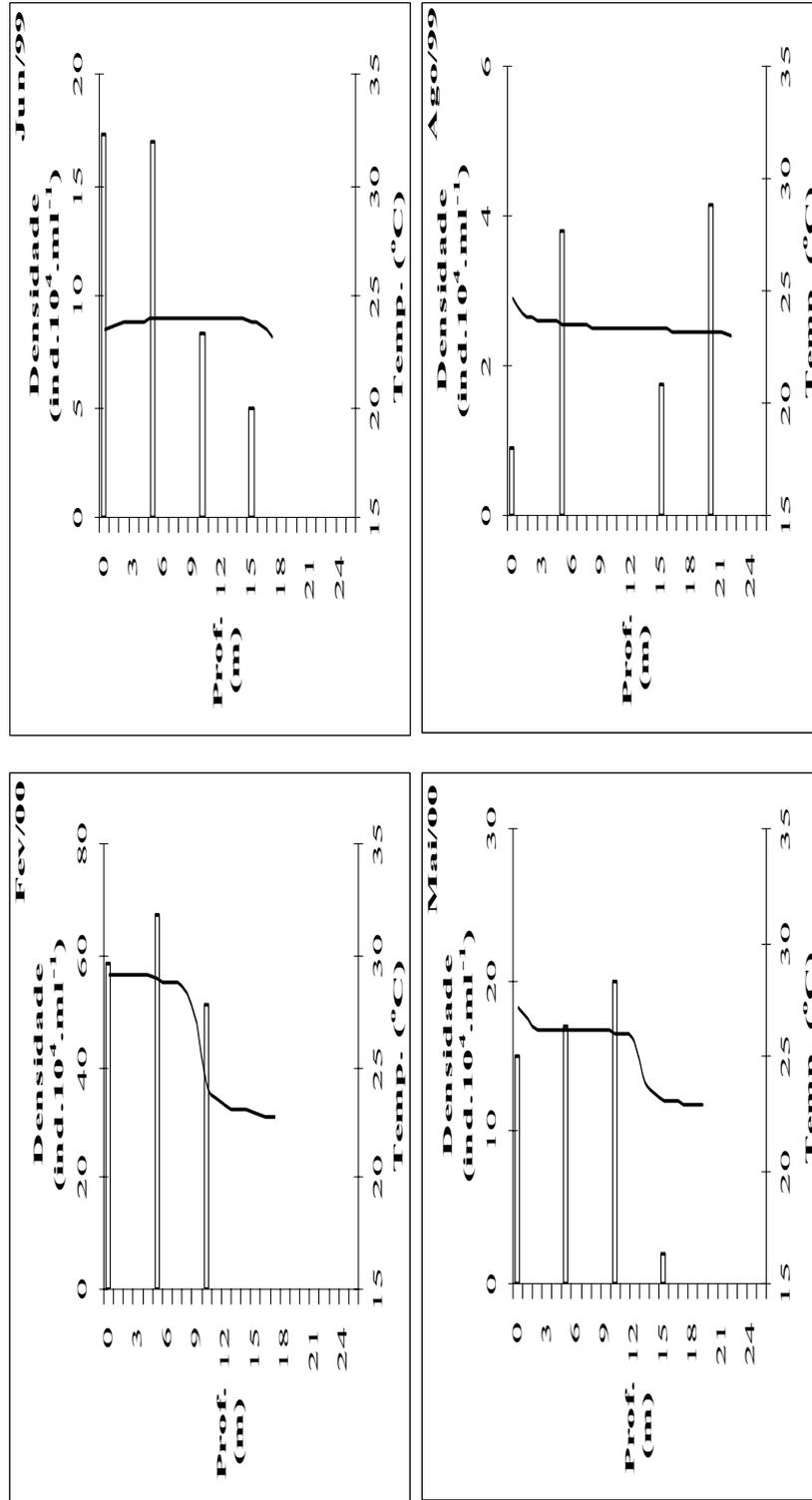


Figura 21 – Distribuição vertical de *Cylindrospermopsis raciborskii* ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) e perfil térmico da coluna d'água ( $^{\circ}\text{C}$ ) durante as quatro amostragens realizadas na estação E1 do lago Dom Helvécio.

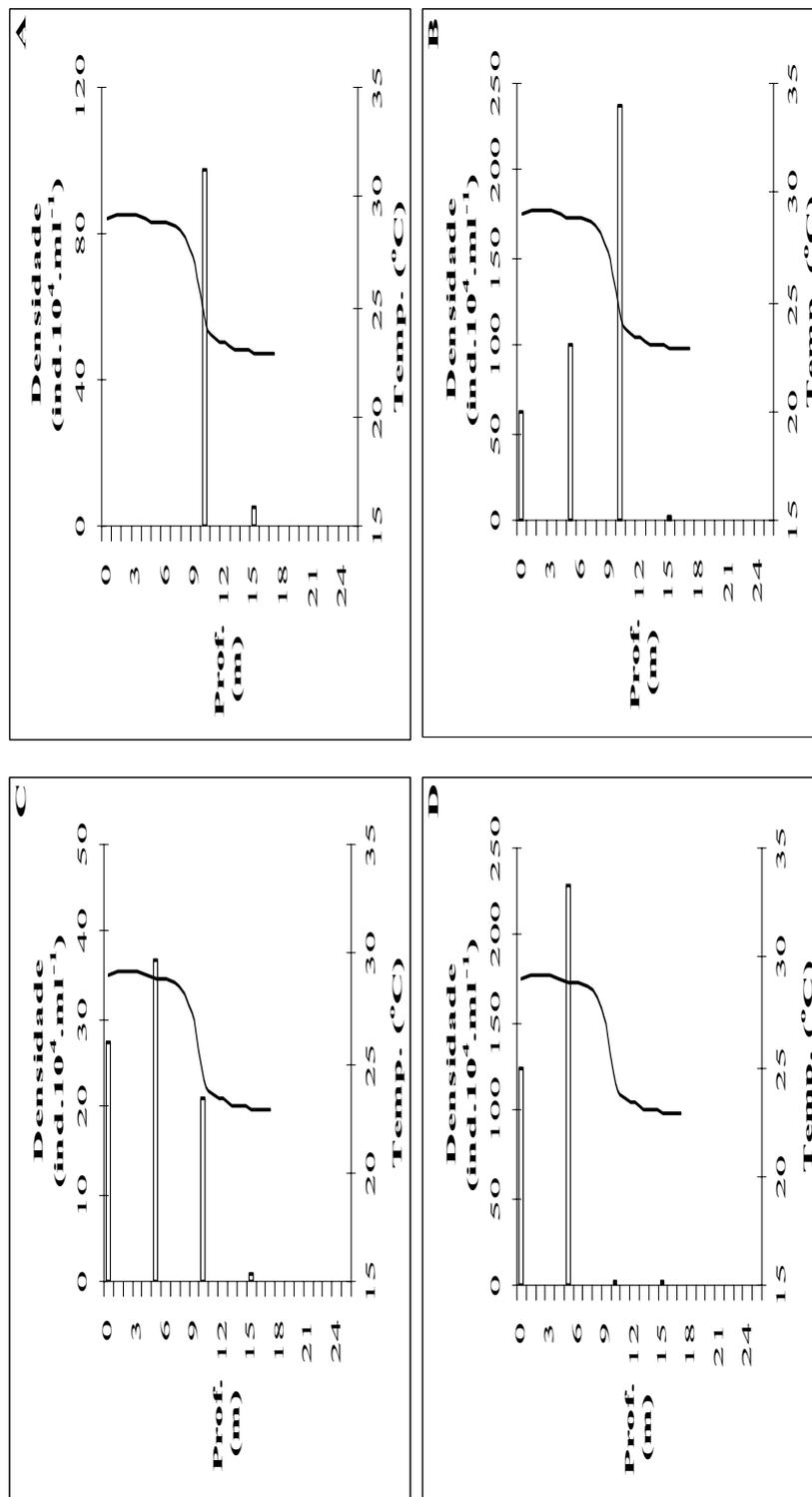


Figura 22 – Distribuição vertical de *Synechococcus* sp. (A), *Woskyella* sp. (B), *Actinotaenium perminutum* (C) e *Cosmarium asphaerosporum* var. *strigosum* (D) (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) e perfil térmico da coluna d'água (°C) em fevereiro de 200 na estação E1 do lago Dom Helvécio.

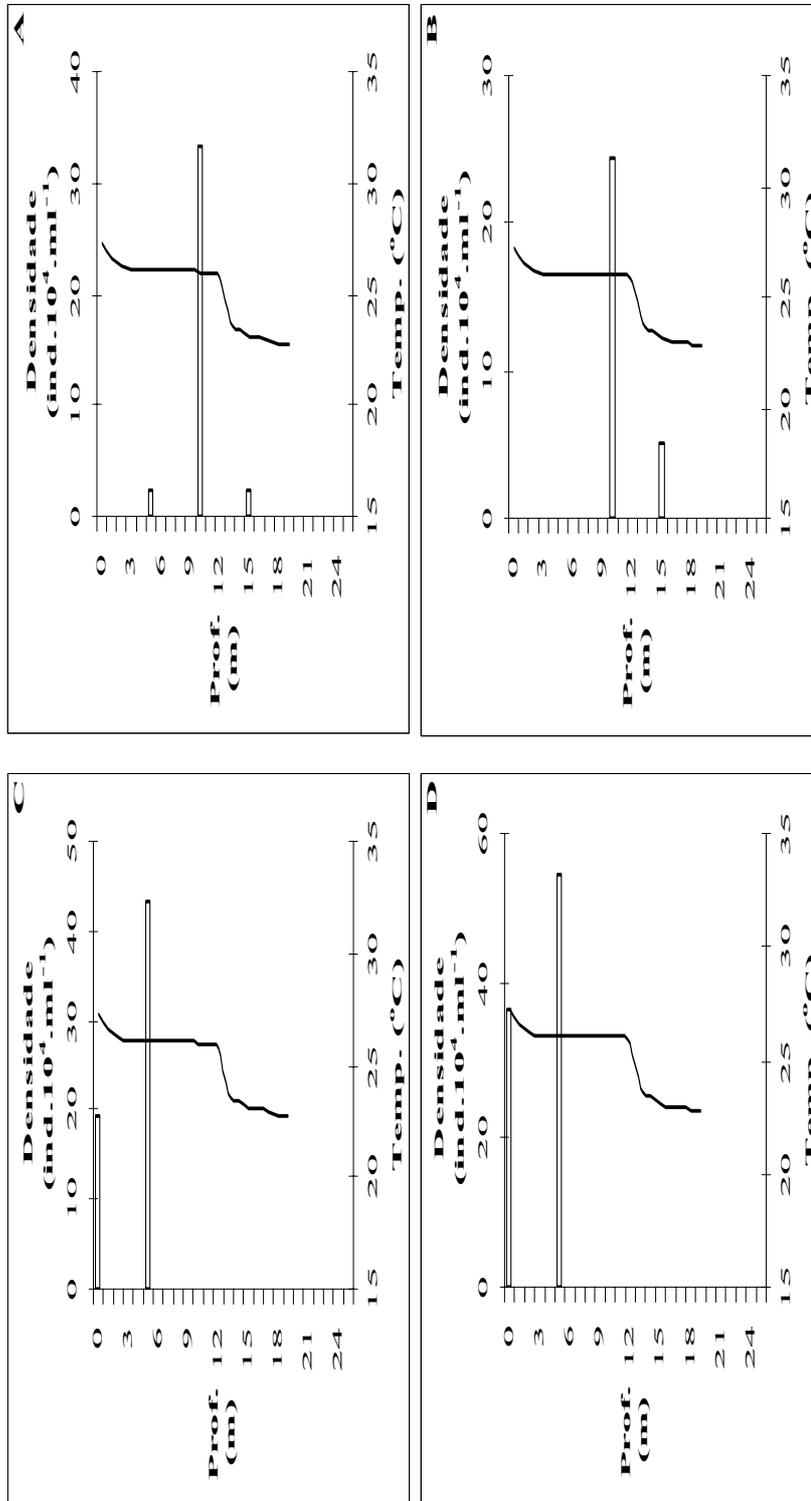


Figura 23 – Distribuição vertical de *Synechococcus* sp. (A), *Woskyella* sp. (B), *Actinotaenium perminutum* (C) e *Cosmarium asphaerosporum* var. *strigosum* (D) (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) e perfil térmico da coluna d'água (°C) em maio de 2000 na estação E1 do lago Dom Helvécio.

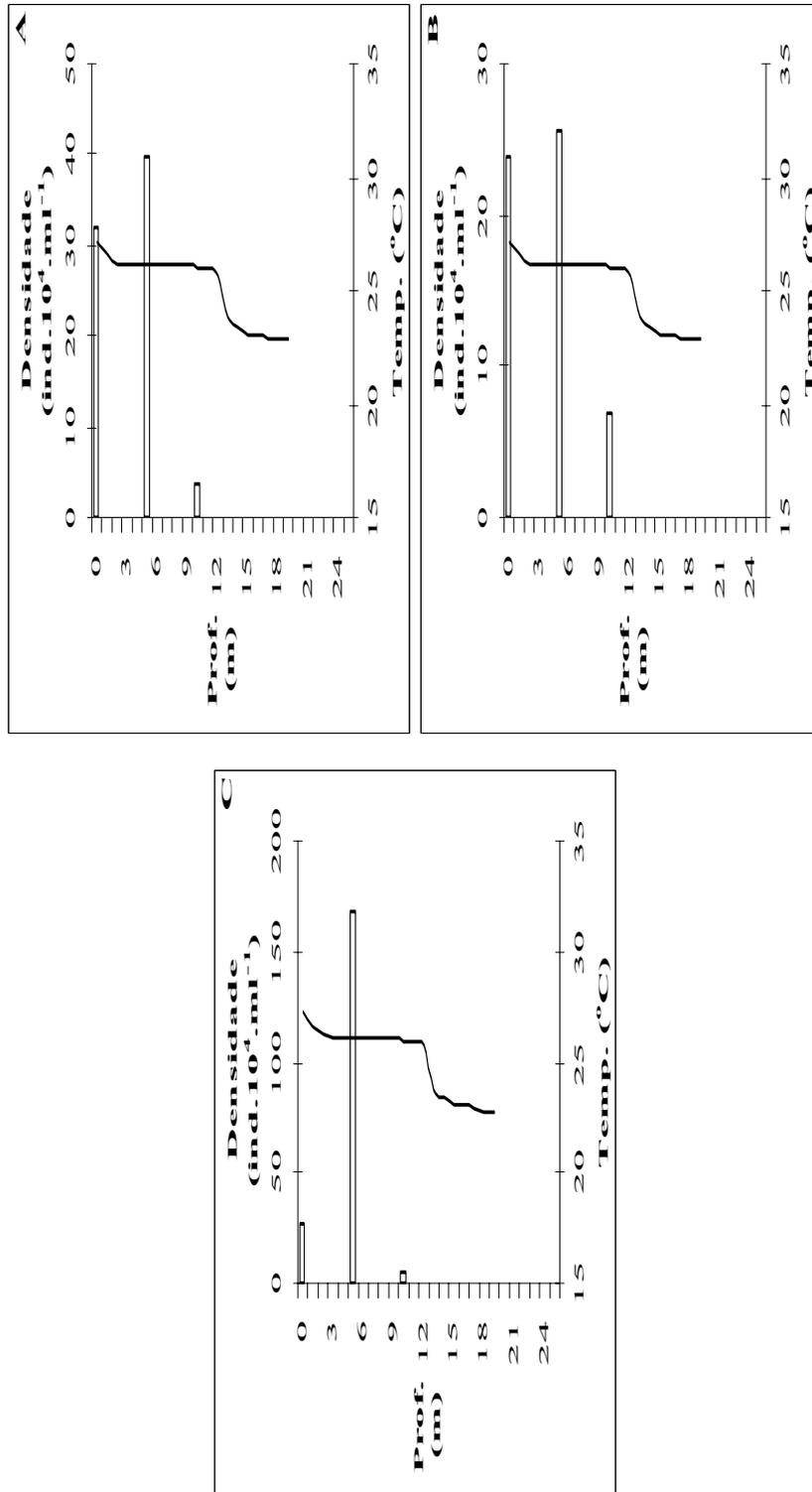


Figura 24 – Distribuição vertical de *Staurastrum smithii* (A), *S. tetracerum* (B) e *Staurodesmus crassus* (C) (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) e perfil térmico da coluna d'água (°C) em maio de 2000 na estação E1 do lago Dom Helvécio.

Tabela 6 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade – H' (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada uma das profundidades avaliadas (0,0m, 5,0m, 10,0m, 15,0m e 20,0m) na estação E1 de amostragem durante as quatro coletas realizadas no lago Dom Helvécio.

<b>Coleta</b>	<b>Profundidade</b>	<b>R</b>	<b>J</b>	<b>D</b>	<b>H'</b>
Junho de 1999	0,0m	21	0,84	0,10	3,71
	5,0m	23	0,86	0,08	3,88
	10,0m	14	0,87	0,11	3,30
	15,0m	12	0,79	0,15	2,85
Agosto de 1999	0,0m	18	0,81	0,14	3,38
	5,0m	18	0,90	0,08	3,74
	10,0m	13	0,88	0,12	3,24
	15,0m	14	0,88	0,10	3,36
	20,0m	6	0,91	0,19	2,34
Fevereiro de 2000	0,0m	20	0,67	0,21	2,88
	5,0m	23	0,60	0,25	2,72
	10,0m	23	0,61	0,25	2,76
	15,0m	4	0,84	0,31	1,68
Maio de 2000	0,0m	11	0,92	0,11	3,19
	5,0m	17	0,73	0,19	2,97
	10,0m	13	0,80	0,16	2,97
	15,0m	5	0,91	0,18	2,12

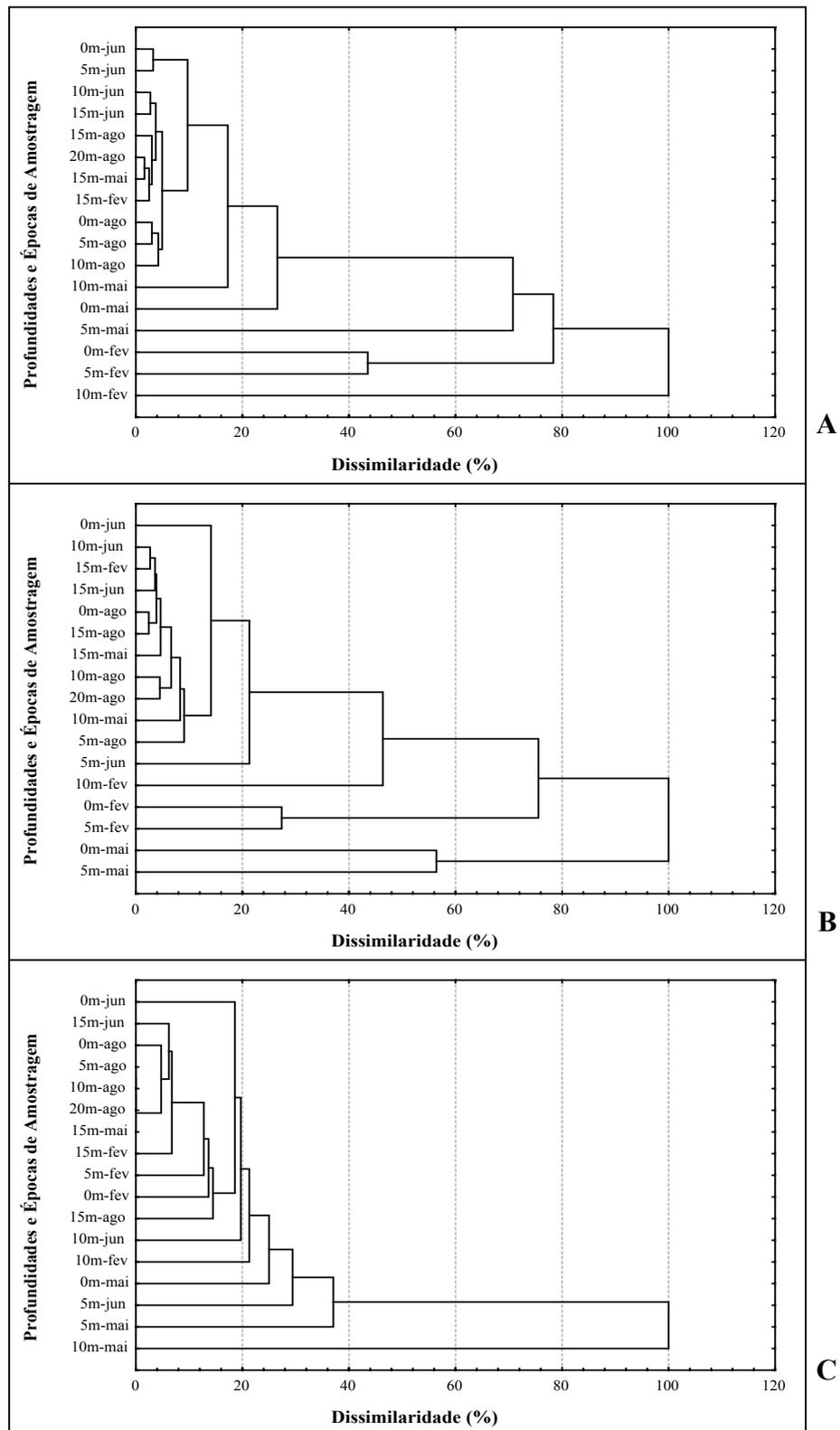


Figura 25 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem no lago Dom Helvécio através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons abundantes comuns e constantes (A), comuns e constantes não abundantes (B) e raros (C).

## DISCUSSÃO & CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para as variáveis limnológicas abióticas durante o período de analisado no lago Dom Helvécio corroboram com os de TUNDISI & SAIJO (1997). Verificou-se, no presente estudo, que os meses de fevereiro e maio de 2000 foram tipicamente estratificados, com a formação de um metalímnio bem definido, enquanto que, nos meses de junho de 1999 e agosto de 1999, a coluna d'água se apresentou isotérmica. A razão NT/PT indicou que, de forma geral, o ambiente é limitado por fósforo e os valores do índice de estado trófico obtidos classificam o lago como mesotrófico. Observou-se a influência dos períodos de estabilidade térmica e isoterminia sobre a dinâmica das variáveis abióticas analisadas.

O primeiro estudo sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no lago Dom Helvécio foi realizado por PONTES (1980) e, apesar ter sido desenvolvido no mesmo local de amostragem (sua estação de coleta refere-se à estação E1 do presente trabalho), as alterações provavelmente ocorridas neste ambiente ao longo dos anos influenciaram a estrutura comunidade fitoplanctônica, de forma que em 1999 e 2000 encontrou-se uma comunidade bastante diferenciada daquela de 1977 e 1978. Este autor verificou que os grupos de maior contribuição nos anos de 1977 e 1978 foram de Cryptophyta, Chrysophyta (Bacillariophyceae + Chrysophyceae), Chlorophyta (Chlorophyceae + Conjugatophyceae) e Cyanophyta. Este autor também analisou a comunidade, baseada em amostragens filtradas em rede de plâncton, e os mesmos grupos foram predominantes, porém em proporções diferentes. Diferentemente do observado por PONTES (1980), para as amostras de fitoplâncton total, observou-se uma variação na densidade total da comunidade bem como nos grupos de maior contribuição relativa. Nos anos de 1977 e 1978 a variação na densidade entre os meses de coleta foi pequena. No presente estudo, os meses de fevereiro e maio de 2000 apresentaram maior densidade total que os meses de junho e agosto de 1999 e que Conjugatophyceae (constituídas exclusivamente por desmídias), Chlorophyceae e Cyanophyceae foram os grupos de maior contribuição relativa. Além destas diferenças, o lago Dom Helvécio apresentou para os anos de 1999 e 2000 alterações relativas ao padrão sazonal bem como à composição qualitativa do fitoplâncton quando comparados aos dados dos anos de 1977 e 1978.

Em 1977 e 1978, as Chlorophyta (Chlorophyceae e Conjugatophyceae) apresentaram pico máximo no período de estratificação (novembro de 1978) e a maior contribuição foi da espécie *Coelastrum proboscideum* (da ordem Chlorococcales). No presente estudo, as Conjugatophyceae foram dominantes em junho de 1999, fevereiro e maio de 2000, mas seu pico máximo ocorreu em maio de 2000. As maiores densidades de Chlorophyceae foram observadas em junho de 1999, no entanto este grupo apresentou maior contribuição relativa em agosto de 1999. As Cyanophyceae, nos anos de 1977 e 1978 tiveram maiores densidades em julho de 1978, com grande contribuição das espécies *Aphanocapsa kordesii*, *Microcystis aeruginosa* e *M. robusta* e, neste estudo, isto foi verificado em fevereiro de 2000, sendo que as espécies principais foram *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Woskyella* sp.

Comparando os resultados deste estudo com os obtidos para o lago Aníbal, durante o mesmo período de amostragem, verifica-se que os grupos de maior contribuição também foram Conjugatophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae (Capítulo II). Contudo, algumas diferenças foram detectadas entre esses dois lagos. Verificou-se que no lago Aníbal o desenvolvimento das Cyanophyceae esteve aliado às baixas razões NT/PT no mês de maio de 2000, caracterizado como isotérmico.

No lago Dom Helvécio apesar das mais baixas razões NT/PT terem sido observadas neste mesmo período de estudo (valor máximo: 29,57, valor mínimo: 13,38, valor médio: 19,28), as Conjugatophyceae foram dominantes. Provavelmente, isto se deva à estabilidade térmica (estratificação da coluna d'água) deste ambiente, que, devido à sua maior profundidade ainda permanecia estratificado em maio de 2000, o que não ocorreu com o lago Aníbal. De acordo com WILLÉN (1992), a estabilidade da coluna d'água favorece o aumento na densidade das desmídias. Assim pode-se inferir que no lago Dom Helvécio, a estabilidade térmica foi, provavelmente, a principal causa do desenvolvimento das Cyanophyceae em fevereiro de 2000 (principalmente no metalímnio) e das Conjugatophyceae em fevereiro e maio de 2000. Não se observou uma correlação ente os valores da razão NT/PT sobre a variação na densidade das Cyanophyceae.

Dentre Cyanophyceae abundantes do lago Dom Helvécio é importante citar a ocorrência de *Cylindrospermopsis raciborskii*, primeira vez registrada para os lagos do Vale do Rio Doce. Esta espécie foi considerada abundante em todos os períodos de

coleta no lago Dom Helvécio e seu pico máximo de densidade ocorreu em fevereiro de 2000, porém não se observou uma profundidade preferencial para seu desenvolvimento. Muitos estudos foram e têm sido feitos para compreender a ecologia desta alga, devido à sua toxicidade aparente ou potencial. De acordo com PADISÁK (1997), que realizou um amplo levantamento dos estudos referentes à *C. raciborskii*, esta espécie ocorre em diferentes tipos de ambientes (tropicais a temperados, oligotróficos a hipereutróficos, lagos rasos a profundos, reservatórios e rios) e o aumento de suas populações se dá em temperaturas acima de 25°C. *C. raciborskii* pode ser dominante ao longo do ano ou quase todo o ano em regiões tropicais. Em lagos tropicais com um padrão anual de estratificação, os picos de densidade ocorrem no epilímnio. E ainda, segundo este mesmo autor, o sucesso de *C. raciborskii* pode ser atribuído a inúmeros fatores, entre eles a alta afinidade pelo amônio (ao passo que outras espécies heterocitadas podem fixar somente nitrogênio atmosférico quando as fontes de nitrogênio estão escassas no ambiente) e também a capacidade de armazenamento de fósforo. Deve-se salientar que a maioria dos indivíduos de *C. raciborskii* do lago Dom Helvécio apresentaram-se sem o heterocito apical, devido ao lago não apresentar limitação por nitrogênio.

As Chlorophyceae, constituídas quase que exclusivamente por indivíduos da ordem Chlorococcales, tiveram maiores densidades nos períodos de isoterminia e deveram-se, provavelmente, ao *mixing* da coluna d'água. Segundo WILLÉN (1992), este fator é necessário para seu desenvolvimento, uma vez que este grupo não possui uma capacidade de locomoção ativa.

A classe Bacillariophyceae (diatomáceas) apresentou, de forma geral, maiores densidades em fevereiro de 2000 (período estratificado). Resultados semelhantes foram relatados por PONTES (1980) para este mesmo lago que observou o aumento de diatomáceas (*Synedra* sp. e *Rhizosolenia* sp) nos meses mais quentes, sugerindo a relação entre temperatura e presença destes organismos. Autores como SOMMER (1988) e WILLÉN (1991) enfatizam que entre os principais fatores de crescimento para este grupo estão: a alta razão Si/P (sílica/fósforo) e a turbulência. Dessa forma, outros fatores (como temperatura) podem ter influenciado o desenvolvimento deste grupo, uma vez que as razões Si/PT não apresentaram diferenças entre os períodos estudados e a ocorrência não se deu em períodos de turbulência.

Quanto aos fitoflagelados, observou-se que as classes Dinophyceae e Euglenophyceae apresentaram maiores densidades durante o período de estratificação térmica (fevereiro e maio de 2000), ao passo que a ordem Volvocales parece ter se desenvolvido melhor nas estações E1 a E5 da coleta de agosto de 1999 e em E6 e E7 da coleta de junho de 1999, ou seja, durante o período isotérmico. A classe Cryptophyceae não demonstrou um comportamento sazonal e nem espacial definido. Segundo a literatura, o desenvolvimento das classes Dinophyceae e Cryptophyceae ocorre em períodos de *mixing* ao passo que o da ordem Volvocales se dá em períodos de isoterminia (KLAVENESS, 1988; POLLINGHER, 1988; HAPPEY-WOOD, 1988). Dessa forma, torna-se difícil tecer comentários a respeito da variabilidade sazonal ou espacial dos fitoflagelados no lago Dom Helvécio, uma vez que suas densidades foram muito baixas quando comparadas aos dos grupos de maior contribuição no fitoplâncton, sendo estes considerados os mais bem sucedidos no ambiente e que respondem melhor à sua variação.

De forma mais abrangente, observou-se que nas duas primeiras amostragens, referentes ao período isotérmico (junho e agosto de 1999), houve maior contribuição relativa de outros grupos de algas, como Bacillariophyceae e fitoflagelados e que a dominância dos grupos de maior densidade foi menor, quando comparado com as amostragens do período estratificado (fevereiro e maio de 2000). Analisando mais detalhadamente, nos meses de junho de 1999 e agosto de 1999, a quantidade de espécies consideradas abundantes foi maior que nos meses de fevereiro e maio de 2000, indicando uma melhor distribuição do número de indivíduos pelo número de espécies encontrados nas duas primeiras amostragens, em contraste com as duas últimas, nas quais apenas poucas espécies tiveram grandes densidades. Assim, os índices de equitabilidade, dominância e diversidade refletiram estes resultados. As maiores diversidades ocorreram nos períodos de isoterminia, enquanto que, durante a estratificação térmica, houve menor diversidade associada aos maiores índices de dominância. Resultados similares foram observados por LINDENSCHMIDT & CHORUS (1998) para o lago Tegel (Alemanha), os quais verificaram que em períodos de *mixing* intermitente ocorreram as maiores diversidades do fitoplâncton e que, durante os períodos de estratificação da coluna d'água, o oposto é observado.

Com relação à distribuição vertical da comunidade, PONTES (1980) verificou que, de um modo geral, o fitoplâncton se manteve acima de 1% de penetração de luz verde durante a estratificação. E, nos períodos de quebra de termoclina, houve uma distribuição mais homogênea da comunidade ao longo da coluna d'água. Nas amostragens de janeiro, março e maio de 1978, as densidades de Cyanophyceae e Chlorophyta ocorreram acima da camada metalimnética e, dentre os táxons mais abundantes, apenas *Synedra* sp. (diatomácea) teve sua densidade aumentada nesta camada.

HINO *et al.* (1986) avaliaram a distribuição vertical do fitoplâncton durante o período estratificado no lago Dom Helvécio nos meses de fevereiro e março de 1981 e observaram maior densidade algal no metalímnio. No entanto, não é possível comparar os resultados do presente estudo com os de HINO *et al.* (1986) devido às diferenças de amostragem. Estes autores avaliaram a comunidade baseando-se em amostragens filtradas em rede de plâncton de 58µm de abertura de malha, de forma que houve a seleção das espécies maiores que esta medida. Dessa forma, espécies como *Microcystis wezenbergii*, *Staurastrum leptocladum* e *S. rotula* ocorreram neste estudo em pequenas densidades e *Staurastrum wolleanum* e *S. grallatorium* foram registrados apenas nas análises qualitativas.

No presente estudo, verificou-se que densidade total fitoplanctônica foi maior nas amostragens de fevereiro e maio de 2000 e que, em todas as coletas, isso ocorreu aos 5,0m de profundidade. A contribuição relativa dos grupos foi semelhante em todas as profundidades analisadas nas amostragens de junho e agosto de 1999 apesar da zona eufótica ter atingido, no máximo, 12,9m. Observou-se que Chlorophyceae e Conjugatophyceae apresentaram maiores densidades aos 0,0m e 5,0m de todas as amostragens. Nas coletas de fevereiro e maio de 2000, épocas tipicamente estratificadas, as Cyanophyceae tiveram maior crescimento populacional aos 10,0m (dentro da camada metalimnética em fevereiro de 2000 e acima desta em maio de 2000 que esteve situada a aproximadamente aos 12,0m). As Bacillariophyceae tiveram pico máximo aos 5,0m em fevereiro de 2000 e praticamente não foram observadas nos demais meses. Os grupos pertencentes aos fitoflagelados não apresentaram padrão definido de distribuição vertical, porém quando analisados conjuntamente, pôde-se notar que as maiores densidades ocorreram aos 10,0m no período estratificado. KIEFER *et al.* (1972)

mencionam que o acúmulo da biomassa algal nos estratos estáveis da coluna d'água é comumente observado em lagos oligotróficos, no entanto neste estudo evidenciou-se que os grupos fitoplanctônicos possuem comportamento diferenciado entre si no período estratificado. Os indivíduos das classes Chlorophyceae e Conjugatophyceae se desenvolvem preferencialmente na camada epilimnética e da classe Cyanophyceae e fitoflagelados em geral se desenvolvem no estrato metalimnético. Apesar da distribuição das diversas populações algais presentes no lago Dom Helvécio não ser homogênea ao longo da coluna d'água, isto não refletiu nos índices de diversidade, equitabilidade e dominância. Os índices foram semelhantes aos 0,0m, 5,0m e 10,0m e no hipolímnio (15,0 e 20,0m) possui menor diversidade. Semelhantemente ao lago Aníbal, constatou-se que a diversidade fitoplanctônica no lago Dom Helvécio é influenciada principalmente pelo componente sazonal.

Baseado nos resultados obtidos de composição, densidade e diversidade fitoplanctônica no lago Dom Helvécio, pode-se dizer que este ambiente possui características oligotróficas, ainda que o IET (baseado nas concentrações de fósforo total) indique que seja mesotrófico. Isso se deve:

- aos altos índices de diversidade obtidos;
- à grande densidade e predominância de desmídias em três das quatro amostragens realizadas. As desmídias, de forma geral, são indicativas de ambientes não enriquecidos, com deficiência de fósforo (BROOK, 1965; HUSZAR & REYNOLDS, 1997; NYGAARD, 1991; REYNOLDS, 1997);
- à menor densidade e número de espécies de Chlorococcales, quando comparado ao lago Aníbal. Segundo COMAS (1996), estas algas habitam preferencialmente águas mesotróficas e eutróficas.

As análises de agrupamento realizadas corroboram com os resultados obtidos, houve a separação de cada uma das coletas realizadas. Ao contrário do que se esperava, não se evidenciou separação das estações de amostragem litorâneas (E2, E4, E7, E9 e E11) das limnéticas (E1, E3, E5, E6, E8 e E10). Esta diferença foi observada somente nas amostras qualitativas, as quais apresentaram grande contribuição de espécies metafiticas/perifíticas nas estações litorâneas. A análise estatística evidenciou a separação do fundo da coluna d'água (15,0m e 20,0m) das demais profundidades em

todo o período de amostragem. Contudo, em junho de 1999, esta separação foi menos evidente.

Baseado neste estudo, pode-se concluir que:

- a principal função de força no lago Dom Helvécio, em relação à comunidade fitoplanctônica, é o fator climático;
- os grupos de maior contribuição no fitoplâncton foram Conjugatophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae;
- durante o período isotérmico a contribuição relativa dos grupos é semelhante em todas as profundidades e, no período estratificado, há maior contribuição de Conjugatophyceae aos 0,0m e 5,0m e Cyanophyceae aos 10,0m e 15,0m;
- as classes Conjugatophyceae e Chlorophyceae sempre apresentam maiores densidades aos 0,0m e 5,0m;
- no período estratificado a classe Cyanophyceae apresenta maior densidade e maior contribuição relativa no metalímnio;
- a diversidade fitoplanctônica aumenta em períodos de isoterminia e diminui nos períodos de estabilidade térmica, porém este fator praticamente não altera a diversidade ao longo da coluna d'água; menor diversidade é observada somente o hipolímnio;
- não há diferenciação entre região limnética e litorânea em relação à densidade das populações fitoplanctônicas. Essa diferença é observada somente através da composição de espécies nas análises qualitativas;
- o lago Dom Helvécio pode ser classificado como oligotrófico, quando leva em consideração a composição, densidade e diversidade da comunidade fitoplanctônica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, P. M. ; PEREIRA, M. C. A. & SILVA, L. V. C. 1997. The vegetation of Rio Doce State Park. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 15-21.
- BICUDO, D. C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifiton. **Acta Limnologica Brasiliensia** 3: 459-475.
- BROOK, A. J. 1965. Planktonic algae as indicators of lake types with special reference to the Desmidiaceae. **Limnology and Oceanography** 10: 403-411.
- COLE, G. 1994. **Textbook of limnology**. Saint Louis : The C. V. Mosby. 283 p.
- COMAS, A. 1996. **Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba**. Bibliotheca Phycologica 99. Berlin: J. Cramer. 192p. + 65 figuras.
- GUILHUIS, J. P. 1986. **Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil**. Wageningen: Agricultural University of Wageningen. 112 p.
- HAPPEY-WOOD, C. M. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 175-226.
- HINO, K.; TUNDISI, J. G. & REYNOLDS, C. S. 1986. Vertical distribution of phytoplankton in a stratified lake (lago Dom Helvecio, Southeastern Brazil) with special reference to the metalimnion. **Japanese Journal of Limnology** 47(3): 239-246.
- HUSZAR, V. L. M. & REYNOLDS, C. S. 1997. Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. **Hydrobiologia** 346: 169-181.
- JONES, R. C.; FULCHER, A. S.; JAYAKODY, J. K. V.; LAYBOURN-PARRY, J.; SHINE, A. J.; WALTON, M. C. & YOUNG, J. M. 1995. The horizontal distribution in a deep oligotrophic lake – Loch Ness, Scotland. **Freshwater Biology** 33: 161-170.
- KIEFER, A. D.; HOLM-HANSEN, O.; GOLDMAN, C. R.; RICHARDS, R. & BERMAN, T. 1972. Phytoplankton in Lake Tahoe: deep-living populations. **Limnology and Oceanography** 17: 418-422.

- KLAVENESS, D. 1988. Ecology of the cryptomonadida: a first review. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 105-133.
- LINDENSCHMIDT, K. E. & CHORUS, I. 1998. The effect of water column mixing on phytoplankton succession, diversity and similarity. **Journal of Plankton Research** 20 (10): 1927-1951.
- LOBO, E. & LEIGHTON, G. 1986. Estruturas comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marinha** 22(1): 1-29.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J. & TALLING, J. F. 1978. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. Ambleside: Freshwater Biological Association Scientific Publication, n. 36. 120 p.
- MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press. 179p.
- MANLY, B. F. J. 1986. **Multivariate statistical methods: a primer**. New York: Chapman, 215 p.
- MARGALEF, R. 1983. **Limnologia**. Barcelona: Ed. Omega. 1010 p.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. & TUNDISI, J. G. 1995. Limnology of a warm monomitic lake at rio Doce Forest Park (lake Dom Helvecio, MG, Eastern Brazil). *In*: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (eds.). **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Sociedade Brasileira de Limnologia. pp. 245-256.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. M. 1977. As unidades morfo-estratigráficas neoquaternárias do médio rio Doce. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 49(3): 443-459.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. M. & MONTEIRO, A. M. F. 1979. Upper Quaternary "rampas". Rio Doce valley, Southeastern Brazilian Plateau. **Zeitschr. Für Geomorph.** 23: 132-151.
- NYGAARD, G. 1991. Seasonal periodicity of planktonic desmids in oligotrophic lake Grane Langsø, Denmark. **Hydrobiologia** 211: 195-226.
- ODUM, E. P. 1988. **Fundamentos de ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 927 p.

- PADISÁK, J. 1997. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 107. **Monographic Studies** 4: 563-593.
- POLLINGHER, U. 1988. Freshwater armored dinoflagellates: growth, reproduction strategies, and population dynamics. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 134-174.
- PONTES, M. C. F. 1980. **Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago Dom Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce – MG**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 293 p. Dissertação (Mestrado).
- REYNOLDS, C. S. 1997. On the vertical distribution of phytoplankton in the middle Rio Doce Vale lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 227-241.
- ROS, J. 1979. **Práctica de ecología**. Barcelona: Ed. Omega. 181 p.
- SALAS, H. J. & MARTINO, P. 1988. **Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales**. Organización Mundial de la Salud / Organización Pan-Americana de la Salud – OPS / Centro Pan-Americano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS: 51p.
- SIF. 1990. **Plano diretor do Parque Florestal Estadual do Rio Doce**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais/Instituto Estadual de Florestas – MG. 99 p.
- SOMMER, U. 1988. Growth and survival strategies of planktonic diatoms. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 227-260.
- STATSOFT, INC., 2000. **Statistica for Windows** (Computer Program Manual). Tulsa, Statsoft, Inc.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G. & KUTNER, M. B. 1965. Plankton studies in a mangrove. II: The standing-stock and some ecological factors. **Boletim do Instituto Oceanográfico** 24: 23-41.
- TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 513p.

- TUNDISI, J. G. & MUSARRA, M. L. 1986. Morphometry of four lakes in the Rio Doce Valley Lakes system and its relationships with primary production of phytoplankton. **Revista Brasileira de Biologia** 46(1): 159-171.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen** 9: 1-38.
- WILLÉN, E. 1991. Planktonic diatoms – an ecological review. **Algological Studies** 62: 69-106.
- WILLÉN, E. 1992. Planktonic green algae in an acidification gradient of nutrient-poor lakes. **Arch. Protistenkd.** 141: 47-64.

## **CAPÍTULO IV**

Estudo da  
Comunidade  
Fitoplanctônica  
do Lago Carvão com  
Azeite,  
Vale do Rio Doce,  
Minas Gerais

## **RESUMO**

A variação sazonal e espacial (horizontal e vertical) e a estrutura da comunidade fitoplanctônica foram avaliadas durante três períodos de amostragem realizadas no lago Carvão, um localizado Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais. O total de dezoito variáveis físicas e químicas e a comunidade fitoplanctônica foram analisadas em duas estações de coleta. O fitoplâncton esteve principalmente representado pelos grupos taxonômicos Chlorophyceae, Cyanophyceae e Euglenophyceae. No período isotérmico a contribuição relativa dos grupos foi semelhante aos 0,0m e 5,0m de profundidade, com maior contribuição de Chlorophyceae aos 10,0m. No período estratificado, a classe Cyanophyceae foi dominante no metalímnio. Verificou-se que maiores densidades algais ocorreram na região limnética em todas as amostragens. A diversidade fitoplanctônica foi maior na estação limnética durante o período isotérmico e maior na estação litorânea durante o período de estratificação. Porém, a diversidade foi maior nas camadas superiores e menor no fundo da coluna d'água, independente da época de coleta. Os resultados permitiram concluir que a principal função de força, em relação ao fitoplâncton, é resultante das características físicas e químicas do ambiente, seguida do fator climático. O lago Carvão com Azeite foi classificado como distrófico em estágio avançado de sucessão hidrárquica, levando-se em consideração a composição, densidade e diversidade da comunidade fitoplanctônica.

## **ABSTRACT**

Seasonal and spatial variation (horizontal and vertical) and the structure of the phytoplanktonic community were evaluated during three periods samplings performed in Lake Carvão com Azeite, located at Rio Doce Valley, Minas Gerais State, Brazil. A total of eighteen variables, including physical, chemical and biological (phytoplankton) data, were sampled in two sampling stations. The phytoplankton was represented mainly by Chlorophyceae, Cyanophyceae and Euglenophyceae classes. During isothermal period the relative contribution of the main groups was similar at 0,0m and 5,0m of depth, with the largest contribution of Chlorophyceae at 10,0m. During the stratified period the Cyanophyceae was dominant in the metalimnion. It was observed that the highest algal densities occurred in the limnetic region during the period of isothermy at the surface layer and smaller densities at the bottom of the water column, independently of the sampling period. The results allowed to conclude that the main forcing function regarding the phytoplankton were the physical and chemical characteristics followed by the climatic factors. Lake Carvão com Azeite was classified as dystrophic, being in an advanced stage of hierarchic succession, considering the species composition, population densities, and diversity of the phytoplanktonic community.

## INTRODUÇÃO

A consideração racional e detalhada da biologia dos lagos começa com o fitoplâncton, pois, por se constituir o maior produtor primário dos lagos, todo o suporte para a comunidade biológica depende em grande parte dessas algas (HUTCHINSON, 1967).

No médio rio Doce, em uma área no planalto sudeste do Brasil, conhecida como “terras baixas interplanálticas do médio rio Doce”, encontram-se, aproximadamente, 150 lagos não conectados com o rio Doce e, de acordo com TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1982), este sistema é um relicto e seu estudo pode proporcionar informações fundamentais à Limnologia.

Com relação ao fitoplâncton os trabalhos existentes estão relacionados à produtividade primária e a alguns problemas como eficiência fotossintética, taxas de assimilação e disponibilidade nutricional (BARBOSA & TUNDISI, 1980; PONTES, 1980; BARBOSA, 1981; MITAMURA *et al.*, 1997a, 1997b; NAKAMOTO & HINO, 1997; TUNDISI *et al.* 1997b, 1997c), a processos de enriquecimento artificial (HENRY *et al.*, 1997 e IBAÑEZ *et al.*, 1997) e à abundância, distribuição e caracterização de pigmentos fotossintetizantes (BARBOSA, 1979; PONTES, 1980; ALEIXO, 1981).

Estudos sobre a composição, diversidade e variações temporal e espacial da comunidade fitoplanctônica, são ainda escassas e fragmentadas, restringindo-se somente aos trabalhos de HINO *et al.* (1986), PONTES (1980), REYNOLDS *et al.* (1983) e

REYNOLDS (1997). Os trabalhos de MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI (1995), TUNDISI *et al.* (1997a; 1997b) apresentaram enfoque menos detalhado dessa comunidade, nas quais esta foi classificada apenas em nível genérico.

Devido à importância do conhecimento do fitoplâncton e à escassez de informações para os lagos do Vale do Rio Doce, os objetivos do presente estudo são:

- caracterizar a comunidade fitoplanctônica no lago Carvão com Azeite através do estudo taxonômico e levantamento quantitativo;
- verificar se há variação temporal da comunidade fitoplanctônica entre os períodos amostrados e qual o efeito das mudanças ambientais sobre o fitoplâncton, uma vez que o regime climático é o principal vetor que determina a estratificação e, possivelmente também, a variação na composição e densidade dessa comunidade;
- analisar se há variação espacial (horizontal e vertical) da comunidade fitoplanctônica nos períodos avaliados, procurando estabelecer quais são os fatores relacionados a essa variabilidade.

O presente trabalho visa ainda fornecer informações e subsídios para estudos futuros em lagos naturais.

## ÁREA DE ESTUDO

O sistema de lagos do Vale do Rio Doce situa-se na grande área fisiográfica denominada “depressão Interplanáltica do rio Doce”, confinada entre as elevações correspondentes ao planalto do reverso da serra do Mar, com uma altitude média de 300m e localizada sobre um embasamento de gnaisses variados, micaxistos, quartzitos e granitos, que afloram nas elevações do planalto circundante à depressão do médio rio Doce (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

O Vale do Rio Doce é ocupado por, aproximadamente, 150 lagos permanentes em diferentes estágios de eutrofização natural (TUNDISI, 1994), que foram formados no Quaternário, durante o Pleistoceno Superior, devido a um processo de represamento provocado por deposição de sedimentos aluviais dos rios Doce e Piracicaba, os quais não tinham correnteza suficiente para carrear estes depósitos (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977; MOUSINHO-DE-MEIS & MONTEIRO, 1979). Segundo GUILHUIS (1986), o clima regional é classificado como Aw, de acordo com o sistema de KÖPPEN, com um período chuvoso no verão (outubro a março) e um seco no inverno. A média anual de precipitação pluviométrica é de 1480mm e a temperatura do ar é de 21,9°C, com máxima de 40°C no verão e mínima de 3°C no inverno.

O lago Carvão com Azeite (19°48'45''–19°52'30''S e 42°37'30''–42°33'45''W) está situado fora dos limites do Parque Florestal Estadual do Rio Doce. É um lago que apresenta estratificação, porém o metalímnio é menos definido (TUNDISI *et al.*, 1997b).

## MATERIAIS & MÉTODOS

As coletas foram realizadas em junho e agosto de 1999 e fevereiro de 2000, em duas estações de amostragem, uma na região litorânea (E1) e uma região limnética (E2) (Tab. 1). Para a caracterização da distribuição espacial horizontal foram retiradas amostras integradas de toda a coluna d'água e, para a distribuição vertical das populações, as amostragens foram feitas no corpo central do lago (E2), a cada 5,0m de profundidade (Fig. 1).

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite.

Coleta	Data
Coleta 1 (C1)	15/06/1999
Coleta 2 (C2)	12/08/1999
Coleta 4 (C4)	18/05/2000

Algumas variáveis abióticas, como temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram registrados *in situ* com o auxílio do multisensor Horiba, modelo U-10 e, para a determinação da transparência da água, foi usado um disco de Secchi. As análises laboratoriais foram realizadas para a determinação da concentração de nutrientes na água (nitrito, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo inorgânico, fósforo total dissolvido, fósforo total e ortossilicato), segundo os procedimentos

descritos em MACKERETH *et al.* (1978) e para a quantificação do material em suspensão, segundo TEIXEIRA *et al.* (1965). Foram estimadas ainda, a extensão da zona eufótica (Zeu), seguindo a fórmula de COLE (1994), a razão nitrogênio/fósforo (NT/PT) e o índice de estado trófico de acordo com SALAS & MARTINO (1988).

As coletas para análise qualitativa do fitoplâncton foram realizadas através de arrastos verticais com rede de plâncton com 20 $\mu$ m de abertura de malha e foram preservadas com solução de formol 4%. A identificação das algas foi realizada em um microscópio binocular da marca Zeiss, modelo Axioscop, sob aumentos de até 2560 vezes. Para a análise quantitativa do fitoplâncton as coletas foram realizadas com bomba de sucção (sem filtragem) e as amostras (150ml) foram acondicionadas em frascos de vidro e preservadas com solução de lugol acético a 0,5% e mantidas no escuro. A quantificação das populações algais foi realizada segundo o método descrito por UTERMÖHL (1958) e feita através de um microscópio invertido da marca Zeiss, em aumento de 400 vezes. O tempo de sedimentação foi de três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983). O limite de contagem foi estabelecido pelo método da saturação taxonômica, conforme o procedimento descrito em BICUDO (1990). As quantificações foram expressas tanto em termos das espécies raras como das dominantes, segundo os critérios propostos por LOBO & LEIGHTON (1986), modificados de acordo com os dados obtidos neste trabalho<sup>4</sup>. A fórmula para o cálculo da densidade seguiu aquela apresentada por ROS (1979).

Com os dados obtidos na análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica, foram estimados o índice de diversidade de SHANNON-WIENER ( $H'$ ), o índice de uniformidade ou equitabilidade de PIELOU ( $J$ ), o índice de dominância de SIMPSON ( $D$ ) e a riqueza específica ( $R$ ), conforme MAGURRAN (1988) e ODUM (1988).

Para melhor compreensão dos dados relativos à comunidade fitoplanctônica, foram aplicados dois grupos de análise estatística: o primeiro para os dados quantitativos de distribuição horizontal e o segundo somente para os dados de distribuição vertical. Para ambos foi aplicada a Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA), usando a Distância Euclidiana como fator de ligação (MANLY,

---

<sup>4</sup> De acordo com o proposto por LOBO & LEIGHTON (1986), espécies constantes possuem freqüência de ocorrência ( $F$ ) maior que 50%, espécies comuns possuem  $F$  maior que 10% e menor que 50% e espécies raras possuem  $F$  menor que 10%. No entanto, neste trabalho, foram considerados raros os táxons ocorrentes apenas em uma amostra, correspondendo, assim, a 16,7% e 12,5% das amostras referentes à distribuição horizontal e vertical, respectivamente.

1986). Todos os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa “Statistica for Windows – Versão 5.5” (STATSOFT, INC.,2000), licenciado para a Universidade Federal de São Carlos.

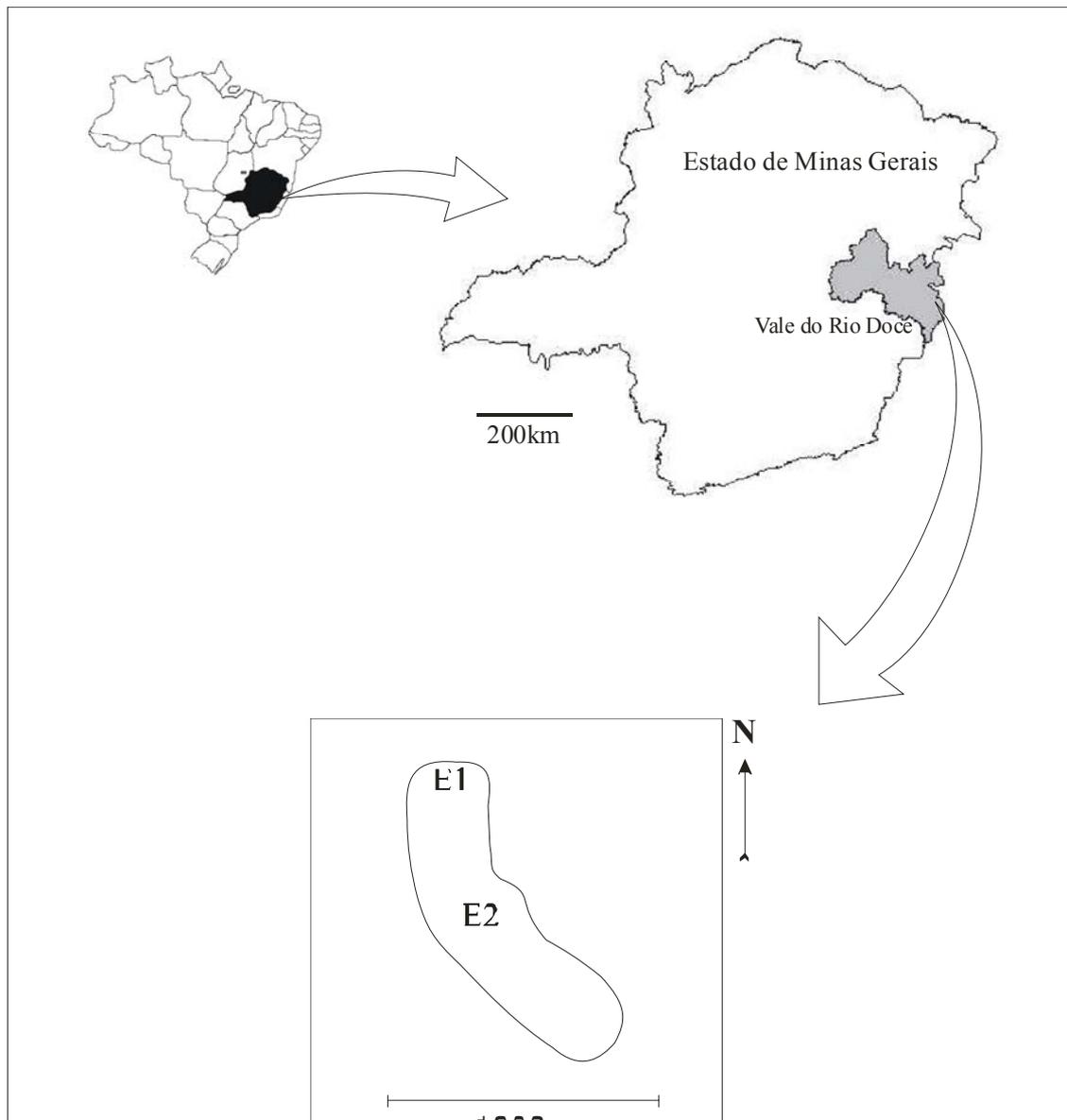


Figura 1 - Localização do lago Carvão com Azeite no estado de Minas Gerais (Brasil) e das estações de amostragem E1 e E2.

## **RESULTADOS**

Os valores médios, máximos, mínimos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas do lago Carvão com Azeite obtidos no período em estudo constam na Tabela 2. A maior profundidade registrada na região limnética do lago foi em agosto de 1999, porém maiores transparência e extensão da zona eufótica foram observadas em maio de 2000 (Tab. 3). As concentrações de ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ) estiveram abaixo do nível de detecção do método nas amostragens de junho e agosto de 1999. Em maio de 2000, este nutriente variou de 10,04 a 14,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Os maiores valores de temperatura foram registrados em maio de 2000. Observou-se estratificação térmica em maio de 2000, com a formação de uma camada metalimnética pouco pronunciada na faixa de 1,5 a 4,5m de profundidade. Observou-se que o lago apresentou baixa oxigenação em todo o período amostrado. A anoxia ocorreu a partir de 1,5m de profundidade. O lago apresentou pH ácido, sempre abaixo de 6,0. Valores de 4,65 foram observados no fundo da estação E2 (10,5m) em agosto de 1999 e as concentrações de nitrogênio e fósforo totais indicaram a limitação por fósforo em junho e agosto de 1999; em agosto, as razões NT/PT estiveram dentro da faixa considerada ideal (sem limitação por N ou P).

As análises quantitativas da comunidade, referentes à amostragem espacial no eixo horizontal indicaram que a comunidade fitoplanctônica esteve composta por 68

táxons: 16 Chlorophyceae, 9 Conjugatophyceae, 13 Cyanophyceae, 21 fitoflagelados e 9 Bacillariophyceae. Os organismos não identificados, presentes nas contagens foram considerados como “outros” e não inclusos nos cálculos de biodiversidade e análises estatísticas.

A comunidade como um todo apresentou maiores densidades durante junho de 1999 e menores em agosto de 1999 (Fig 2) e esteve principalmente composta por fitoflagelados, classe Chlorophyceae e classe Cyanophyceae. Em junho de 1999, houve uma densidade maior de Bacillariophyceae que nas demais amostragens. (Figs. 3 e 4). Dentre os fitoflagelados, Euglenophyceae foi o grupo de maior densidade. A variação espacial e temporal de cada grupo fitoplanctônico registrada no lago Carvão com Azeite está ilustrada nas Figuras 5 a 7.

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo total dissolvido, fósforo total, ortossilicato, matéria inorgânica e matéria orgânica em suspensão) da razão nitrogênio/fósforo e do índice de estado trófico observados no lago Carvão com Azeite durante as quatro coletas realizadas.

Variável	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
pH	5,16	5,34	5,52	0,13	0,05
Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	31,17	38,87	54,83	12,82	5,23
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	19,96	21,32	23,36	1,32	0,54
Oxigênio Dissolvido – OD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0,06	0,59	2,02	0,73	0,30
Nitrito - $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	1,82	3,67	11,14	3,69	1,51
Nitrato – $\text{NO}_3$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	4,42	8,76	13,86	3,55	1,45
Amônio – $\text{NH}_4$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	19,76	67,95	96,72	30,89	12,61
Nitrogênio Total – NT ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	382,58	462,42	567,88	69,55	28,39
Fósforo Total Dissolvido – PTD ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	4,49	8,22	14,32	3,93	1,60
Fósforo Total - PT ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	15,96	19,59	25,53	3,59	1,47
Ortossilicato – $\text{Si}(\text{OH})_4$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	2,28	3,26	4,27	1,00	0,41
Matéria Inorgânica em Suspensão – MI ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0,33	2,91	6,83	2,96	1,21
Matéria Orgânica em Suspensão – MO ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	3,00	5,43	7,17	1,46	0,59
NT/PT	14,98	24,68	33,95	7,51	3,07
IET	44,12	46,88	50,89	2,55	1,04

Tabela 3 – Profundidade máxima, transparência da água e extensão da zona eufótica (m) obtidas na estação E2 nas três coletas realizadas no lago Carvão com Azeite.

	Junho de 1999	Agosto de 1999	Mai de 2000
<b>Profundidade Máxima (m)</b>	7,50	10,50	9,50
<b>Transparência (m)</b>	0,15	0,25	1,20
<b>Zona Eufótica (m)</b>	0,45	0,75	3,60

Dos 68 táxons registrados no lago Carvão com Azeite, 8 foram considerados constantes (ocorreram em mais de 50% das amostras analisadas), 13 comuns (ocorreram em mais de 16,7% e menos de 50% das amostras) e 47 raros (ocorreram em 16,7% das amostras). Não houve espécies dominantes e 20 foram abundantes, em pelo menos uma estação de amostragem de uma coleta (Tab. 4). Os táxons considerados de maior importância quantitativa nas amostras de distribuição horizontal, considerando a abundância e frequência de ocorrência e a abundância foram: *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Planktolyngbya* cf. *limnetica*, *Woskyella* sp., *Chlorella* sp., *Choricystis* sp., *Trachelomonas volvocina*, *T. volvocinopsis* e *Cryptomonas* sp. (Figs. 8 e 9).

Os maiores índices de diversidade foram verificados em junho de 1999 e os menores em agosto de 1999, quando houve os menores valores de equitabilidade e maiores de dominância (Tab. 5).

O dendrograma resultante da análise estatística distinguiu dois agrupamentos: o primeiro formado pela estação E1 e o segundo pela E2, sendo que neste houve maior dissimilaridade entre os meses de coleta (Fig. 10).

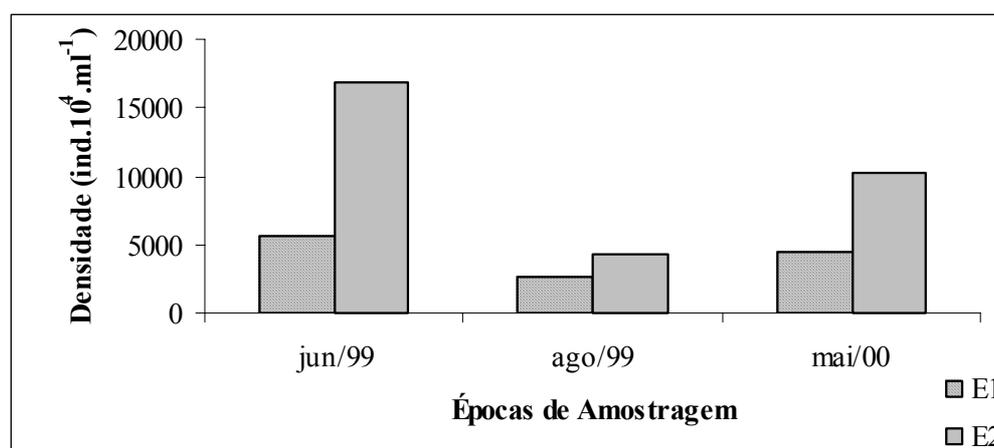
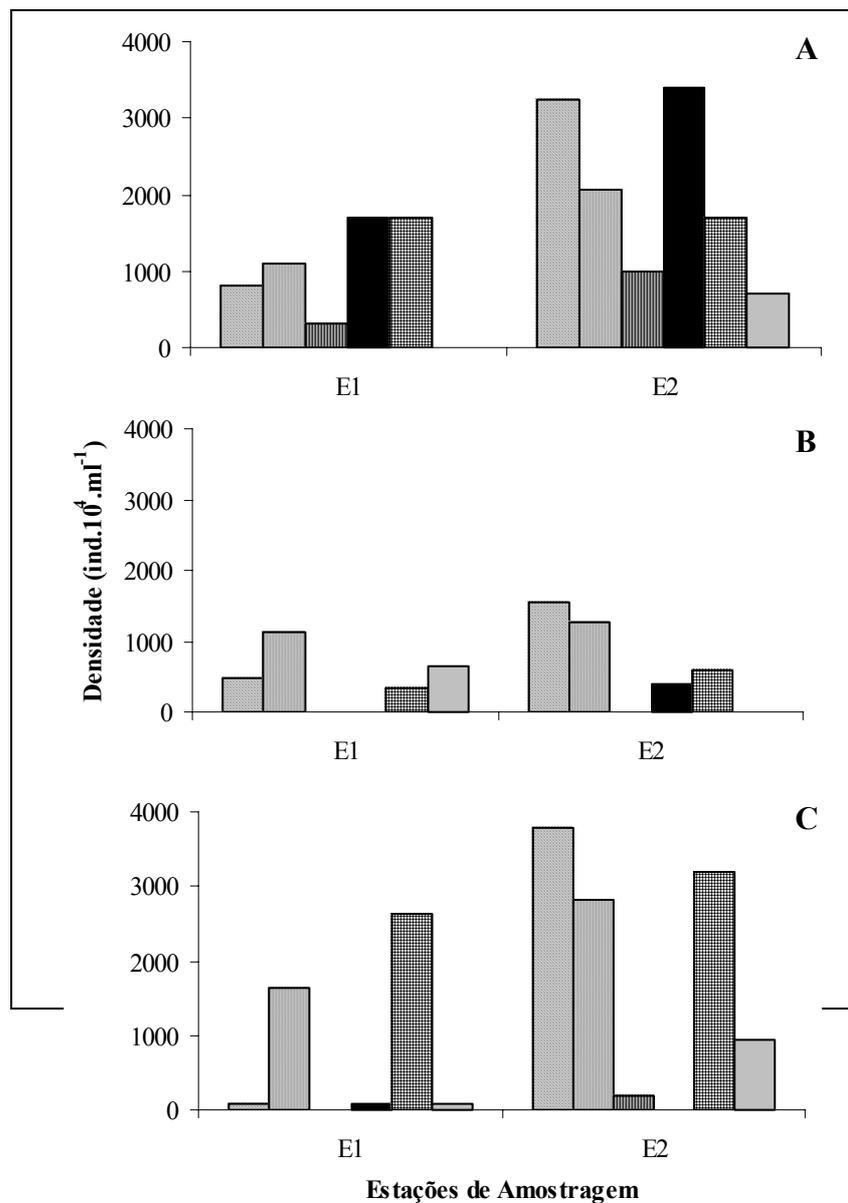


Figura 2 - Variação da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) fitoplanctônica total nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite.



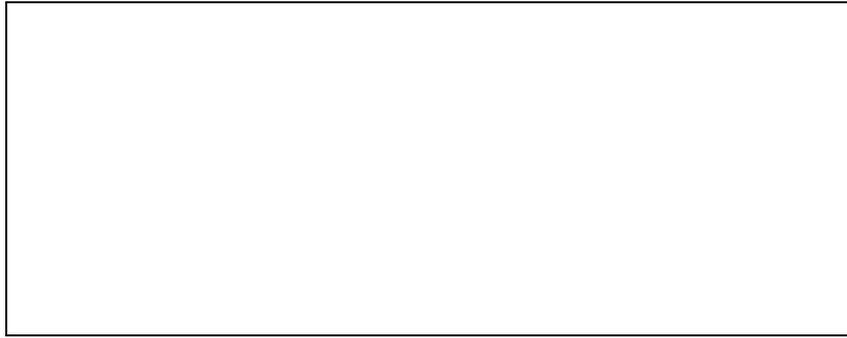
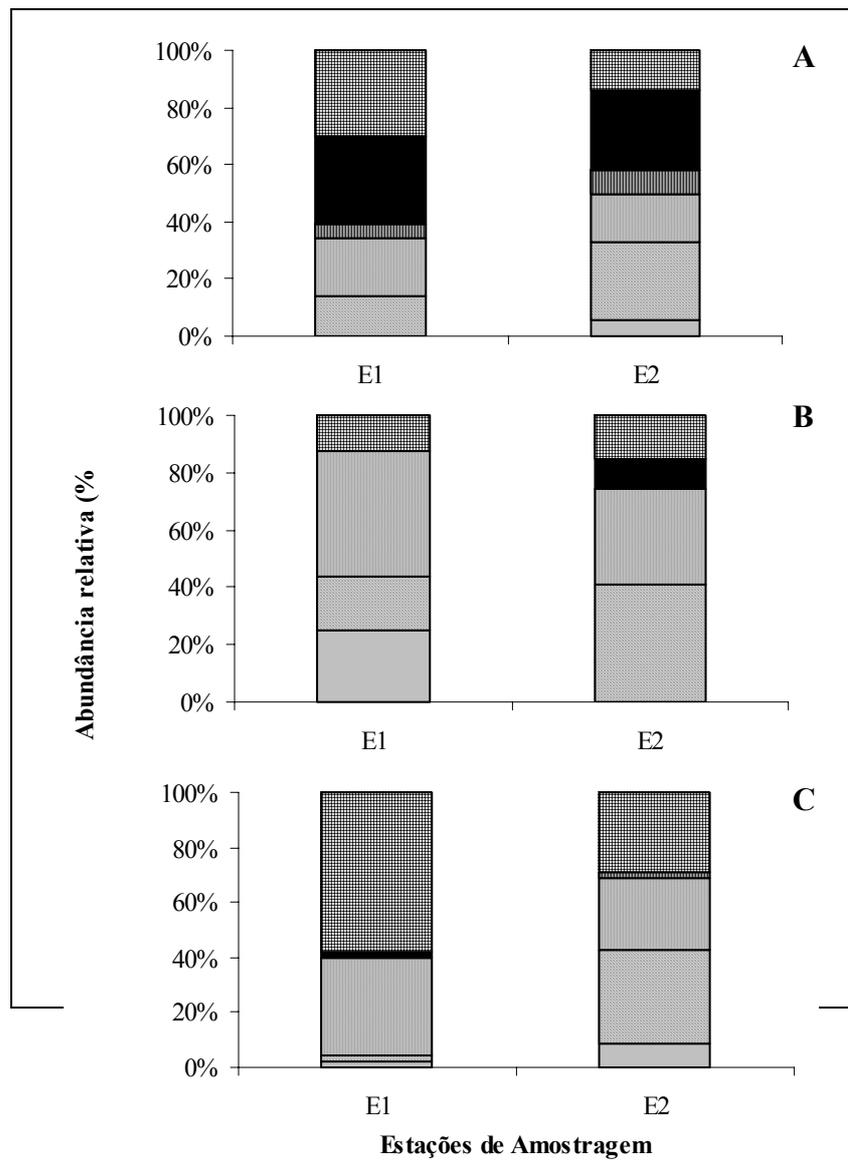


Figura 3 - Variação temporal da densidade dos grupos fitoplanctônicos (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) nas duas estações de coleta do lago Carvão com Azeite, durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C).



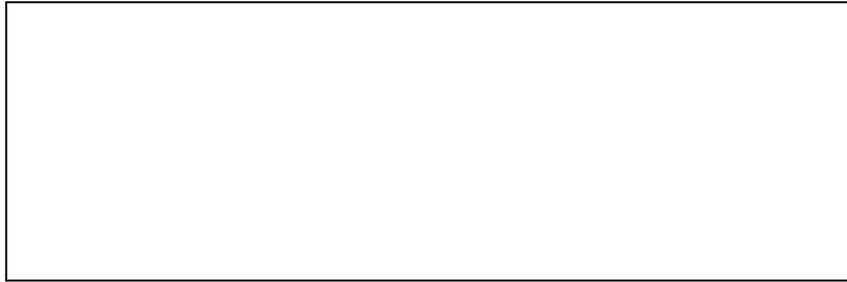


Figura 4 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nas duas estações de coleta do lago Carvão com Azeite, durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C).

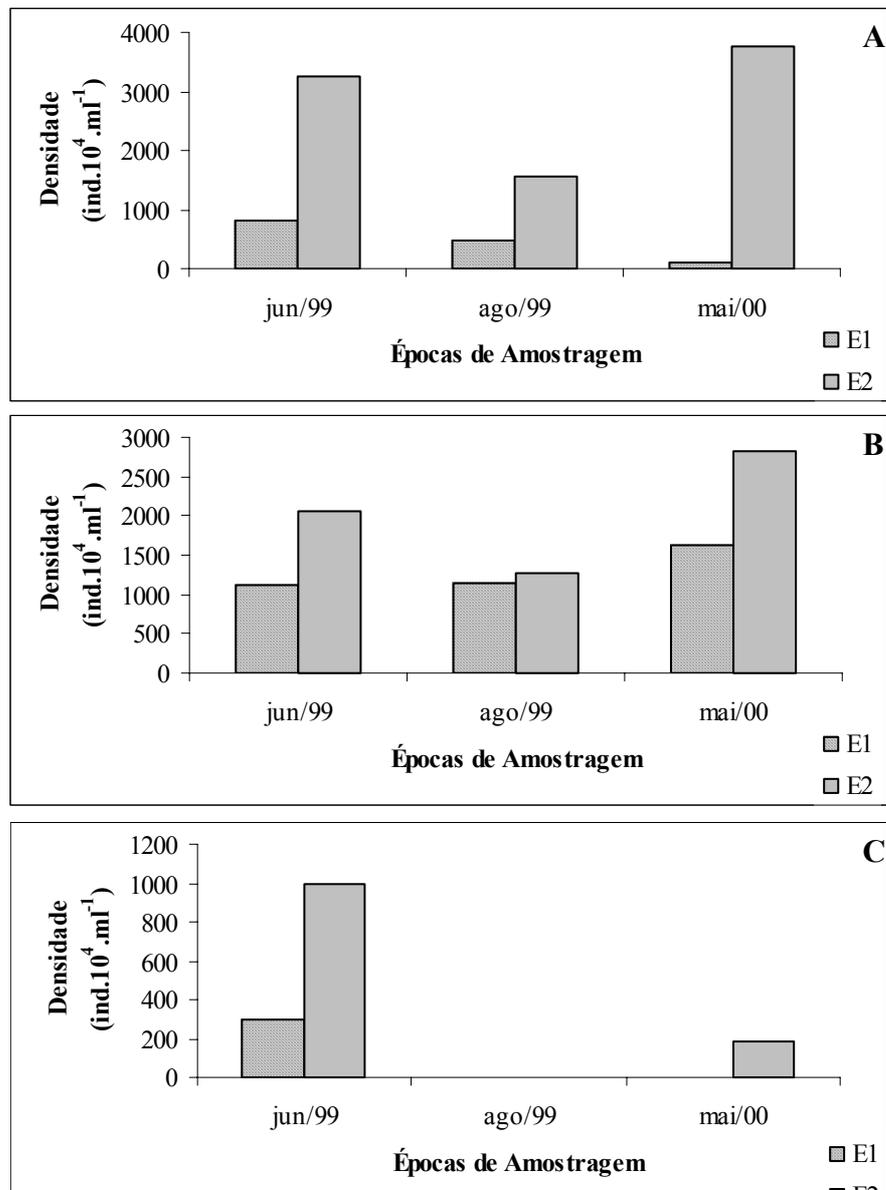


Figura 5 - Variação da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite.

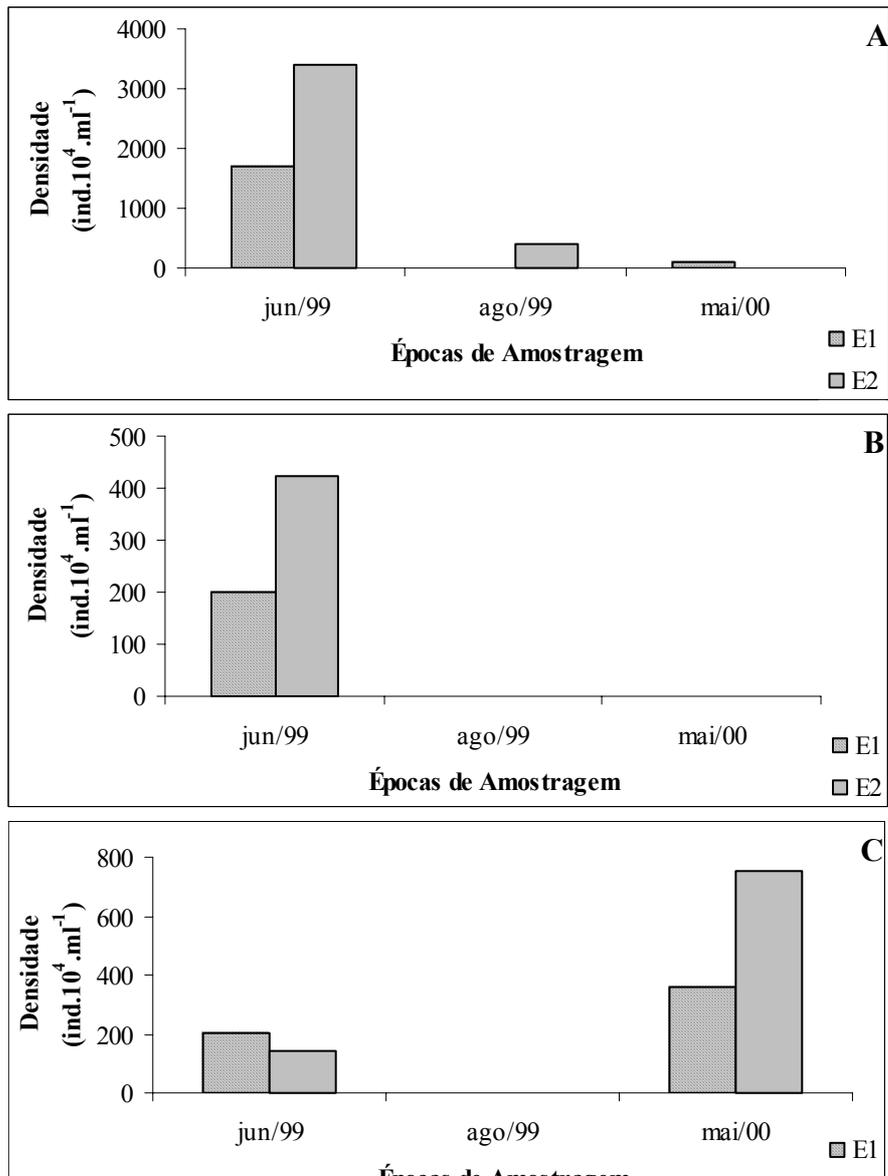


Figura 6 - Variação da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Bacillariophyceae (A), Chrysophyceae (B) e Cryptophyceae (C) nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite.

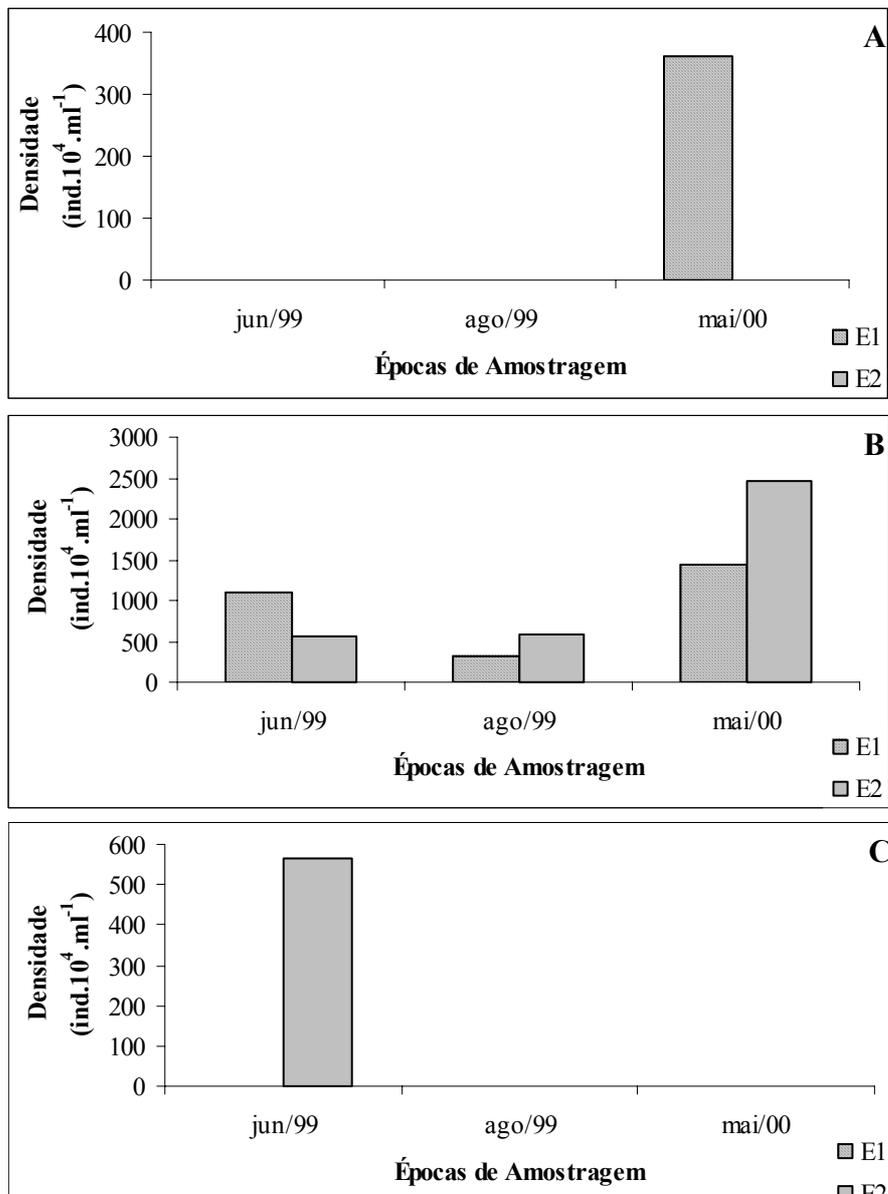


Figura 7 - Variação da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) das classes Dinophyceae (A), Euglenophyceae (B) e da ordem Volvocales (C) nas duas estações e três épocas de amostragem do lago Carvão com Azeite.

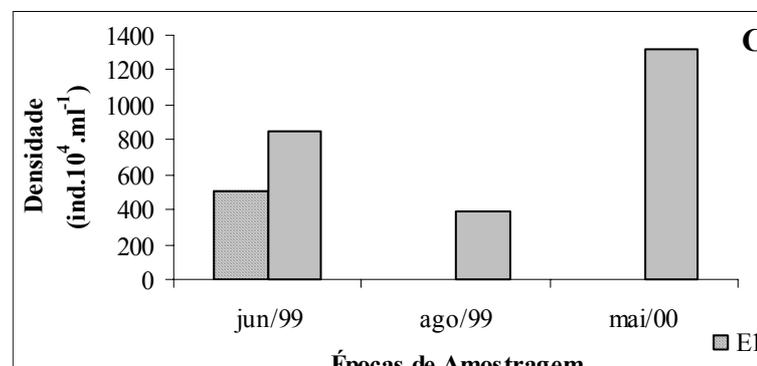
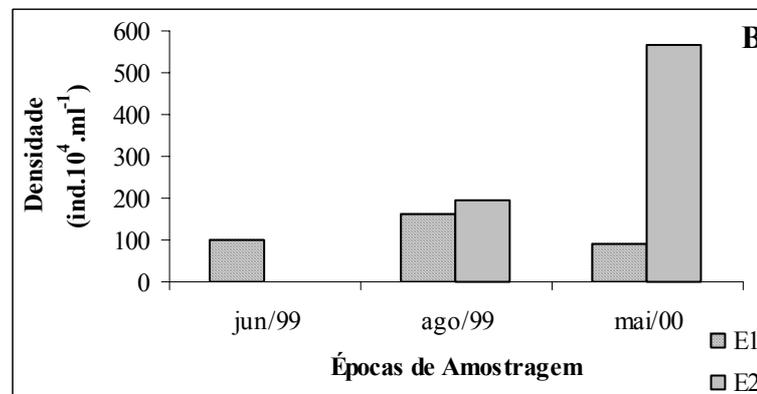
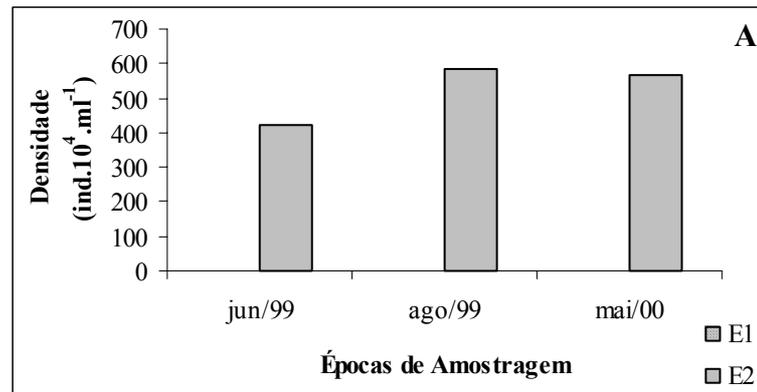


Figura 8 - Variação espacial da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) de *Cylindrospermopsis raciborskii* (A), *Planktolyngbya cf. limnetica* (B), *Woskyella* sp. (C) e *Chlorella* sp. (D) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

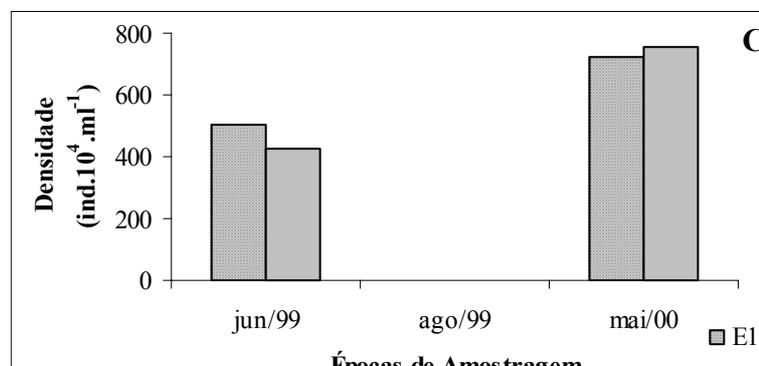
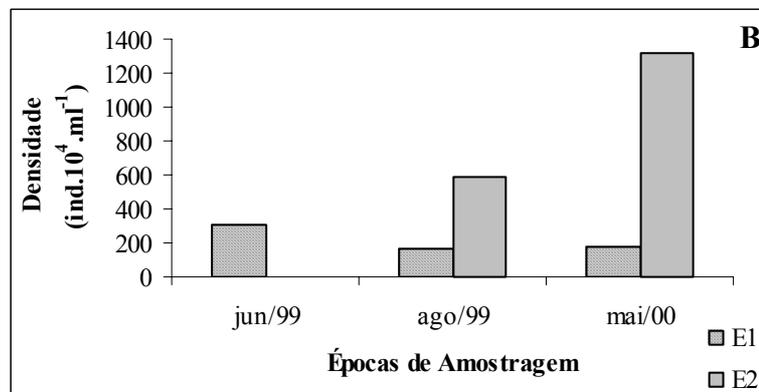
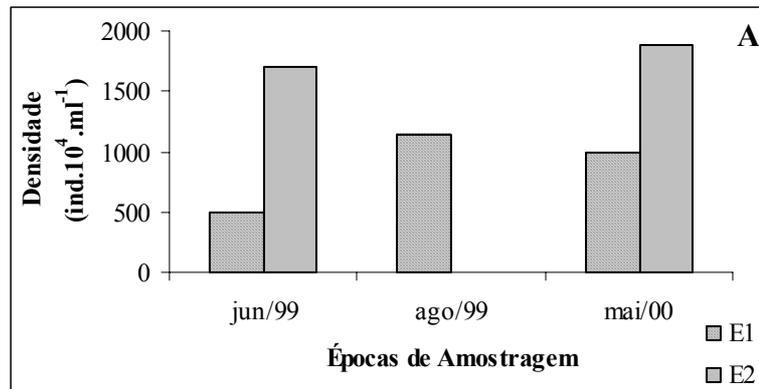


Figura 9 - Variação espacial da densidade (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) de *Choricystis* sp. (A), *Trachelomonas volvocina* (B) e *T. volvocinopsis* (C) e *Cryptomonas* sp.(D) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

Tabela 4 - Frequência de ocorrência (%) dos táxons registrados nas amostras quantitativas, referentes à distribuição horizontal e vertical, do lago Carvão com Azeite (Ct: constantes; C: comuns; R: raros; <sup>A</sup>: abundantes; <sup>D</sup>: dominantes).

Táxons	Frequência de Ocorrência (%)	
	Distribuição Horizontal	Distribuição Vertical
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Chlorella</i> sp.	50,0% - Ct <sup>A</sup>	50,0% -Ct <sup>A</sup>
<i>Chlorococcum</i> sp.	33,3% - C <sup>A</sup>	37,5% - C
<i>Choricystis</i> sp.	100% - Ct <sup>A</sup>	100% -Ct <sup>D</sup>
<i>Closteriopsis</i> sp.	---	12,5% - R
<i>Dictyosphaerium ehrenberginum</i> Näg.	16,7% - R <sup>A</sup>	---
<i>Golenkinia</i> cf. <i>radiata</i> Chodat	16,7% - R	---
<i>Keratococcus</i> sp.	33,3% - C	---
<i>Kirchneriella</i> sp.	16,7% - R	---
<i>Monoraphidium</i> cf. <i>circinale</i> (Nyg.) Nyg.	16,7% - R	---
<i>M. contortum</i> (Thuret) Kom.-Legn.	16,7% - R	---
<i>M. nanum</i> (Ettl) Hind.	16,7% - R	12,5% - R
<i>Monoraphidium</i> sp.	16,7% - R	---
<i>Oedogonium</i> sp.	33,3% - C <sup>A</sup>	---
<i>Oocystis</i> sp.	16,7% - R	---
Chlorococcales 1	16,7% - R <sup>A</sup>	---
Chlorophyceae 1	16,7% - R	---
Chlorophyceae 2	16,7% - R	---
<b>Conjugatophyceae</b>		
<i>Closterium kützingii</i> Bréb.	16,7% - R	---
<i>Closterium</i> sp.1	16,7% - R	---
<i>Closterium</i> sp. 2	16,7% - R	---
<i>C. ocellatum</i> Eich. & Gutw.	16,7% - R	---
<i>C. pygmeum</i> Arch. var. <i>perornatum</i> Skuja	---	12,5% - R
<i>Cosmarium quadrum</i> Lund.	16,7% - R	---
<i>Cosmarium</i> sp.	---	12,5% - R
<i>Staurastrum disputatum</i> West & West var. <i>sinense</i> (Lütkem.) West & West	16,7% - R	---
<i>S. margaritaceum</i> (Ehr.) Ralfs	16,7% - R <sup>A</sup>	---

<i>S. smithii</i> (G. M. Smith) Teil.	---	12,5% - R
<i>S. tetracerum</i> (Kütz.) Ralfs	16,7% - R	12,5% - R
<i>Staurastrum</i> sp.	16,7% - R	---
<b>Cyanophyceae</b>		
<i>Aphanocapsa elachista</i> West & West	16,7% - R	12,5% - R
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz.) Näg.	---	12,5% - R
<i>Chroococcus</i> sp.	---	12,5% - R <sup>A</sup>
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Wolosz.) Seen. et Subba Raju	50,0% - Ct <sup>A</sup>	50% - Ct <sup>A</sup>
<i>Limnothrix</i> sp.	33,3% - C	---
<i>Microcystis</i> sp.1	16,7% - R	---
<i>Microcystis</i> sp.2	16,7% - R	---
<i>Oscillatoria</i> sp.	---	12,5% - R
<i>Phormidium</i> cf. <i>Dictyothallum</i> Skuja	33,3% - C	25,0% - C
<i>Planktolyngbya</i> cf. <i>limnetica</i> (Lemm.) Kom.-Legn. & Cronberg	83,3% - Ct	50,0% - Ct <sup>A</sup>
<i>Pseudanabaena</i> cf. <i>galeata</i> Böcher	16,7% - R	12,5% - R
<i>Pseudanabaena</i> sp.1	16,7% - R	---
<i>Pseudanabaena</i> sp.2	16,7% - R	---

Tabela 4 - Continuação

Táxons	Frequência de Ocorrência (%)	
	Distribuição Horizontal	Distribuição Vertical
<i>Schizothrix</i> sp.	16,7% - R	12,5% - R <sup>A</sup>
<i>Woskyella</i> sp.	66,7% - Ct <sup>A</sup>	62,5% - Ct <sup>A</sup>
<i>Chroococcales</i> 1	---	12,5% - R
Oscillatoriales 1	33,3% - C <sup>A</sup>	---
<b>Bacillariophyceae</b>		
<i>Aulacoseira</i> sp.	16,7% - R	12,5% - R
<i>Cymbella</i> sp.1	33,3% - C	---
<i>Cymbella</i> sp.2	16,7% - R	12,5% - R
<i>Eunotia flexuosa</i> Bréb. ex Kütz.	33,3% - C	---
<i>E. rhomboidea</i> Hust.	33,3% - C <sup>A</sup>	---
<i>Eunotia</i> sp.1	16,7% - R <sup>A</sup>	---
<i>Eunotia</i> sp.2	16,7% - R	---
<i>Gomphonema gracile</i> Ehr.	16,7% - R	---
<i>Navicula</i> sp.	---	12,5% - R
<i>Pinnularia</i> sp.	16,7% - R <sup>A</sup>	---
<b>Fitoflagelados</b>		
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Chlamydomonas</i> sp. 1	16,7% - R <sup>A</sup>	25,0% - C
<i>Chlamydomonas</i> sp. 2	16,7% - R	---
<i>Chlamydomonas</i> sp.3	---	12,5% - R
<i>Chlamydomonas</i> sp.4	---	12,5% - R
<b>Chrysophyceae</b>		
<i>Dinobryon</i> sp.	16,7% - R	---
<i>Mallomonas</i> sp.	16,7% - R	---
Chrysophyceae 1	16,7% - R	---
Chrysophyceae 2	16,7% - R	---
<b>Cryptophyceae</b>		
<i>Cryptomonas</i> cf. <i>ovata</i> Ehr.	50% - Ct <sup>A</sup>	25,0% - C
<i>Cryptomonas</i> sp. 1	33,3% - C	12,5% - R
<i>Cryptomonas</i> sp. 2	16,7% - R	---
<i>Cryptomonas</i> sp. 3	16,7% - R	---
<b>Dinophyceae</b>		

<i>Peridinium</i> sp.	16,7% - R	---
<i>Gymnodinium</i> sp.	16,7% - R <sup>A</sup>	---
<b><u>Euglenophyceae</u></b>		
<i>Euglena acus</i> Ehr.	16,7% - R	---
<i>Euglena</i> sp.	16,7% - R	---
<i>Trachelomonas</i> cf. <i>abrupta</i> Swir.	16,7% - R	---
<i>T. cf. bernardinensis</i> Visch. emend. Defl.	33,3% - C	---
<i>T. cf. minúscula</i> Drez.	33,3% - C	---
<i>T. volvocina</i> Ehr.	83,3% - Ct <sup>A</sup>	100% - Ct <sup>A</sup>
<i>T. volvocinopsis</i> Swir.	66,7% - Ct <sup>A</sup>	25,0% - Ct <sup>A</sup>
<i>Trachelomonas</i> sp.1	33,3% - Ct <sup>A</sup>	---
<i>Trachelomonas</i> sp.2	16,7% - R	25,0% - Ct <sup>A</sup>

Tabela 5 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade H' (bits.ind.<sup>-1</sup>) para as duas estações de amostragem durante as três coletas realizadas no lago Carvão com Azeite.

Coleta	Estação	R	J	D	H'
Junho de 1999	E1	20	0,9245	0,0526	3,9957
	E2	33	0,8977	0,0503	4,5286
Agosto de 1999	E1	6	0,7533	0,3182	1,9473
	E2	8	0,8488	0,1842	2,5464
Maio de 2000	E1	18	0,8701	0,0931	3,6281
	E2	13	0,8855	0,1078	3,2769

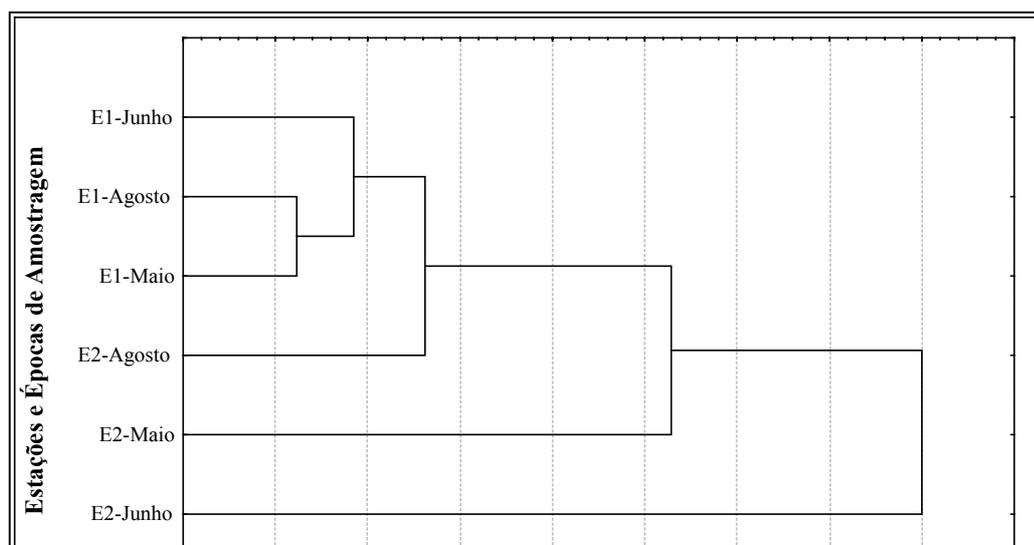


Figura 10 - Ordenação das épocas e estações de amostragem do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons encontrados nas amostras quantitativas de distribuição horizontal.

Com relação à distribuição vertical, as análises quantitativas do fitoplâncton estiveram compostas por 31 táxons: 5 Chlorophyceae, 4 Conjugatophyceae, 11 Cyanophyceae, 8 fitoflagelados e 3 Bacillariophyceae.

Considerando a comunidade como um todo, nas coletas dos meses de junho e agosto de 1999 a distribuição foi homogênea ao longo da coluna d'água, ao passo que em maio de 2000, foram observadas maiores densidades aos 5,0m de profundidade, intermediárias aos 10,0m e menores na superfície (Fig. 11). Nos meses de junho e agosto de 1999, houve maior contribuição de Chlorophyceae, Cyanophyceae e fitoflagelados, porém, em agosto de 1999, aos 10,0m Chlorophyceae representou 88% do fitoplâncton. Em maio de 2000, verificou-se que Cyanophyceae foi dominante aos 5,0m. Os fitoflagelados não apresentaram padrão definido de distribuição vertical. (Figs. 12 e 13). As Figuras 14 e 15 trazem a distribuição vertical e temporal dos diferentes grupos de algas registrados no lago Carvão com Azeite.

Dos 31 táxons registrados, 6 foram considerados constantes (ocorreram em mais de 50% das amostras analisadas), 6 comuns (ocorreram em mais de 12,5% e menos de 50% das amostras) e 19 raros (ocorreram em 12,5% das amostras). Apenas Volvocales 1 foi considerado um táxon dominante na amostra referente aos 10,0m de profundidade em agosto de 1999 e 10 táxons foram abundantes, em pelo menos uma estação de amostragem de uma coleta (Tab. 4). Nas Figuras 16 e 17, estão ilustradas a variação vertical e sazonal dos táxons de maior importância quantitativa (táxons abundantes e constantes): *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Planktolyngbya* cf. *limnetica*, *Woskyella* sp., *Chlorella* sp., *Choricystis* sp. e *Trachelomonas volvocina*.

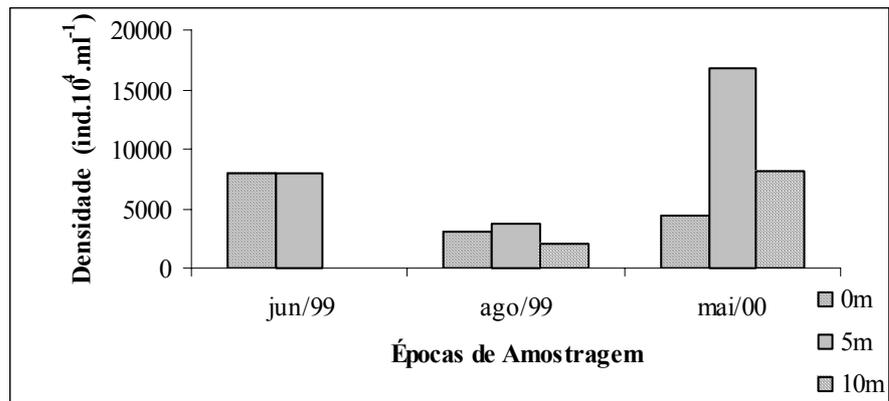
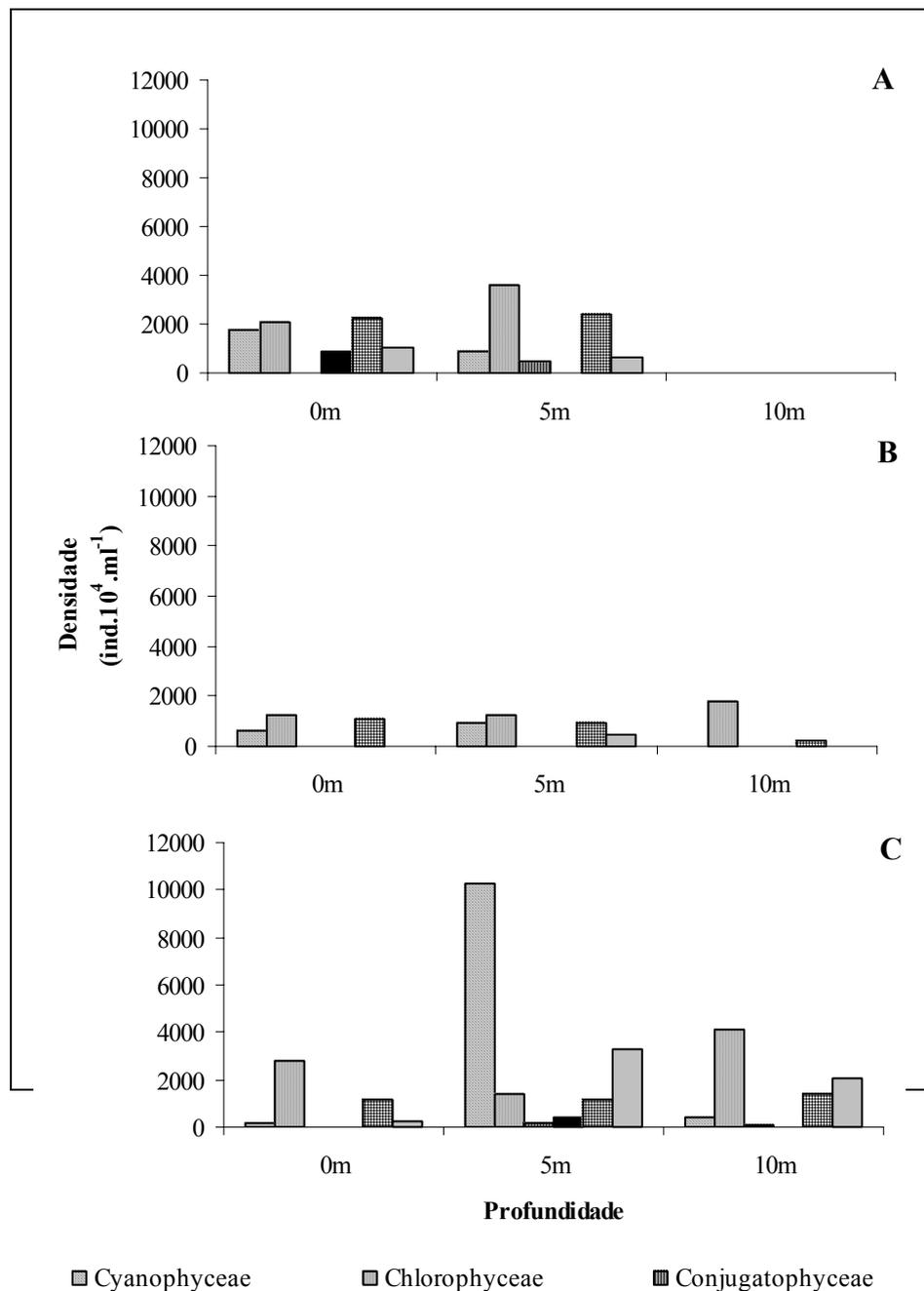


Figura 11 - Variação vertical da densidade fitoplantônica total (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) na estação E2 do lago Carvão com Azeite.



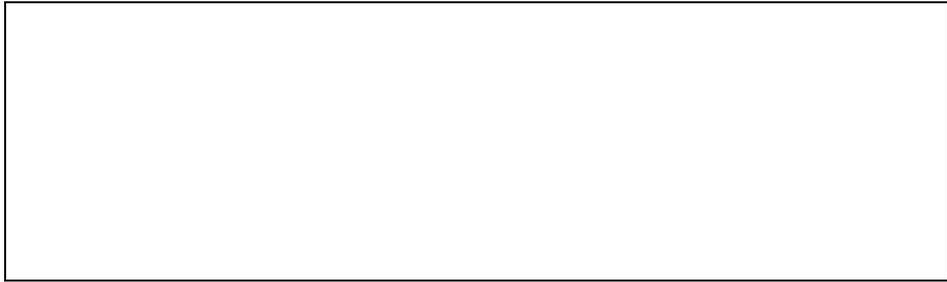
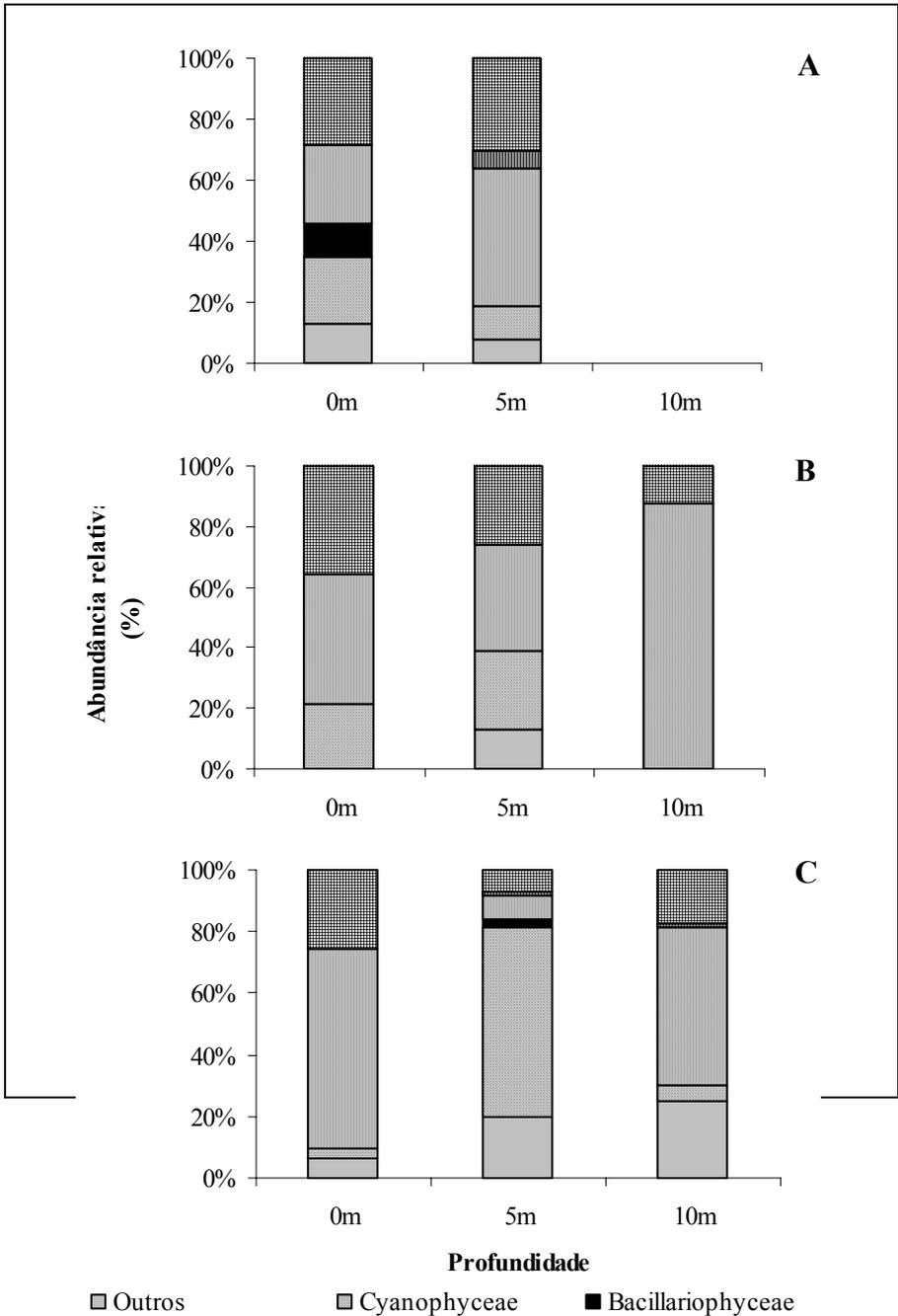


Figura 12 - Variação vertical da densidade dos grupos fitoplanctônicos (ind.104.ml-1) na estação E2 do lago Carvão com Azeite durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C).



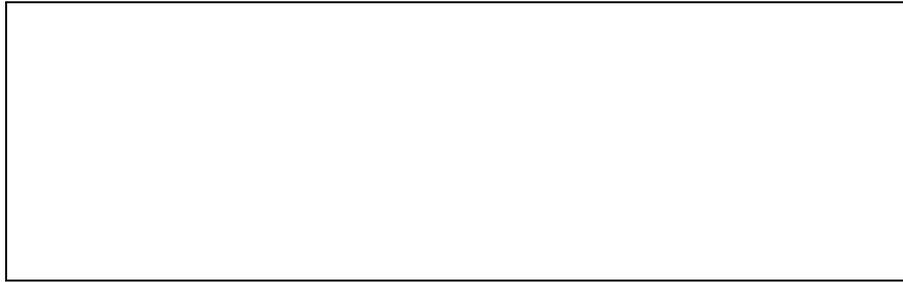


Figura 13 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nas três profundidades analisadas da estação E2 do lago Carvão com Azeite, durante as amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B) e maio de 2000 (C).

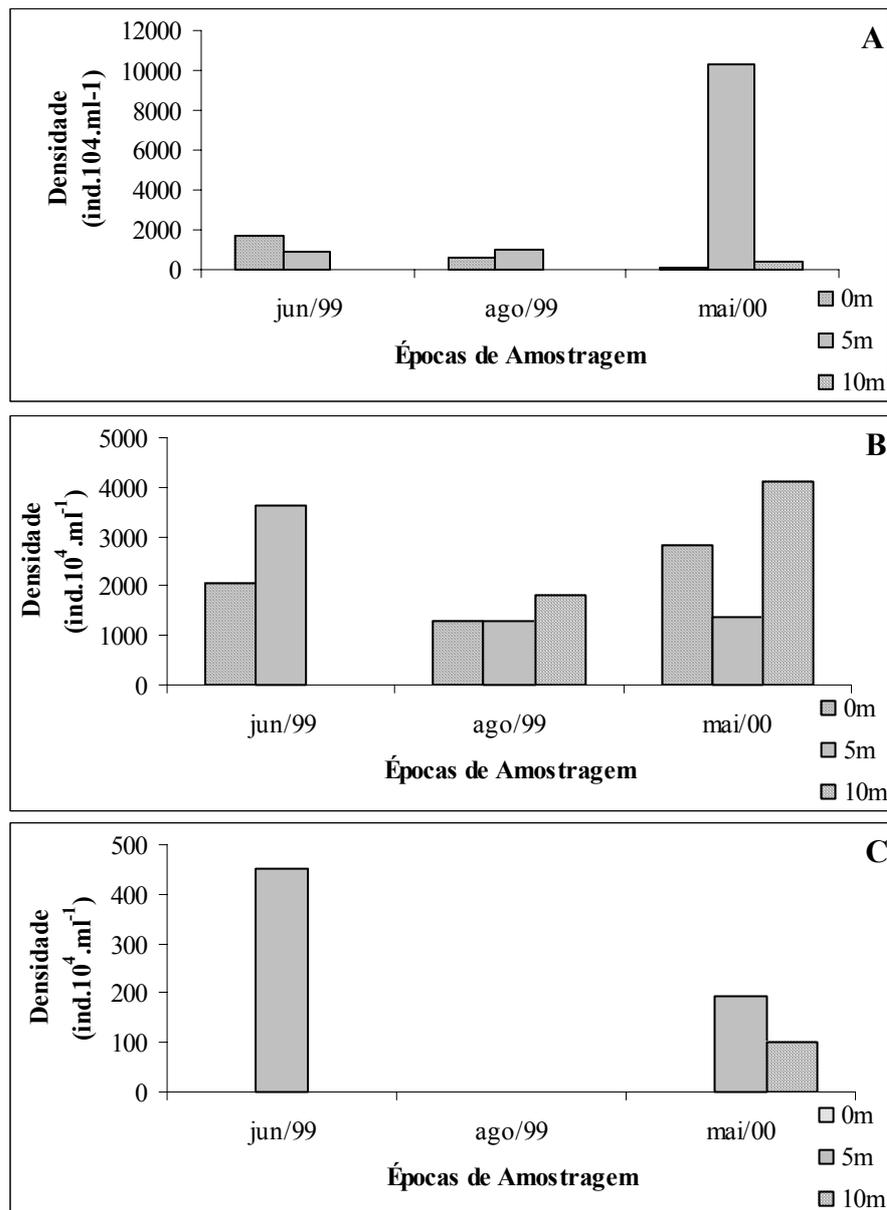


Figura 14 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.}10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae (A), Chlorophyceae (B) e Conjugatophyceae (C) na estação E2 do lago Carvão com Azeite.

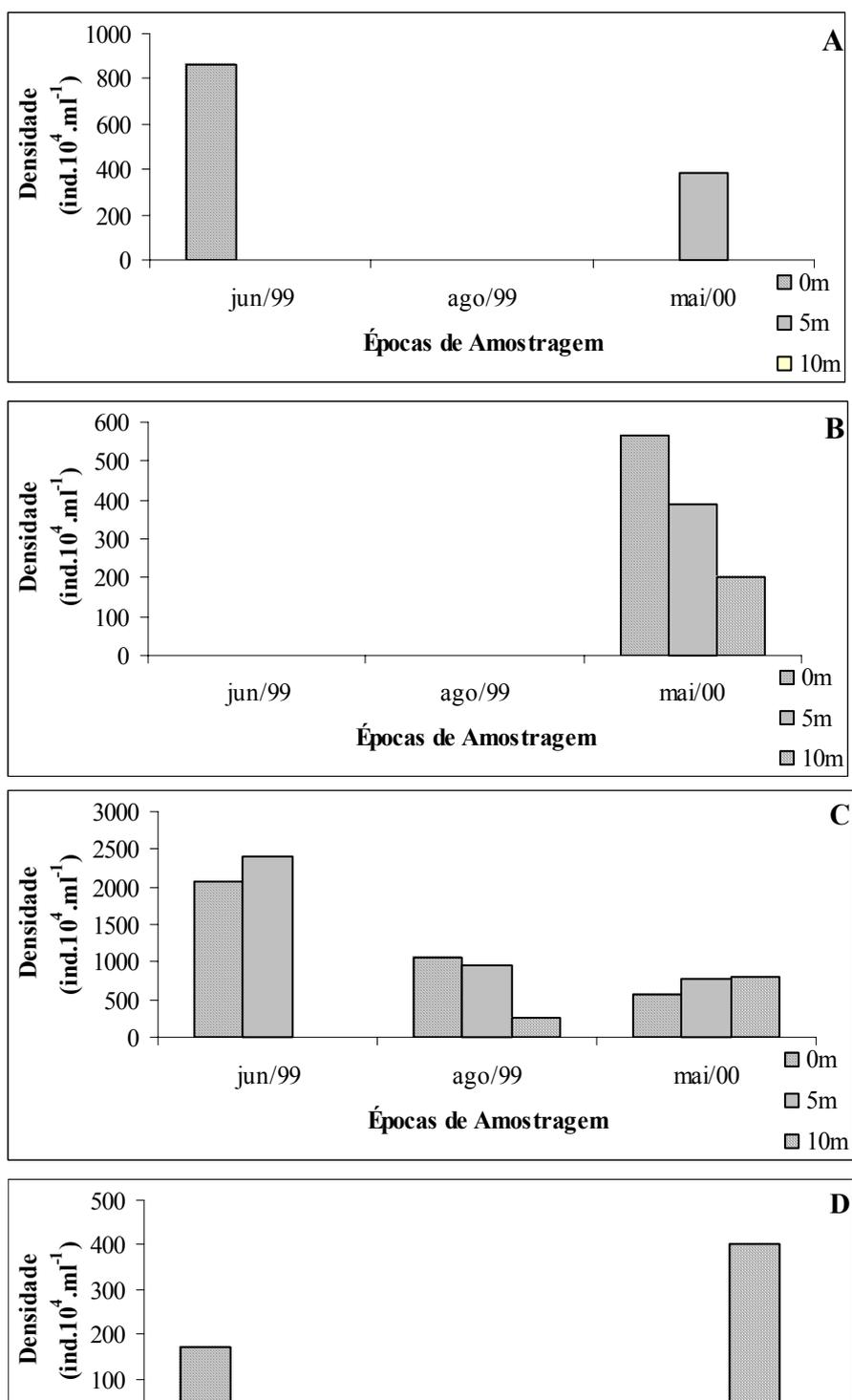


Figura 15 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) das classes Bacillariophyceae (A), Cryptophyceae (B), Euglenophyceae (C) e da ordem Volvocales (D) na estação E2 do lago Carvão com Azeite.

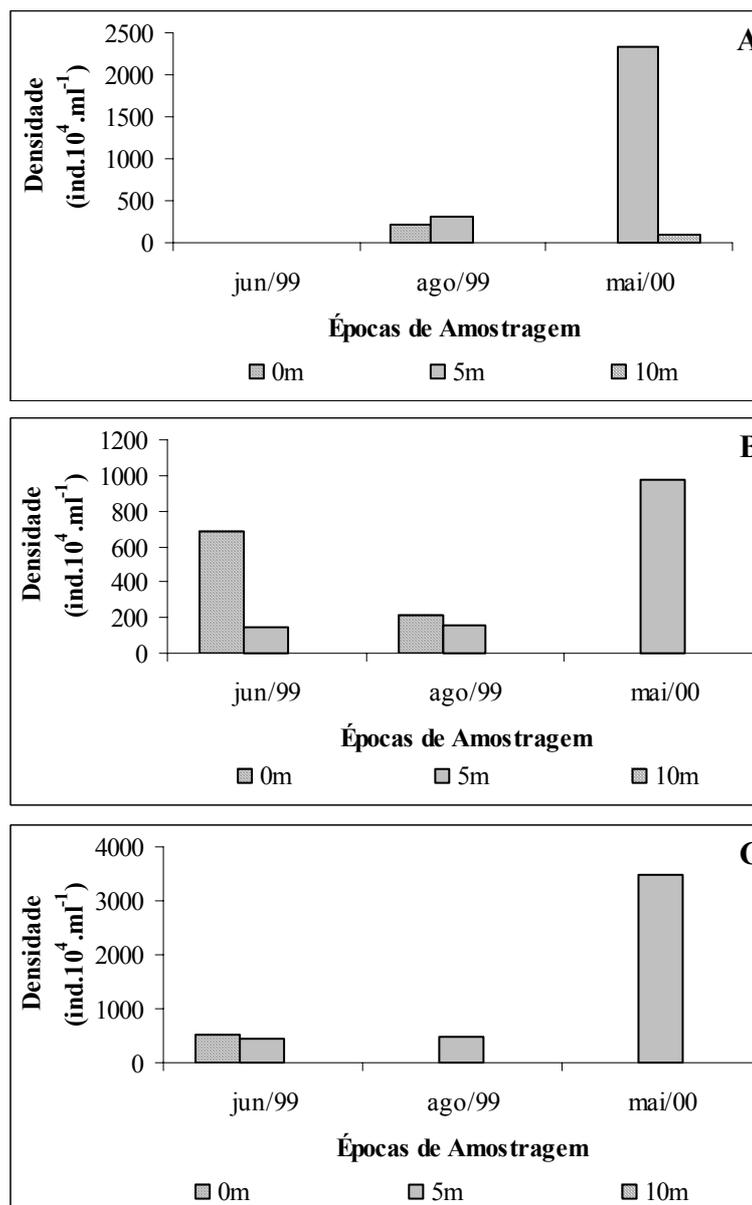


Figura 16 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) de *Cylindrospermopsis raciborskii* (A), *Planktolyngbya* cf. *limnetica* (B) e *Woskyella* sp. (C) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

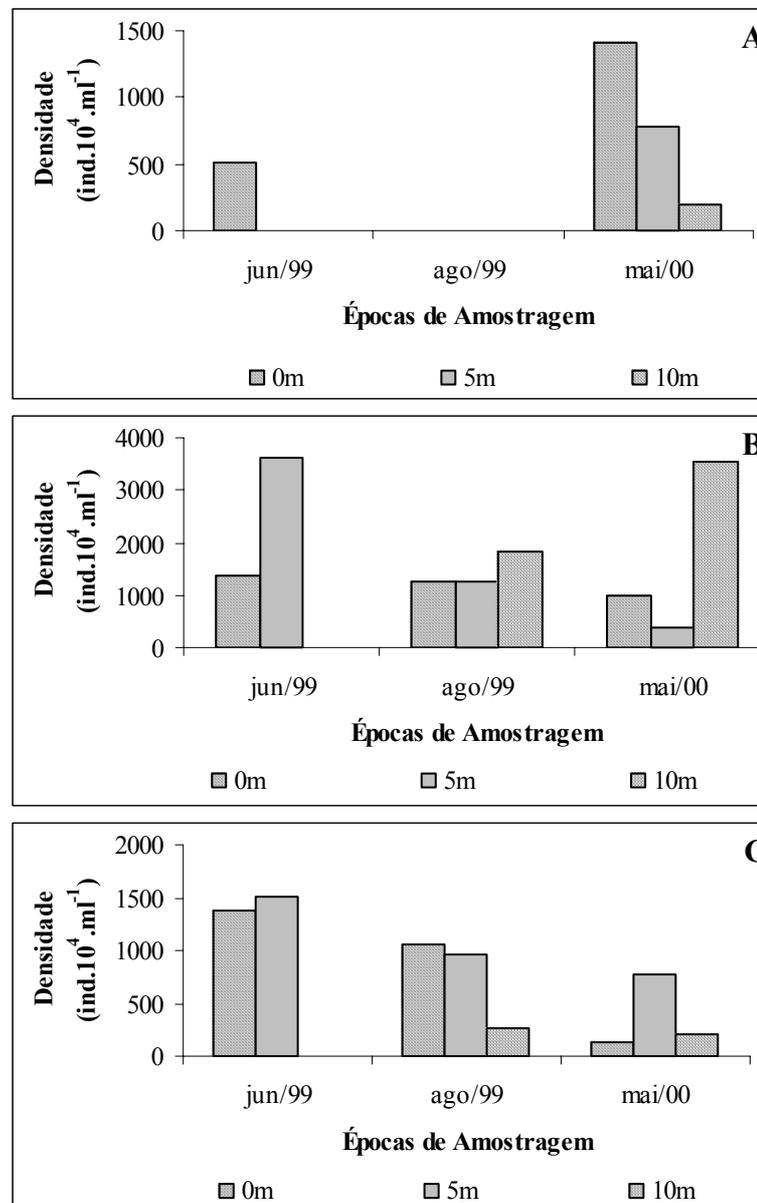


Figura 17 - Variação vertical da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) de *Chlorella* sp. (A), *Choricystis* sp. (B) e *Trachelomonas volvocina* (C) durante as três amostragens realizadas no lago Carvão com Azeite.

Os maiores valores de índices de diversidade ( $H'$ ) foram observados em junho de 1999 e maio de 2000, quando houve maior riqueza específica e menores índices de dominância. Observou-se que, em junho de 1999, a maior diversidade ocorreu na superfície da coluna d'água e, nas duas outras amostragens, ocorreu aos 5,0m (Tab. 6).

A análise estatística realizada para os táxons mostrou a distinção de dois grandes agrupamentos, com cerca de 53% de dissimilaridade: o primeiro formado pelas amostras das três profundidades do mês de agosto, 0,0m de junho e 0,0m de maio e o segundo formado pelas amostras das profundidades 5,0m de junho e 10,0m de maio. A amostra referente à profundidade de 5,0m de maio de 2000 se diferenciou das demais (Fig. 18).

Tabela 6 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade  $H'$  ( $\text{bits} \cdot \text{ind.}^{-1}$ ) para cada profundidade (0m, 5m e 10m) da estação E2 durante as três coletas realizadas no lago Carvão com Azeite.

Coleta	Profundidade	R	J	D	$H'$
Junho de 1999	0,0m	12	0,8839	0,1126	3,1686
	5,0m	9	0,7056	0,2891	2,2367
	10,0m	---	---	---	---
Agosto de 1999	0,0m	4	0,8072	0,3205	1,6143
	5,0m	5	0,8651	0,2474	2,0087
	10,0m	2	0,5436	0,7667	0,5436
Maio de 2000	0,0m	8	0,8546	0,2010	2,5638
	5,0m	14	0,8422	0,1315	3,2065
	10,0m	11	0,6159	0,3885	2,1305

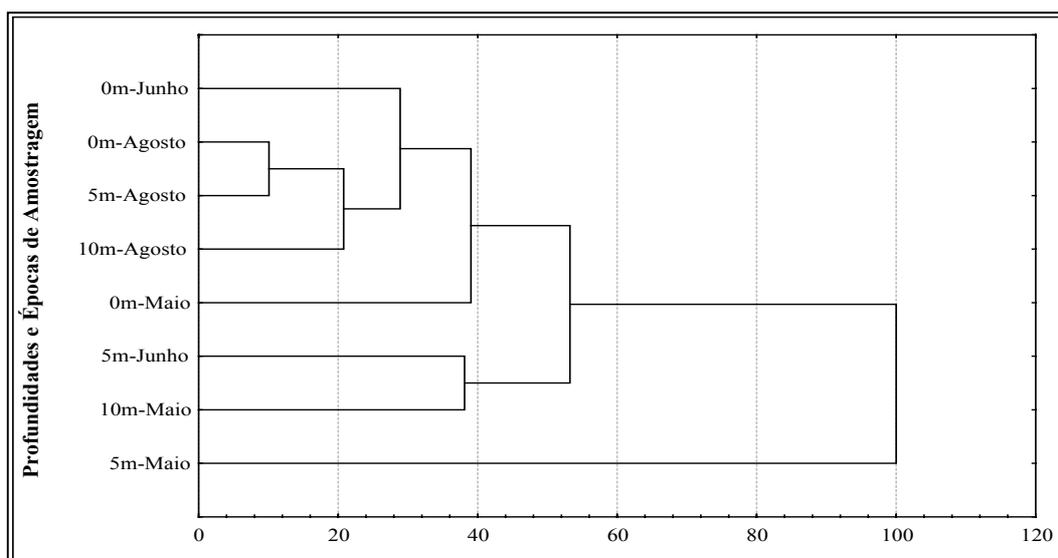


Figura 18 - Ordenação das épocas e profundidades de amostragem do lago Carvão com Azeite através da Análise de Agrupamento de Média não Ponderada (UPGMA) realizada com os táxons encontrados nas amostras quantitativas de distribuição vertical.

## DISCUSSÃO & CONCLUSÕES

Considerando os dados obtidos para as variáveis abióticas, verificou-se que o lago Carvão com Azeite possui padrão de circulação semelhante aos outros lagos do sistema Vale do Rio Doce estudados por TUNDISI & SAIJO (1997). Entre as três coletas realizadas, os meses de junho e agosto de 1999 foram isotérmicos e o mês de maio/99 foi termicamente e quimicamente estratificado. A camada metalimnética neste período esteve compreendida entre 1,5 a 4,5m, aproximadamente. As águas do lago apresentaram-se ácidas, pouco oxigenadas e com baixa transparência. A razão NT/PT indicou que, de forma geral, o ambiente é limitado por fósforo no período isotérmico e sem limitação por N ou P no período de estratificação. Observou-se a influência dos períodos de estabilidade térmica e circulação sobre a dinâmica das variáveis abióticas analisadas.

Os primeiros dados limnológicos sobre a comunidade fitoplanctônica no lago Carvão com Azeite foram levantados por TUNDISI *et al.* (1997b), que verificaram o predomínio de Chlorophyta (Chlorophyceae + Conjugatophyceae), seguido por Cyanophyta. No presente estudo, as Chlorophyceae e Cyanophyceae estiveram entre os principais grupos de importância, no que se refere à densidade fitoplanctônica. No entanto, observou-se também uma grande contribuição de fitoflagelados, especialmente Euglenophyceae. A presença das classes Chlorophyceae e Cyanophyceae como grupos de grande importância em densidade nos lagos do Vale do Rio Doce tem sido relatada (capítulos II e III deste trabalho).

Neste estudo, verificou-se a ocorrência de poucas espécies abundantes. De acordo com MARGALEF (1983), as comunidades são formadas, em sua grande maioria,

por um número relativamente pequeno de espécies representadas por muitos indivíduos ou por uma só espécie que domina absolutamente junto com um grande número de espécies de menor representatividade.

Dentre as Chlorophyceae, a ordem Chlorococcales foi a que apresentou maior número de espécies e maior densidade. Porém, o táxon *Choricystis* sp. foi o que se destacou numericamente, ocorrendo em 100% das amostras referentes tanto à distribuição horizontal como à distribuição vertical. *Choricystis* sp. foi abundante em praticamente todas as amostras analisadas e dominante na amostragem de 10,0m em agosto de 1999. Devido ao seu pequeno tamanho (6,2-6,8 x 2,9-3,1µm) e dificuldade de observação das características morfológicas, preferiu-se mantê-lo como *Choricystis* sp. Este é o primeiro registro do gênero para os lagos do Vale do Rio Doce. No entanto, parece ser comum em lagos de planície de inundação. Segundo HAPPEY-WOOD (1976), nanoclorofíceas são dominantes em lagos rasos colonizados por macrófitas aquáticas tanto na região de água aberta quanto na litorânea, mesmo em condições de oligotrofia. DIAS-JÚNIOR (1990) verificou que *C. komarekii* foi a espécie dominante na lagoa do Infernã (estado de São Paulo); HUSZAR (1994) registrou altas densidades de *C. cylindracea* no lago Batata (estado do Pará) e ZALOCAR-DE-DOMITROVIC *et al.* (1998) observaram a ocorrência de *C. coccoides* em um lago da bacia do rio Paraná (Argentina).

A distribuição vertical da classe Chlorophyceae seguiu a de *Choricystis* sp. As maiores densidades sempre foram observadas nas amostras de maior profundidade. HAPPEY-WOOD (1988) afirmou que a estabilidade térmica tem influência sobre a heterogeneidade vertical das Chlorophyceae e que estudos realizados por outros pesquisadores mostram as Chlorococcales, em sua maioria, apresentam maior número de indivíduos na zona eufótica (até os 6,0m aproximadamente), porém pequeno número de indivíduos são registrados no fundo.

A variação temporal e vertical da classe Cyanophyceae foi claramente influenciada pelos períodos de estratificação e isotermia. De acordo com PAERL (1988), a estabilidade térmica favorece o desenvolvimento deste grupo de algas, pois possuem a capacidade de regular sua flutuabilidade na coluna d'água. Ao passo que, em períodos de mixing esta regulação não é efetiva. Considerando as amostragens integradas da coluna d'água, em maio de 2000 (estação E2) foi observada a maior densidade numérica

do grupo e também de dois dos três táxons mais importantes deste grupo: *Woskyella* sp. e Oscillatoriales 2.

Nas amostras de distribuição vertical as Cyanophyceae atingiram 62% de contribuição na camada metalimnética em maio de 2000. Os táxons de maior importância (em densidade e frequência de ocorrência) também apresentaram pico nesta profundidade: *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Planktolyngbya* cf. *limnetica* e *Woskyella* sp. A ocorrência de *C. raciborskii* também foi registrada para o lago Dom Helvécio (Capítulo III) e verificou-se que no período de estratificação térmica houve aumento da densidade desta espécie nas camadas superiores (epilímnio) e não no metalímnio. *P. limnetica* foi citado como importante componente do metalímnio do lago Carioca por REYNOLDS *et al.* (1983). Segundo estes autores, os pré-requisitos necessários para regulação da flutuabilidade na coluna d'água durante a estratificação foram observados nesta espécie. De forma mais abrangente, as Cyanophyceae de fato parecem ser possuir grande importância na camada metalimnética nos lagos do Vale do Rio Doce, assim como também observado por HINO *et al.* (1986) e no Capítulo III deste trabalho para o lago Dom Helvécio.

As Euglenophyceae foram os fitoflagelados de maior densidade no lago Carvão com Azeite e estiveram representadas principalmente pelas espécies *Trachelomonas volvocina* e *T. volvocinopsis*. Como um grupo, sua presença provavelmente se deu pela alta concentração de matéria orgânica do ambiente, quando comparada com outros lagos do mesmo sistema. Segundo vários autores (HUTCHINSON, 1967; WETZEL, 1983, entre outros), as Euglenophyceae ocorrem principalmente em pequenos corpos d'água ricos em matéria orgânica. ROJO *et al.* constataram que o aumento na riqueza de Euglenophyceae em ambientes de várzea de Tablas de Daimiel (Espanha) esteve relacionado ao processo de eutrofização.

Dentre os fitoflagelados, a classe Cryptophyceae foi o segundo grupo de importância numérica. Verificou-se que as maiores densidades ocorreram no período estratificado e mais especificamente no epilímnio (0,0m). Este grupo de algas tem sido relatado como “oportunistas”, pois seu aumento se dá quando outras populações estão em declínio (KLAVENESS, 1988). Este comportamento parece ter ocorrido “em parte” no lago Carvão com Azeite, pois apesar de seu pico ter ocorrido no mesmo período em que

outros grupos de algas, sua máxima densidade foi observada na superfície da coluna d'água e não no metalímnio.

A classe Bacillariophyceae, no lago Carvão com Azeite, foi numericamente importante em junho de 1999, atingindo 31% de contribuição. SOMMER (1988) e WILLÉN (1991) citaram a alta razão Si/P (ortossilicato/fósforo) e a turbulência como os principais fatores para o crescimento destas algas. Foi verificado que além de ser caracterizado como período de circulação da coluna d'água, a amostragem de junho de 1999 apresentou maiores razões Si/PT que as demais coletas (Fig. 19), explicando, assim, sua ocorrência.

Nas análises qualitativas, a classe Bacillariophyceae apresentou grande riqueza de espécies quando comparada a dos lagos Aníbal e Dom Helvécio (dados não publicados). Este resultado está relacionado à presença das macrófitas aquáticas, que favorece o desenvolvimento deste grupo caracterizado como, preferencialmente, de habitat perifítico. É relevante comentar ainda, que a grande quantidade de *Eunotia* verificadas nesse tipo de análise (lâminas permanentes) é indicativa de um ambiente ácido (SOUZA, M. G. M., comunicação pessoal). Isso foi reforçado nas análises quantitativas, nas quais dos dez táxons registrados, quatro foram de *Eunotia* e, destes, dois foram considerados abundantes (*Eunotia rhomboidea* e *Eunotia* sp. 1).

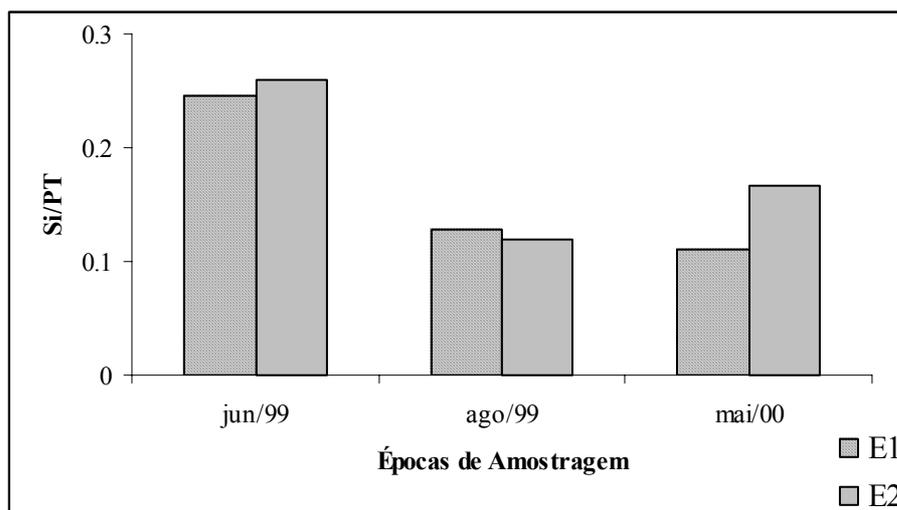


Figura 19 – Variação espacial da razão Si/PT nas três épocas de amostragem no lago Carvão com Azeite.

Assim como as diatomáceas, as desmídias (classe Conjugatophyceae) estiveram principalmente presentes nas amostras qualitativas e foram compostas por espécies caracteristicamente perifíticas. A ocorrência deste grupo de algas tem sido relatada como componentes importantes das “amostragens de rede” e tem sido associada à presença das macrófitas aquáticas, porém com reduzida importância quantitativa no fitoplâncton (DIAS-JÚNIOR, 1990; PERES, 1997; TANIGUCHI *et al.*, 2000; DELLAMANO-OLIVEIRA, 2001). RODRIGUES (1998) constatou que a grande riqueza de desmídias esteve relacionada à presença de estandes de macrófitas aquáticas na planície de inundação do alto rio Paraná.

A variação espacial no eixo horizontal mostrou que o lago Carvão com Azeite apresentou diferenças quantitativas entre as zonas litoral (E1) e limnética (E2). A densidade da maioria dos grupos fitoplanctônicos e dos principais táxons foi maior na estação E2. Analisando os dados abióticos, provavelmente, estes resultados estejam relacionados às menores concentrações de fósforo total e maiores razões NT/PT em E1, indicando que este local de amostragem apresentou-se mais limitado por fósforo que a região limnética. HORNE & GOLDMAN (1994) afirmaram que o fósforo é, geralmente, o fator limitante mais importante na produção fitoplanctônica devido ao fato de ocorrer em baixas concentrações.

Com relação aos índices de diversidade, durante o período isotérmico (junho e agosto de 1999) a estação E2 (limnética) apresentou maiores índices que E1 (litorânea), relacionada às maiores riquezas e índices de equitabilidade. Contudo, na época estratificada (maio de 2000) a diversidade foi maior em E1. Os resultados foram corroborados pela análise de agrupamento que distanciou os dois locais de coleta em todas as amostragens feitas e ainda evidenciou que a estação litorânea apresenta menor alteração em relação ao fitoplâncton ao longo dos períodos avaliados que a estação limnética. Todavia, não se distinguiu através deste teste estatístico a separação do período tipicamente estratificado do isotérmico.

A distribuição vertical da densidade total fitoplanctônica foi homogênea em junho e agosto de 1999 (períodos isotérmicos) e heterogênea em maio de 2000, com pico de densidade aos 5,0 (camada metalimnética). Porém, quando analisando os grupos separadamente, verificou-se que Chlorophyceae (especialmente *Choricystis* sp.) e Conjugatophyceae apresentaram maiores densidades aos 5,0m de profundidade. A

contribuição relativa dos grupos foi relativamente semelhante aos 0,0m e 5,0 nas amostragens de junho e agosto de 1999. Em agosto de 1999, houve maior contribuição de Chlorophyceae aos 10,0m e em maio de 2000 de Cyanophyceae aos 5,0m. Os fitoflagelados, principalmente compostos por Euglenophyceae, não apresentaram padrão de distribuição vertical. Em todas as amostragens as maiores diversidades ocorreram nas camadas superiores (0,0m em junho de 1999 e 0,0 e 5,0m em agosto de 1999 e maio de 2000) e as menores nas amostragens de fundo da coluna d'água. Contudo, o pico de diversidade se deu no metalímnio durante a época de estratificação. A análise estatística mostrou que a coluna d'água apresentou-se mais homogênea em agosto de 1999 com relação ao fitoplâncton e heterogênea em junho de 1999 e maio de 2000. A amostragem de 5,0m de junho de 1999 assemelhou-se a de 10,0m de maio de 2000. A amostragem referente à camada metalimnética (5,0m) de maio de 2000 se distanciou de todas as demais com 100% de dissimilaridade, mostrando, assim a influência do período de estratificação térmica sobre a comunidade fitoplanctônica.

Baseado nos resultados obtidos de composição, densidade e diversidade fitoplanctônica no lago Carvão com Azeite, pode-se dizer que este ambiente possui características distróficas, com um estágio evolucionário avançado. Isso se deve:

- aos baixos índices de diversidade obtidos em agosto de 1999;
- à grande densidade e predominância de poucas espécies de algas;
- à baixa riqueza específica quando comparados aos lagos Aníbal e Dom Helvécio (Capítulos II e III);
- à alta densidade de Euglenophyceae e riqueza de espécies do gênero *Eunotia* nas amostras qualitativas, que são indicativos de ambiente com maior concentração de matéria orgânica e de acidez, respectivamente e, conseqüentemente, de um ambiente mais distrófico, como discutido no Capítulo I;
- à presença de Chlorococcales, principalmente *Choricystis* sp., gênero comumente relatado em lagos de planície de inundação;
- à de espécies caracteristicamente perifíticas pertencentes às classes Bacillariophyceae e Conjugatophyceae nas amostragens qualitativas, associadas à presença de macrófitas aquáticas.

MOUSINHO-DE-MEIS & TUNDISI (1986) classificaram os lagos do Vale do Rio Doce em quatro tipos:

- Tipo “Dom Helvécio”: dendrítico, profundo, com baixa circulação;
- Tipo “Jacaré e Barra”: dendrítico, raso, com circulação mais rápida (onde se enquadra o lago Aníbal);
- Tipo “Carioca”: forma arredondada, raso, com circulação mais eficaz que o tipo “Dom Helvécio”;
- Tipo “várzea”: que em alguns casos representa o final do estágio sucessionário dos lagos.

Dentro desta classificação, o lago Carvão com Azeite parece se enquadrar em um tipo intermediário entre o “Carioca” e o “Várzea”, quando se analisando conjuntamente as características abióticas (Cap. I) e da comunidade fitoplanctônica.

Nesse contexto, pode-se inferir que o processo evolutivo do lago Carvão com Azeite, parece ter influenciado de forma decisiva no que refere às funções de força que atuam sobre a comunidade fitoplanctônica deste ambiente. Independentemente dos períodos analisados, em todos eles verifica-se que a região limnética apresenta características distintas da região litorânea, pois ocorre uma oferta diferenciada dos nutrientes limitantes, mais facilmente observada pelas razões NT/PT. Assim sendo, a influência das características físicas e químicas precedem à influência climática (períodos de estratificação e isoterminia) sobre o fitoplâncton desse lago, claramente evidenciada nas análises estatísticas.

Baseado nos resultados deste estudo, pode-se concluir que:

- a principal função de força no lago Carvão com Azeite, em relação à comunidade fitoplanctônica, é resultante das características físicas e químicas, seguida do fator climático;
- os grupos de maior contribuição no fitoplâncton são Chlorophyceae, Cyanophyceae e Euglenophyceae;
- no período isotérmico a contribuição relativa dos grupos é semelhante aos 0,0m e 5,0m de profundidades; em agosto de 1999 há maior contribuição de Chlorophyceae aos 10,0m. No período estratificado, há maior contribuição de Cyanophyceae aos 5,0m;
- a classe Chlorophyceae sempre apresentou maiores densidades nas amostragens referentes ao fundo da coluna d’água; Cyanophyceae apresentou distribuição vertical homogênea durante o período isotérmico e pico de densidade no metalímnio

durante a época estratificada; Euglenophyceae não apresentou padrão de distribuição vertical;

- com relação à escala espacial horizontal, há a diferenciação da região litorânea da limnética; a região limnética apresenta maiores densidades algais que a litorânea e, nos períodos de circulação, maior diversidade;
- a diversidade fitoplanctônica é principalmente influenciada pelos locais de amostragem, seguida pela variação temporal (épocas de circulação e estabilidade): a estação limnética apresenta maior diversidade no período isotérmico e a estação litorânea no período de estratificação. A diversidade é maior nas camadas superiores (0,0m em junho de 1999 e 0,0 e 5,0m em agosto de 1999 e maio de 2000) e menor no fundo da coluna d'água (5,0m em junho de 1999 e 10,0m em agosto de 1999 e maio de 2000) e durante a estratificação térmica ocorre aumento dos valores no metalímnio, porém esta tendência não é alterada;
- o lago Carvão com Azeite pode ser classificado como distrófico em estágio de evolução avançado, quando se leva em consideração a composição, densidade e diversidade da comunidade fitoplanctônica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, F. A. R. 1981. **Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na lagoa Carioca – Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil.** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. Tese (Doutorado).
- BARBOSA, F. A. R. & TUNDISI, J. G. 1980. Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow Quaternary lake at Eastern Brazil. **Archiv für Hydrobiologie** 90(2): 139-161.
- BICUDO, D. C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. **Acta Limnologica Brasiliensia** 3: 459-475.
- COLE, G. 1994 **Textbook of limnology.** Saint Louis: The C. V. Mosby. 283 p.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J. 2001. **Estudo da comunidade fitoplanctônica da lagoa do Cacó (MA), frente às mudanças sazonais na localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 155p.
- DIAS-JÚNIOR, C. 1990. **Ciclo anual do fitoplâncton e algumas variáveis ambientais na lagoa do Infernã (SP).** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 108p. Dissertação (Mestrado).
- GUILHUIS, J. P. 1986. **Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil.** Wageningen: Agricultural University of Wageningen. 112 p.
- HAPPEY-WOOD, C. M. 1976. The occurrence and relative importance of nanochlorophyta in freshwater algal communities. **Journal of Ecology** 64(1): 274-292.

- HAPPEY-WOOD, C. M. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 175-226.
- HENRY, R.; TUNDISI, J. G. & IBAÑEZ, M. S. R. 1997. Enrichment experiments and their effects on phytoplankton (biomass and primary productivity). *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp.243-263.
- HINO, K.; TUNDISI, J. G. & REYNOLDS, C. S. 1986. Vertical distribution of phytoplankton in a stratified lake (lago Dom Helvecio, Southeastern Brazil) with special reference to the metalimnion. **Japanese Journal of Limnology** 47(3): 239-246.
- HORNE, A. J. & GOLDMAN, C. R. 1994. **Limnology**. New York: McGraw Hill.
- HUSZAR, V. L. M. 1994. **Fitoplâncton de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita (Lago Batata, Pará, Brasil): estrutura da comunidade, flutuações espaciais e temporais**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos.219 p. Tese (Doutorado).
- HUTCHINSON, G. E. 1967. **A treatise on limnology**. II: Introduction to lake biology and the limnoplankton. New York: John Willey & Sons. 1115 p.
- IBAÑEZ, M. S. R.; TUNDISI, J. G.; HENRY, R.; MATSUMURA- TUNDISI, T.; ROCHA, O. & CALIJURI, M. C. 1997. Phytoplankton response to enrichment. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp.399-407.
- KLAVENESS, D. 1988. Ecology of the cryptomonadida: a first review. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 105-133.
- LOBO, E. & LEIGHTON, G. 1986. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marinha** 22(1): 1-29.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J. & TALLING, J. F. 1978. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. Ambleside: Freshwater Biological Association Scientific Publication, n. 36. 120 p.

- MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press. 179p.
- MANLY, B. F. J. 1986. **Multivariate statistical methods: a primer**. New York: Chapman, 215 p.
- MARGALEF, R. 1983. **Limnologia**. Barcelona: Ed. Omega. 1010 p.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. & TUNDISI, J. G. 1995. Limnology of a warm monomictic lake at rio Doce Forest Park (lake Dom Helvecio, MG, Eastern Brazil). *In*: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (eds.) **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Sociedade Brasileira de Limnologia. pp. 245-256.
- MITAMURA, O.; SAIJO, Y. & HINO, K. 1997. Cycling of urea associated with photosynthetic activity of phytoplankton in the euphotic layer in Lakes Dom Helvecio, Jacaré and Carioca. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 129-139.
- MITAMURA, O.; SAIJO, Y.; HINO, K. & BARBOSA, F. A. R. 1997b. The significance of the regenerated nitrogen for phytoplankton productivity in Lakes Dom Helvecio, Jacaré and Carioca. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 141-153.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. 1977. As unidades morfo-estratigráficas neoquaternárias do médio rio Doce. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 49(3): 443-459.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. & MONTEIRO, A. M. F. 1979. Upper Quaternary "rampas". Rio Doce valley, Southeastern Brazilian Plateau. **Zeitschr. Für Geomorph.** 23: 132-151.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. & TUNDISI, J. G. 1986. Geomorphological and limnological processes as a basis for lake typology, the Middle Rio Doce Lake system. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 58(1): 103-120.
- NAKAMOTO, N. & HINO, K. 1997. Nutritional matter available for phytoplankton growth. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the rio Doce valley lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 119-128.

- ODUM, E. P. 1988. **Fundamentos de ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 927 p.
- PAERL, H. W. 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria) *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 261-315.
- PERES, A. C. 1997. **Chlorophyta da lagoa do Diogo e variáveis físicas e químicas, Estação Ecológica do Jataí, Município de Luiz Antônio (SP)**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 131p.
- PONTES, M. C. F. 1980. **Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago Dom Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce – MG**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 293 p. Dissertação (Mestrado).
- REYNOLDS, C. S. 1997. On the vertical distribution of phytoplankton in the middle rio Doce Vale lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 227-241.
- REYNOLDS, C. S.; TUNDISI, J. G. & HINO, K. 1983. Observations on a metalimnetic *Lyngbya* population in a stably stratified tropical lake (lagoa Carioca, Eastern Brazil). **Archiv für Hydrobiologie** 97(1): 7-17.
- RODRIGUES, L. 1998. Similaridade taxonômica entre comunidades de algas perifíticas de substratos artificial e natural na planície de inundação do alto rio Paraná. *In*: RODRIGUES, L. **Sucessão do perifiton na planície de inundação do alto rio Paraná: interação entre nível hidrológico e regime hidrodinâmico**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá. pp. 27-49. Tese (Doutorado).
- ROJO, C.; ORTEGA-MAYAGOITIA, E. & CONFORTI, V. **Fitoplâncton del Parque Nacional de Lãs Tablas de Daimiel**. I. Las Euglenofitas. < [www.rjb.csic.es/publicaciones/anales](http://www.rjb.csic.es/publicaciones/anales) > Acesso em outubro de 2002.
- ROS, J. 1979. **Práctica de ecologia**. Barcelona: Ed. Omega. 181 p.
- SALAS, H. J. & MARTINO, P. 1988. **Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales**. Organización Mundial de la Salud / Organización Pan-Americana de la Salud – OPS / Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária y Ciencias del Ambiente – CEPIS: 51p.

- SOMMER, U. 1988. Growth and survival strategies of planktonic diatoms. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 227-260.
- STATSOFT, INC., 2000. **Statistica for Windows** (Computer Program Manual). Statsoft, Inc., Tulsa.
- TANIGUCHI, G. M.; BICUDO, D. C. & SENNA, P. A. C. 2000. Intercâmbio populacional de desmídias planctônicas e perifíticas na lagoa do Diogo, planície de inundação do rio Mogi-Guaçu. *In*: SANTOS, J. E. & PIRES, J. S. R. (eds.). **Estação Ecológica de Jataí**. v. 2. São Carlos: RiMa. pp. 431-444.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G. & KUTNER, M. B. 1965. Plankton studies in a mangrove. II: The standing-stock and some ecological factors. **Boletim do Instituto Oceanográfico** 24: 23-41.
- TUNDISI, J. G. 1994. Tropical South America: present and perspectives. *In*: MARGALEF, R. (ed.). **Limnology now: a paradigm of planetary problems**. Amsterdam: Elsevier Science. pp. 353-424.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 1982. Estudos limnológicos no sistema de lagos do médio rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Anais do II Seminário Regional de Ecologia**, pp. 133-258.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M. C.; HENRY, R.; IBAÑEZ, M. S. R. & NAKAMOTO, N. 1997a. Limnological survey of lake Anibal. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 441-447.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; FUKUHARA H.; MITAMURA, O.; GUILLÉN, S. M.; HENRY, R.; ROCHA, O.; CALIJURI, M. C.; IBAÑEZ, M. S. R.; ESPÍNDOLA, E. L. G. & GOVONI, S. 1997b. Limnology of fifteen lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 410-439.
- TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y.; HENRY, R. & NAKAMOTO, N. 1997c. Primary productivity, phytoplankton biomass and light photosynthesis responses in four lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 199-225.

- TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. 1997. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 513p.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen** 9: 1-38.
- WETZEL, R. G. 1993. **Limnologia**. Lisboa: Calouste Gulbenkian. 919 p.
- WILLÉN, E. 1991. Planktonic diatoms – an ecological review. **Algological Studies** 62: 69-106.
- ZALOCAR-DE DOMITROVIC, Y.; ASSELBORN, V. M. & CASCO, S. L. 1998. Variaciones espaciales y temporales del fitoplancton en un lago subtropical de Argentina. **Revista Brasileira de Biologia** 58(3): 359-382.

## **CAPÍTULO V**

# A Comunidade Fitoplanctônica em Três Lagos do Vale do Rio Doce, Minas Gerais: Enfoque Comparativo

## RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido em três lagos naturais situados do Vale do Rio Doce (lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite) e objetivou realizar um estudo comparativo entre os três sistemas com relação à estrutura da comunidade fitoplanctônica. Para tanto em quatro períodos de amostragem, correspondendo aos meses de junho e agosto de 1999, fevereiro e maio de 2000. Variáveis físicas e químicas, bem como a composição e densidades do fitoplâncton foram avaliadas. Constatou-se que no lago Aníbal as maiores densidades fitoplanctônicas e a maior abundância relativa e número de espécies de Chlorococcales estiveram relacionadas às suas características mais eutróficas. Inversamente, a presença de Conjugatophyceae (desmídias) e as menores densidades fitoplanctônicas no lago Dom Helvécio foram associadas à oligotrofia deste ambiente. Verificou-se que as condições de luminosidade (maior transparência da água e extensão da zona eufótica) favoreceram o desenvolvimento das Chlorophyceae e Conjugatophyceae nos lagos Aníbal e Dom Helvécio. No lago Carvão com Azeite, as características distróficas e a total cobertura por macrófitas aquáticas favoreceram o desenvolvimento das Euglenophyceae, Bacillariophyceae e desmídias perifíticas, porém houve redução da riqueza específica e dos índices de diversidade, quando comparados aos outros lagos. A classe Cyanophyceae foi considerada um importante grupo de algas no fitoplâncton dos lagos do Vale do Rio Doce, especialmente no metalímnio durante períodos de estratificação térmica. Evidenciou-se que os lagos Aníbal e Dom Helvécio são mais semelhantes entre si e que o lago Carvão com Azeite é o ambiente de características mais distintas, quanto

à composição, abundância relativa e índices de diversidade da comunidade fitoplanctônica.

## **ABSTRACT**

The present study was developed at three natural lakes located at Rio Doce Valley (Lakes Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite) aiming to compare the three systems in relation to the structure of the phytoplankton community. Four sampling periods were carried out: June and August of 1999, February and May of 2000. Physical and chemical variables were analyzed. It was found for Lake Aníbal higher phytoplankton densities, relative abundance and highest number of Chlorococcales species related to the higher degree of trophic condition. Conversely, the presence of Conjugatophyceae (desmidiants) and the lower phytoplankton densities at Lake Dom Helvécio were associated to the oligotrophy of this lake. There was indication that light conditions (high transparency and larger extension of euphotic zone) have favored the development of Chlorophyceae and Conjugatophyceae in Lakes Aníbal and Dom Helvécio. On the other hand, in Lake Carvão com Azeite, the dystrophic condition and the total recovering by macrophytes favored the development of Euglenophyceae, Bacillariophyceae and periphytic desmidiants, although with reduced species richness and diversity indices, compared to the other lakes. The Cyanophyceae was considered an important group of algae in the phytoplankton of Rio Doce Valley Lakes, particularly in the metalimnion during periods of thermal stratification. It was also evidenced that Lakes Aníbal and Dom Helvécio are more similar among themselves than between them and Lake Carvão com Azeite, which is a system with distinctive characteristics regarding taxonomic composition, relative abundances and diversity indices of phytoplankton.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento e a caracterização dos diversos sistemas de lagos existentes no Brasil devem ser um dos principais objetivos da pesquisa limnológica, já que podem fornecer subsídios para uma melhor compreensão dos problemas limnológicos básicos de regiões tropicais, permitindo sua comparação com aqueles das regiões temperadas e possibilitando, assim, a utilização racional dos recursos hídricos, segundo conceitos ecológicos de conservação e manejo de ambientes naturais (BARBOSA, 1981). Estudos comparativos na limnologia regional são importantes para o conhecimento de processos e mecanismos do funcionamento de lagos individuais (MACAN, 1970 *apud* TUNDISI *et al.*, 1997b).

Inicialmente, dentro do programa de pesquisas limnológicas no Parque Florestal do Rio Doce, foi citado como um dos principais objetivos: “estudar detalhadamente, sob o ponto de vista comparativo, a produção primária do fitoplâncton, o índice de diversidade e composição qualitativa e quantitativa da comunidade planctônica” (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1982). Assim, trabalhos com enfoques comparativos entre os lagos do sistema Vale do Rio Doce foram realizados, como os de TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, (1982), TUNDISI *et al.* (1997b) e MORETO (2001).

Dentro deste contexto e devido à importância do conhecimento da comunidade fitoplanctônica para os ecossistemas de água doce, pretende-se neste estudo tecer algumas considerações sobre o fitoplâncton dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa da comunidade fitoplanctônica, levando-se em consideração aspectos quantitativos e

qualitativos, a partir dos estudos prévios realizados nesses corpos d'água (Capítulos I a IV).

O presente trabalho visa, em seu aspecto mais amplo, fornecer informações e subsídios para estudos futuros em lagos naturais.

## ÁREA DE ESTUDO

O sistema de lagos do Vale do Rio Doce situa-se na grande área fisiográfica denominada “depressão Interplanáltica do rio Doce”, confinada entre as elevações correspondentes ao planalto do reverso da serra do Mar, com uma altitude média de 300m e localizada sobre um embasamento de gnaisses variados, micaxistos, quartzitos e granitos, que afloram nas elevações do planalto circundante à depressão do médio rio Doce (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

O sistema lacustre é constituído por aproximadamente 150 lagos. Estes formaram-se entre 3000 a 10000 anos atrás, durante o Pleistoceno Superior, devido a um processo de represamento provocado por deposição de sedimentos aluviais dos rios coletores (rios Doce e Piracicaba), os quais não tinham correnteza suficiente para carrear estes depósitos (MOUSINHO-DE-MEIS, 1977).

O Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PERD) possui 35974ha, com altitude de 230 a 515m acima do nível do mar, com áreas no distrito de Marliéria e municípios de Dionísio e Timóteo, no Vale do Rio Doce. Os limites naturais do Parque são o rio Doce ao Leste e rio Piracicaba ao Norte (CETEC, 1981 *apud* ANDRADE *et al.*, 1997). A vegetação é constituída por floresta tropical úmida, do tipo Mata Atlântica, enquanto que a região circundante é coberta por *Eucalyptus* sp. e, em menor proporção, por pastagens, áreas de agricultura e floresta natural (SIF, 1990).

As coletas foram realizadas nos lagos Aníbal (19°45'-19°48'45''S e 42°33'45''-42°30'W), Dom Helvécio (19°45'-19°48'45''S e 42°37'30''-42°33'45''W) e Carvão com Azeite (19°48'45''-19°52'30''S e 42°37'30''-42°33'45''W). Destes, os dois

primeiros estão situados dentro dos limites do Parque Florestal e o último localiza-se fora deste.

## **MATERIAIS & MÉTODOS**

Os períodos de coleta compreenderam os meses de junho e agosto de 1999, fevereiro e maio de 2000. As Tabelas 1, 2 e 3 trazem as datas de coleta referentes a cada lago estudado. No lago Aníbal, seis foram as estações de amostragem, três na região limnética (E1, E3 e E5) e três na região litorânea (E2, E4 e E6). No lago Dom Helvécio totalizaram-se onze estações de amostragem, seis na região limnética (E1, E3, E5, E6, E8 e E10) e cinco na região litorânea (E2, E4, E7, E9 e E11). E no lago Carvão com Azeite, as coletas foram desenvolvidas em duas estações de amostragem, uma na região litorânea (E1) e uma na região limnética (E2). A amostragem para caracterização da distribuição vertical foi realizada em E3, E1 e E2, para os lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, respectivamente.

Para a caracterização da distribuição espacial horizontal foram retiradas amostras integradas de toda a coluna d'água e, para a distribuição vertical das populações, as amostragens foram feitas a cada 5,0m de profundidade.

Tabela 1 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Aníbal.

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>
Coleta 1 (C1)	14/06/1999
Coleta 2 (C2)	11/08/1999
Coleta 3 (C3)	05/02/2000
Coleta 4 (C4)	17/05/2000

Tabela 2 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Dom Helvécio.

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>
Coleta 1 (C1)	11/06/1999
Coleta 2 (C2)	09/08/1999
Coleta 3 (C3)	04/02/2000
Coleta 4 (C4)	16/05/2000

Tabela 3 – Datas em que foram realizadas as medições e as amostragens no lago Carvão com Azeite.

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>
Coleta 1 (C1)	15/06/1999
Coleta 2 (C2)	12/08/1999
Coleta 3 (C3)	18/05/2000

Algumas variáveis abióticas, como temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram registrados *in situ* com o auxílio do multisensor Horiba, modelo U-10 e, para a determinação da transparência da água, foi usado um disco de Secchi. As análises laboratoriais foram realizadas para a determinação da concentração de nutrientes na água (nitrito, nitrato, amônio, nitrogênio total, fósforo inorgânico, fósforo total dissolvido, fósforo total e ortossilicato), segundo os procedimentos descritos em MACKERETH *et al.* (1978) e para a quantificação do material em suspensão, segundo TEIXEIRA *et al.* (1965). Foram estimadas ainda, a extensão da zona eufótica (Zeu), seguindo a fórmula de COLE (1994), a razão nitrogênio/fósforo (NT/PT) e o índice de estado trófico, de acordo com SALAS & MARTINO (1988).

As coletas para análise qualitativa do fitoplâncton foram realizadas através de arrastos verticais com rede de plâncton com 20µm de abertura de malha e foram preservadas com solução de formol 4%. A identificação das algas foi realizada em um microscópio binocular da marca Zeiss, modelo Axioscop, sob aumentos de até 2560 vezes. Para a análise quantitativa do fitoplâncton as coletas foram realizadas com bomba de sucção (sem filtragem) e as amostras (150ml) foram acondicionadas em frascos de vidro e preservadas com solução de lugol acético a 0,5% e mantidas no escuro. A quantificação das populações algais foi realizada segundo o método descrito por UTERMÖHL (1958) e feita através de um microscópio invertido da marca Zeiss, em aumento de 400 vezes. O tempo de sedimentação foi de três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983). O limite de contagem foi estabelecido pelo método da saturação taxonômica, conforme o procedimento descrito em BICUDO (1990). A fórmula para o cálculo da densidade seguiu aquela apresentada por ROS (1979).

Com os dados obtidos na análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica, foram estimados o índice de diversidade de SHANNON-WIENER ( $H'$ ), o índice de uniformidade ou equitabilidade de PIELOU ( $J$ ), o índice de dominância de SIMPSON ( $D$ ) e a riqueza específica ( $R$ ), conforme MAGURRAN (1988) e ODUM (1988).

Com intuito de comparar os dados referentes à distribuição no eixo horizontal, foram considerados os valores médios obtidos das densidades e índices biológicos para cada lago.

Para a ordenação dos lagos e períodos de amostragem referente aos dados químicos (pH, OD, condutividade,  $NH_4$ , NT, PTD, PT,  $Si(OH)_4$ , MI e MO) e biológicos (densidade fitoplanctônica total) foi realizada a Análise de Componentes Principais – ACP (matriz de correlação), seguindo o método de KAISER (MANLY, 1986). O teste estatístico foi realizado com o auxílio do programa “Statistica for Windows – Versão 5.5” (STATSOFT, INC.,2000), licenciado para a Universidade Federal de São Carlos.

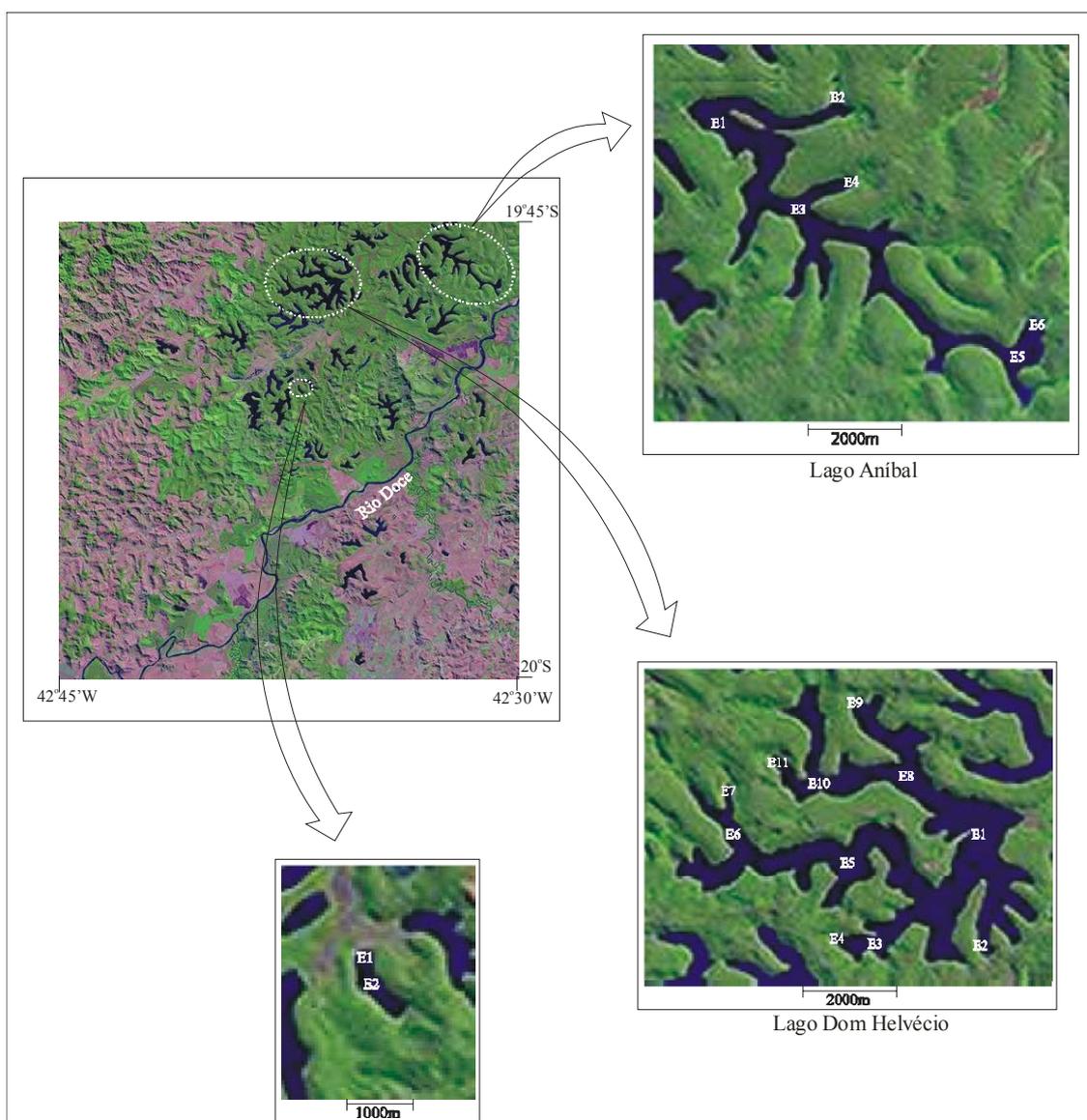


Figura 1 - Carta IBGE de parte da região do Vale do Rio Doce, com a localização dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite e das estações de amostragem. Fonte: CNPM-EMBRAPA.

## RESULTADOS

Os valores médios, máximos, mínimos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas obtidos no período em estudo para os três lagos avaliados, constam na Tabela 4. A profundidade, a transparência e zona eufótica (Zeu) constam na Tabela 5. As concentrações de nitrito e ortofosfato estiveram abaixo do nível de detecção do método para os lagos Aníbal e Dom Helvécio. Para o lago Carvão com Azeite as concentrações de ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ) estiveram abaixo do nível de detecção do método nas amostragens de junho e agosto de 1999. Em maio de 2000, este nutriente variou de 10,04 a 14,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

Observaram-se estratificações térmicas (com formação do metalímnio) e do oxigênio dissolvido em fevereiro de 2000, no lago Aníbal, em fevereiro e maio de 2000 no lago Dom Helvécio e em maio de 2000 no lago Carvão com Azeite. Os lagos Aníbal e Dom Helvécio apresentaram-se bem oxigenados e pH ligeiramente ácido ao passo que o lago Carvão com Azeite apresentou baixa oxigenação em todo o período amostrado e pH ácido, sempre abaixo de 6,0. As concentrações totais de nitrogênio e fósforo indicaram a limitação por fósforo nas três primeiras realizadas no lago Aníbal, em todas amostragens no lago Dom Helvécio e nas duas primeiras amostragens no lago Carvão com Azeite.

As análises quantitativas da comunidade, referentes à amostragem espacial no eixo horizontal indicaram que a comunidade fitoplanctônica apresentou maior número de táxons no lago Dom Helvécio e menor no lago Carvão com Azeite (Tab. 6). Por outro lado, as maiores densidades foram observadas no lago Aníbal (fitoplâncton total, classes Cyanophyceae, Chlorophyceae e Conjugatophyceae) e no lago Carvão com

Azeite (fitoflagelados) (Figs. 2-4). Os lagos Aníbal e Dom Helvécio apresentaram maior contribuição relativa (%) das classes Conjugatophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae e lago Carvão com Azeite apresentou maior contribuição de fitoflagelados, Chlorophyceae e Cyanophyceae (Fig. 5).

Tabela 4 – Valores mínimos, médios e máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis físicas e químicas (pH, condutividade, OD, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NT, PTD, PT, Si(OH)<sub>4</sub>, MO e MI) razão NT/PT e IET obtidos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite durante o período de estudo.

Variável	Lago	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
pH	Anibal	5,52	6,62	8,26	0,67	0,14
	D. Helvécio	5,42	6,54	8,9	0,64	0,09
	C. Azeite	5,16	5,34	5,52	0,13	0,05
Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	Anibal	30,0	36,70	44,0	4,28	0,87
	D. Helvécio	27,50	31,95	46,05	3,98	0,60
	C. Azeite	31,17	38,87	54,83	12,82	5,23
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Anibal	22,9	26,0	31,6	2,91	0,59
	D. Helvécio	22,3	25,9	31,6	2,59	0,39
	C. Azeite	19,96	21,32	23,36	1,32	0,54
Oxigênio Dissolvido – OD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	3,10	6,52	9,77	1,70	0,35
	D. Helvécio	3,34	5,89	8,04	1,11	0,17
	C. Azeite	0,06	0,59	2,02	0,73	0,30
Nitrito – $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal			<1,52		
	D. Helvécio			<1,52		
	C. Azeite	1,82	3,67	11,14	3,69	1,51
Nitrato – $\text{NO}_3$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	6,78	12,70	23,78	4,56	0,93
	D. Helvécio	3,94	10,70	17,88	3,62	0,54
	C. Azeite	4,42	8,76	13,86	3,55	1,45
Amônio – $\text{NH}_4$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	13,10	140,38	333,42	86,57	17,67
	D. Helvécio	6,54	114,34	652,91	139,43	21,02
	C. Azeite	19,76	67,95	96,72	30,89	12,61
Nitrogênio Total – NT ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	203,85	547,89	1274,27	222,40	45,40
	D. Helvécio	200,91	461,33	948,77	165,14	24,89
	C. Azeite	382,58	462,42	567,88	69,55	28,39
Fósforo Total Dissolvido – PTD ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	3,01	8,10	14,47	3,63	0,74
	D. Helvécio	1,48	7,32	12,94	2,85	0,43
	C. Azeite	4,49	8,22	14,32	3,93	1,60
Fósforo Total - PT ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	10,52	21,23	34,99	6,83	1,39
	D. Helvécio	7,91	18,47	33,36	6,07	0,91
	C. Azeite	15,96	19,59	25,53	3,59	1,47
Ortossilicato – $\text{Si}(\text{OH})_4$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	1,96	4,20	5,49	0,83	0,17
	D. Helvécio	2,84	3,95	5,14	0,52	0,08
	C. Azeite	2,28	3,26	4,27	1,00	0,41
Matéria Inorgânica em Suspensão – MI ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	0,20	1,49	4,20	1,25	0,24
	D. Helvécio	0,20	1,00	4,17	0,89	0,13
	C. Azeite	0,33	2,91	6,83	2,96	1,21
Matéria Orgânica em Suspensão – MO ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Anibal	1,20	3,20	5,67	1,42	0,29
	D. Helvécio	1,12	3,28	7,62	1,52	0,23
	C. Azeite	3,00	5,43	7,17	1,46	0,59
Razão NT/PT	Anibal	9,88	27,40	51,90	10,64	2,22
	D. Helvécio	13,38	26,31	46,84	8,31	1,25
	C. Azeite	14,98	24,68	33,95	7,51	3,07
IET	Anibal	38,11	55,44	47,65	4,90	1,02
	D. Helvécio	34,00	45,45	54,75	4,86	0,73
	C. Azeite	44,12	46,88	50,89	2,55	1,04

Tabela 5 – Profundidade máxima, transparência da água e extensão da zona eufótica (m) obtidas nas estações E3, E1 e E2 nas coletas realizadas nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, respectivamente.

	<b>Lago</b>	<b>Junho/99</b>	<b>Agosto/99</b>	<b>Fevereiro/00</b>	<b>Mai/00</b>
<b>Profundidade Máxima (m)</b>	Aníbal	9,5	10,0	10,0	10,5
	D. Helvécio	17,0	22,0	17,0	19,2
	C. Azeite	7,50	10,50	---	9,50
<b>Transparência (m)</b>	Aníbal	2,3	2,5	2,5	2,6
	D. Helvécio	2,9	4,3	3,2	2,3
	C. Azeite	0,15	0,25	---	1,20
<b>Zona Eufótica (m)</b>	Aníbal	6,9	7,5	7,5	7,8
	D. Helvécio	8,7	12,9	9,6	6,9
	C. Azeite	0,45	0,75	---	3,60

Entre os táxons registrados, 46 ocorreram exclusivamente no lago Aníbal, 51 no lago Dom Helvécio e 35 no lago Carvão com Azeite. Apenas 5 táxons foram comuns aos três lagos, correspondendo a 2,7% (Tab. 7)<sup>5</sup>.

Os índices de diversidade ( $H'$ ) foram semelhantes para os três lagos nas amostragens de junho de 1999 e maio de 2000 e maiores no lago Aníbal nas amostragens de agosto de 1999 e fevereiro de 1999. De forma geral, maiores riquezas específicas ocorreram no lago Aníbal e menores no lago Carvão com Azeite (Tab. 8).

As densidades totais fitoplanctônicas nas diferentes profundidades amostradas estão na Figura 7. De forma geral observou-se que o lago Aníbal apresentou maior contribuição de Chlorophyceae e Conjugatophyceae em todas as profundidades. No lago Dom Helvécio, Chlorophyceae, Conjugatophyceae e Cyanophyceae apresentaram densidades semelhantes em todas as profundidades; no período estratificado, houve aumento da porcentagem de Cyanophyceae aos 10,0 e 15,0m. No lago Carvão com Azeite, os fitoflagelados, Chlorophyceae e Cyanophyceae foram dominantes em junho/99 e agosto/99. Em maio, período estratificado, as Cyanophyceae predominaram aos 5,0m de profundidade (Figs. 6 a 14).

<sup>5</sup> Para verificar o grau de similaridade entre as comunidades dos três lagos, foram considerados somente aqueles táxons que puderam ser distinguidos como iguais ou não entre os lagos.

Os índices de diversidade obtidos nas amostras de distribuição vertical foram sempre maiores no lago Aníbal e menores no lago Carvão com Azeite (Tab. 9).

Tabela 6 – Número de táxons fitoplanctônicos encontrados nas amostras quantitativas dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

	Lagos	Amostragem Horizontal	Amostragem Vertical
Número total de táxons	Aníbal	106	78
	Dom Helvécio	124	67
	Carvão com Azeite	67	31
Cyanophyceae	Aníbal	12	9
	Dom Helvécio	28	17
	Carvão com Azeite	13	11
Chlorophyceae	Aníbal	34	23
	Dom Helvécio	22	16
	Carvão com Azeite	15	5
Conjugatophyceae	Aníbal	35	28
	Dom Helvécio	39	20
	Carvão com Azeite	9	4
Bacillariophyceae	Aníbal	9	4
	Dom Helvécio	16	2
	Carvão com Azeite	9	3
Fitoflagelados	Aníbal	14	12
	Dom Helvécio	19	12
	Carvão com Azeite	21	8
Xanthophyceae	Aníbal	2	2
	Dom Helvécio	0	0
	Carvão com Azeite	0	0

Tabela 7 – Número de táxons registrados em comum entre os lagos e Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostras quantitativas e sua porcentagem.

Local	Número de táxons	% do total
Exclusivos do lago Aníbal	46	24,8
Exclusivos do lago Dom Helvécio	51	27,6
Exclusivos do lago Carvão com Azeite	35	18,9
Em comum entre lagos Aníbal e Dom Helvécio	39	21,1
Em comum entre lagos Aníbal e Carvão com Azeite	0	0
Em comum entre lagos D. Helvécio e C. Azeite	9	4,9
Em comum entre os três lagos	5	2,7
Lagos Aníbal + Lago Dom Helvécio + Lago Carvão com Azeite	185	100

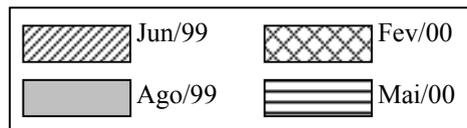
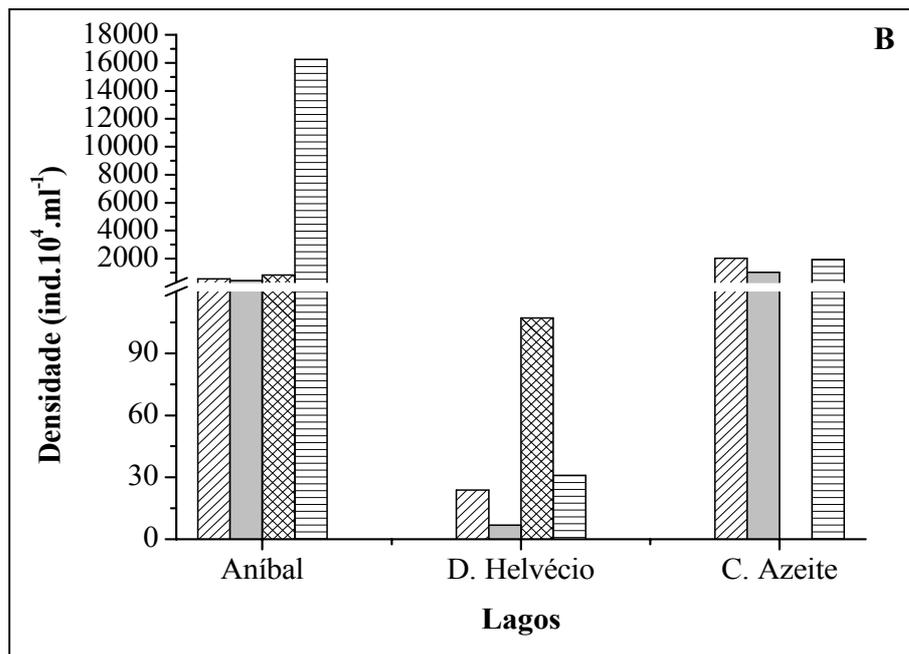
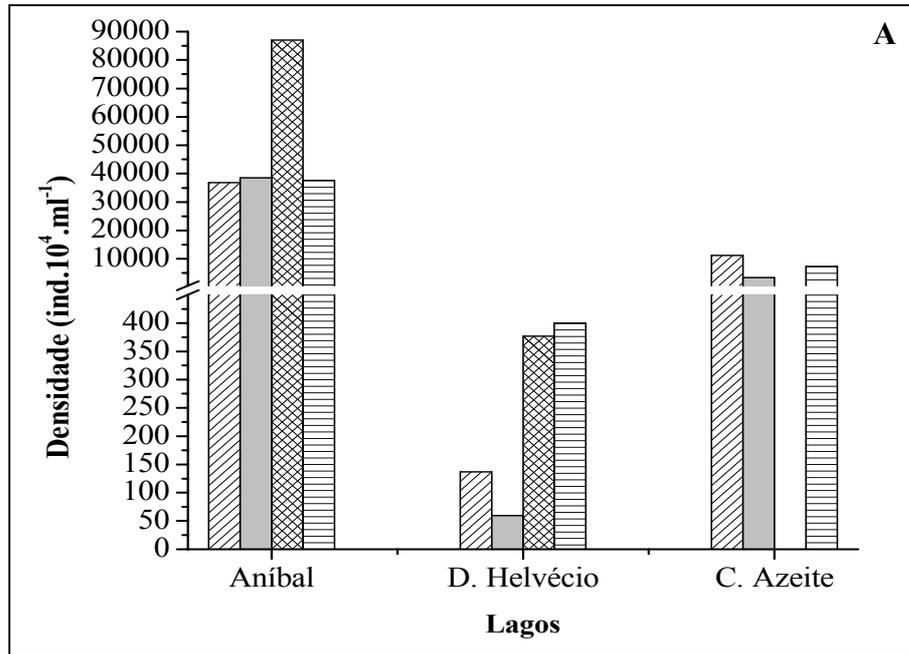


Figura 2 – Variação temporal da densidade fitoplânctônica ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) total (A) e da classe Cyanophyceae (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

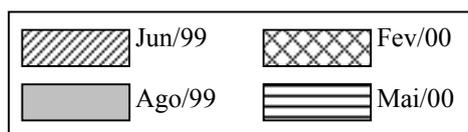
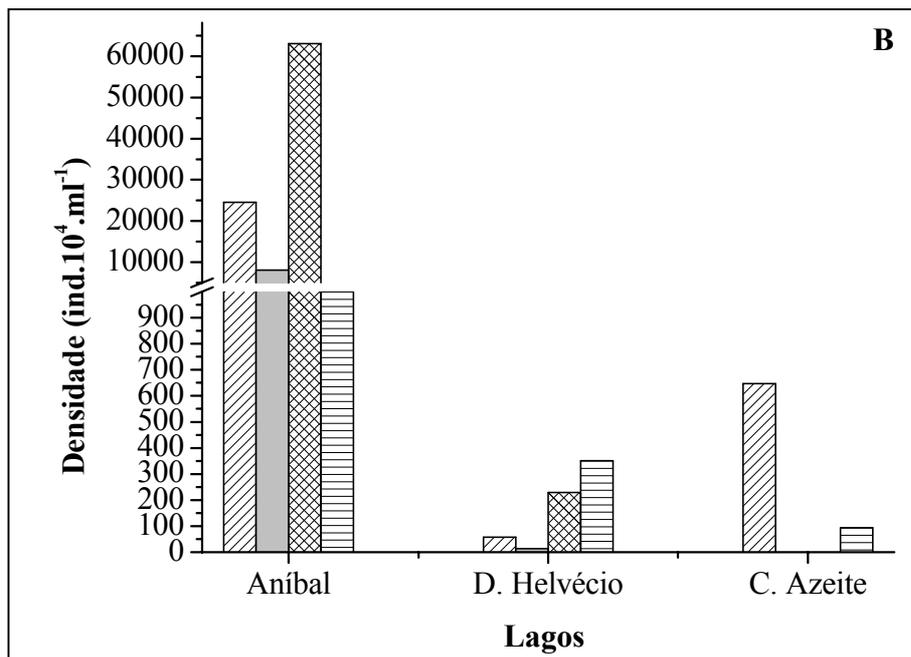
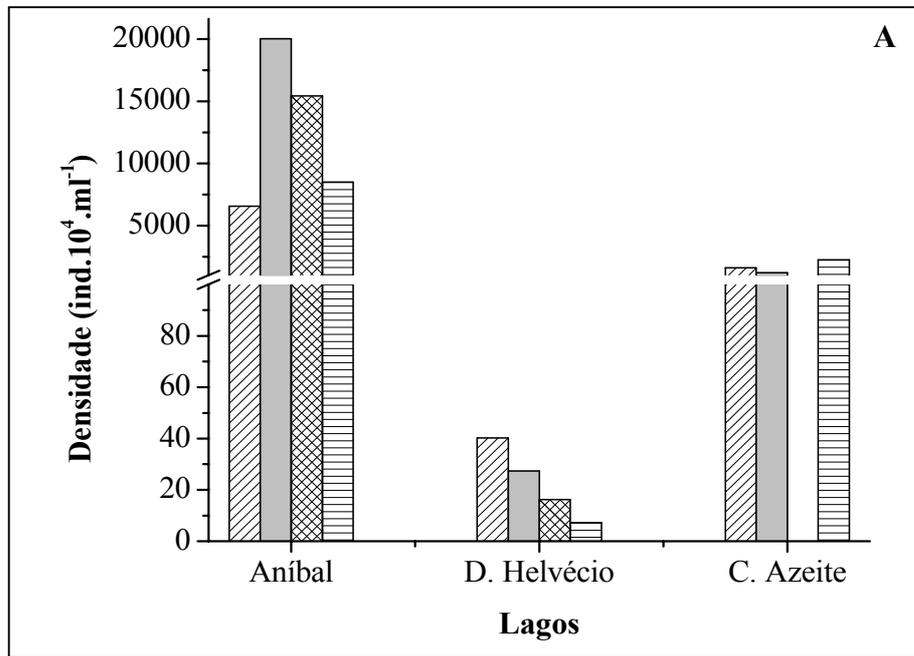


Figura 3 – Variação temporal da densidade ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) das classes Chlorophyceae (A) e Conjugatophyceae (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

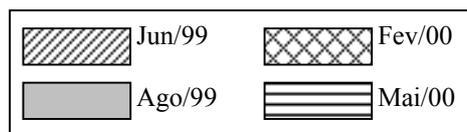
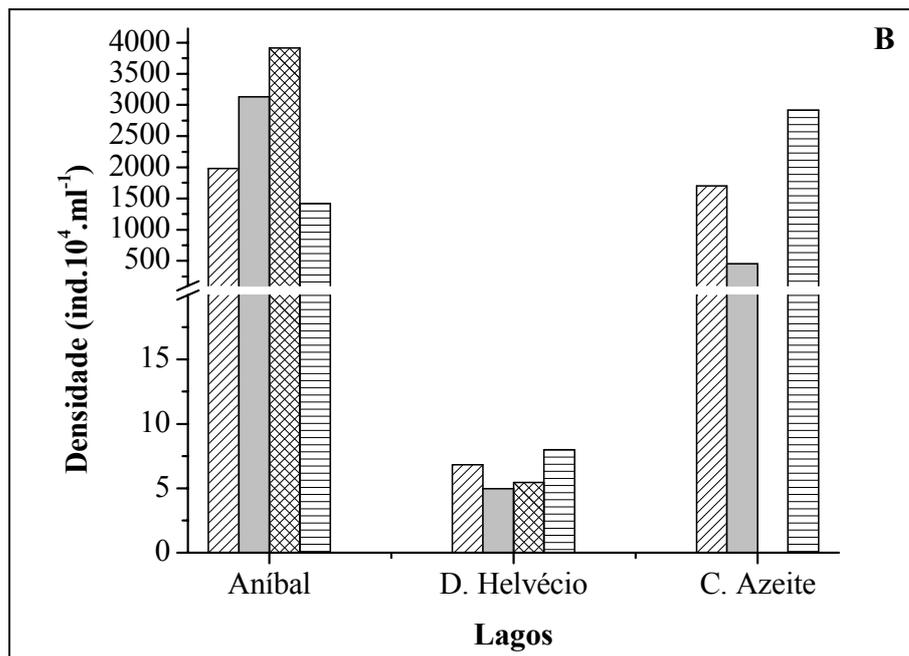
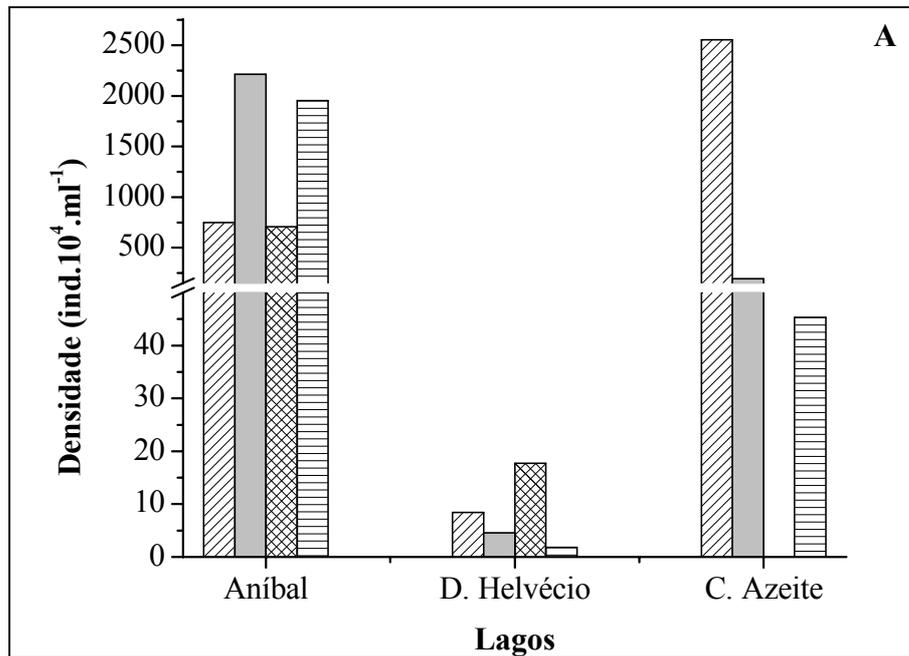


Figura 4 – Variação temporal da densidade ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) da classe Bacillariophyceae (A) e dos Fitoflagelados (B) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite.

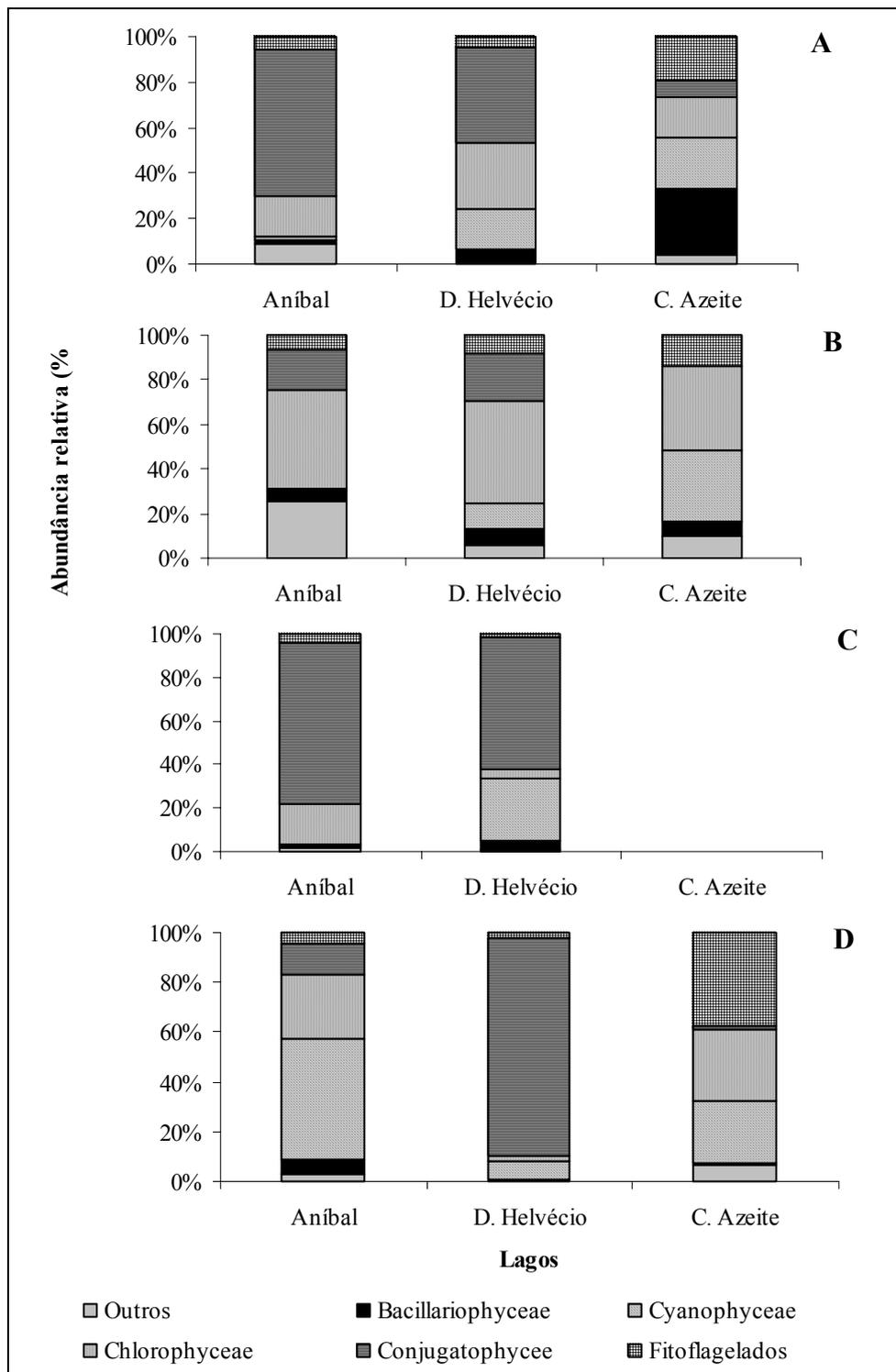


Figura 5 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

Tabela 8 – Valores médios da riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade H' (bits.ind<sup>-1</sup>) obtidos para os lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, durante o período de amostragem.

<b>Épocas de Amostragem</b>	<b>Lagos</b>	<b>R</b>	<b>J</b>	<b>D</b>	<b>H'</b>
Junho de 1999	Aníbal	30,2	0,80	0,09	3,95
	Dom Helvécio	25,8	0,86	0,07	4,02
	Carvão com Azeite	26,5	0,91	0,05	4,26
Agosto de 1999	Aníbal	37,8	0,81	0,08	4,26
	Dom Helvécio	19,8	0,85	0,10	3,65
	Carvão com Azeite	7	0,80	0,25	2,25
Fevereiro de 2000	Aníbal	27,0	0,74	0,16	3,49
	Dom Helvécio	18,6	0,68	0,22	2,84
	Carvão com Azeite	---	---	---	---
Maio de 2000	Aníbal	28,0	0,71	0,19	3,41
	Dom Helvécio	21,2	0,74	0,14	3,27
	Carvão com Azeite	15,5	0,88	0,10	3,45

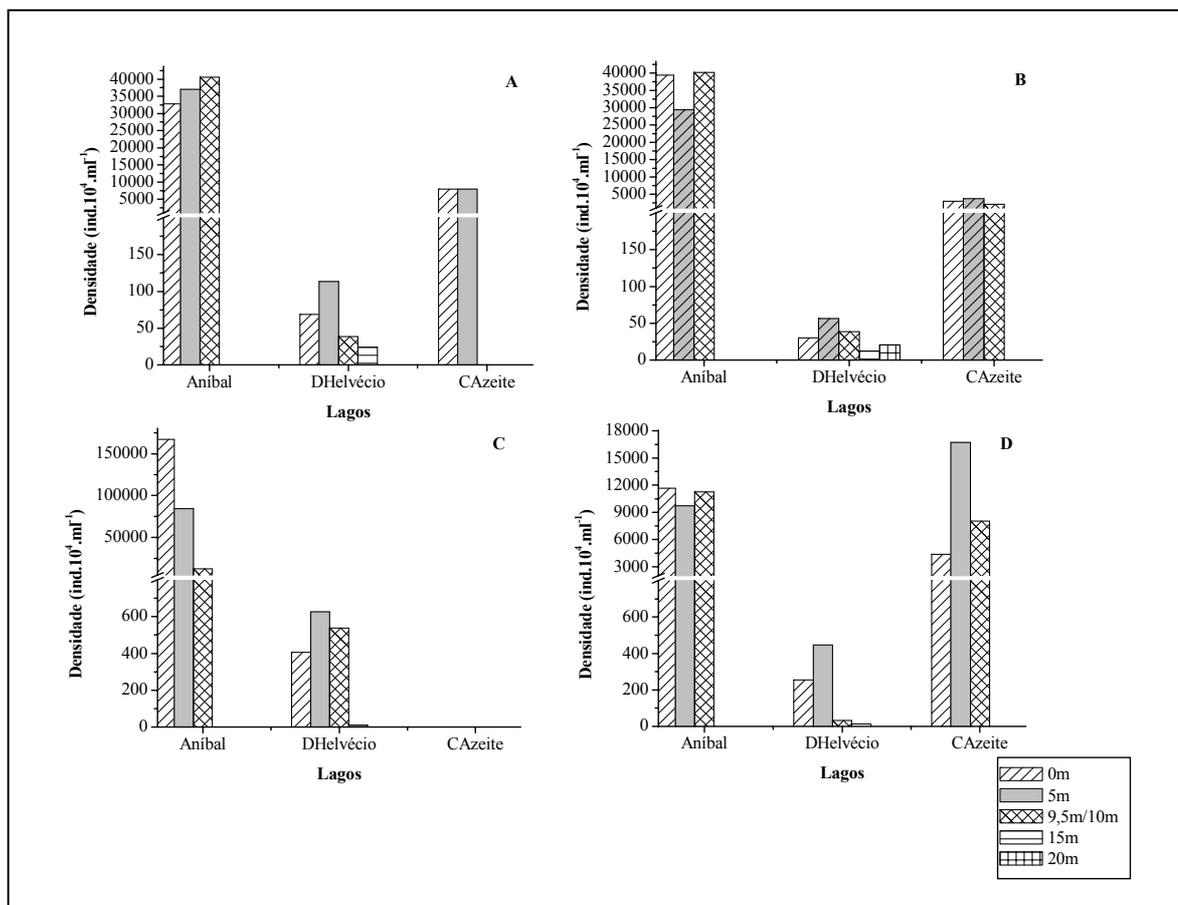


Figura 6 – Variação vertical da densidade total fitoplanctônica (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

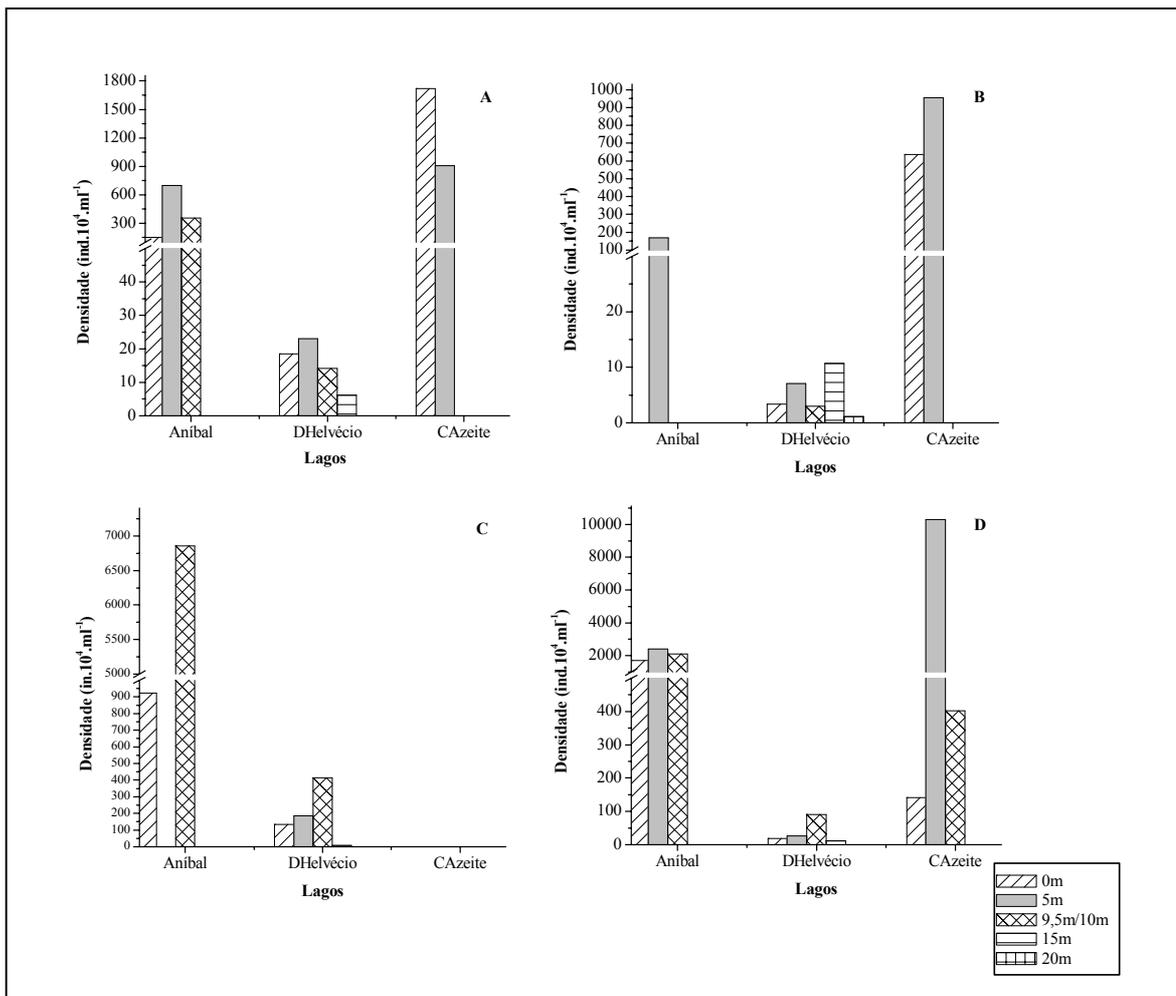


Figura 7 – Variação vertical da densidade da classe Cyanophyceae ( $\text{ind.}10^4.\text{ml}^{-1}$ ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

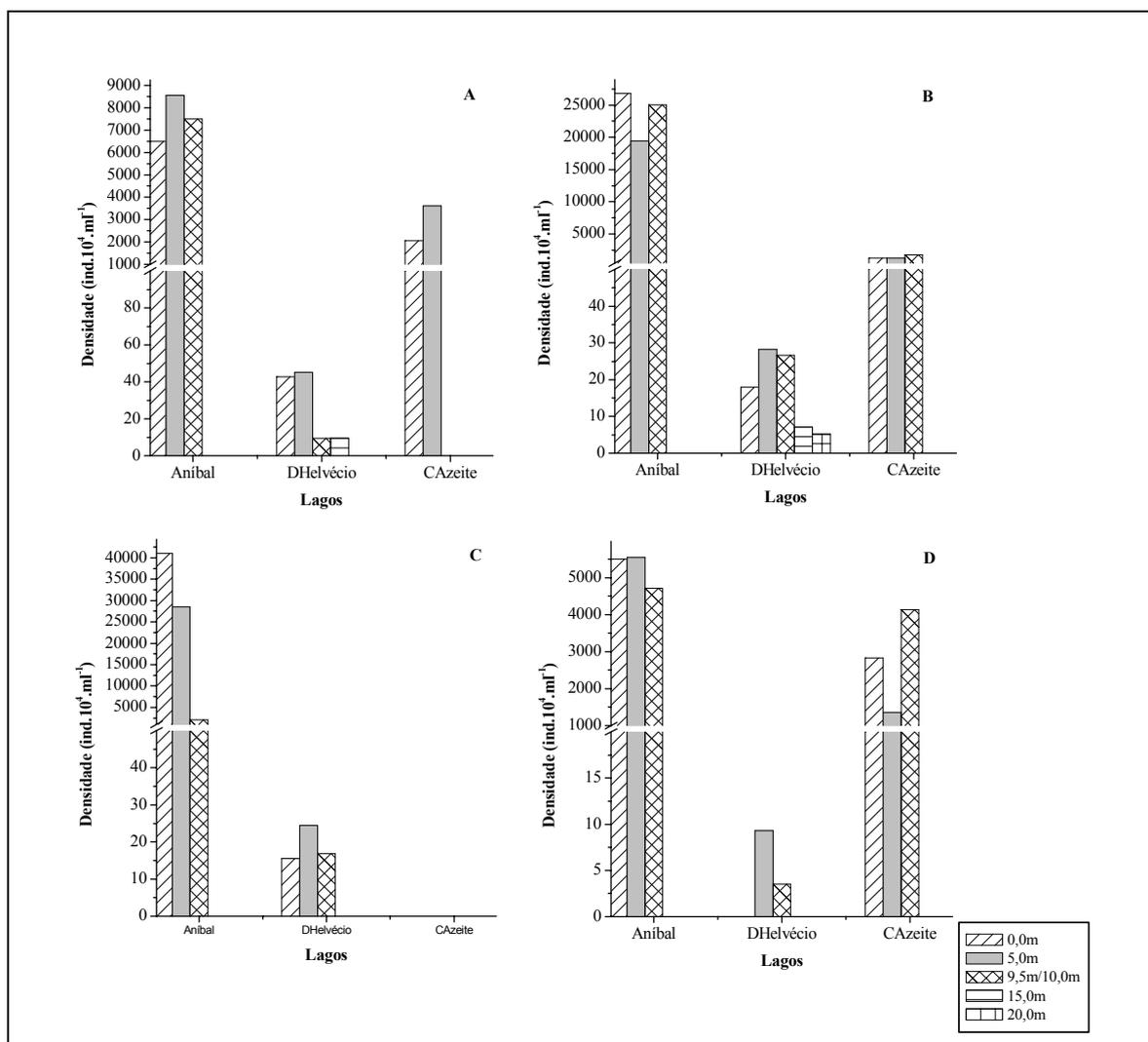


Figura 8 – Variação vertical da densidade da classe Chlorophyceae (ind.10<sup>4</sup>.ml<sup>-1</sup>) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

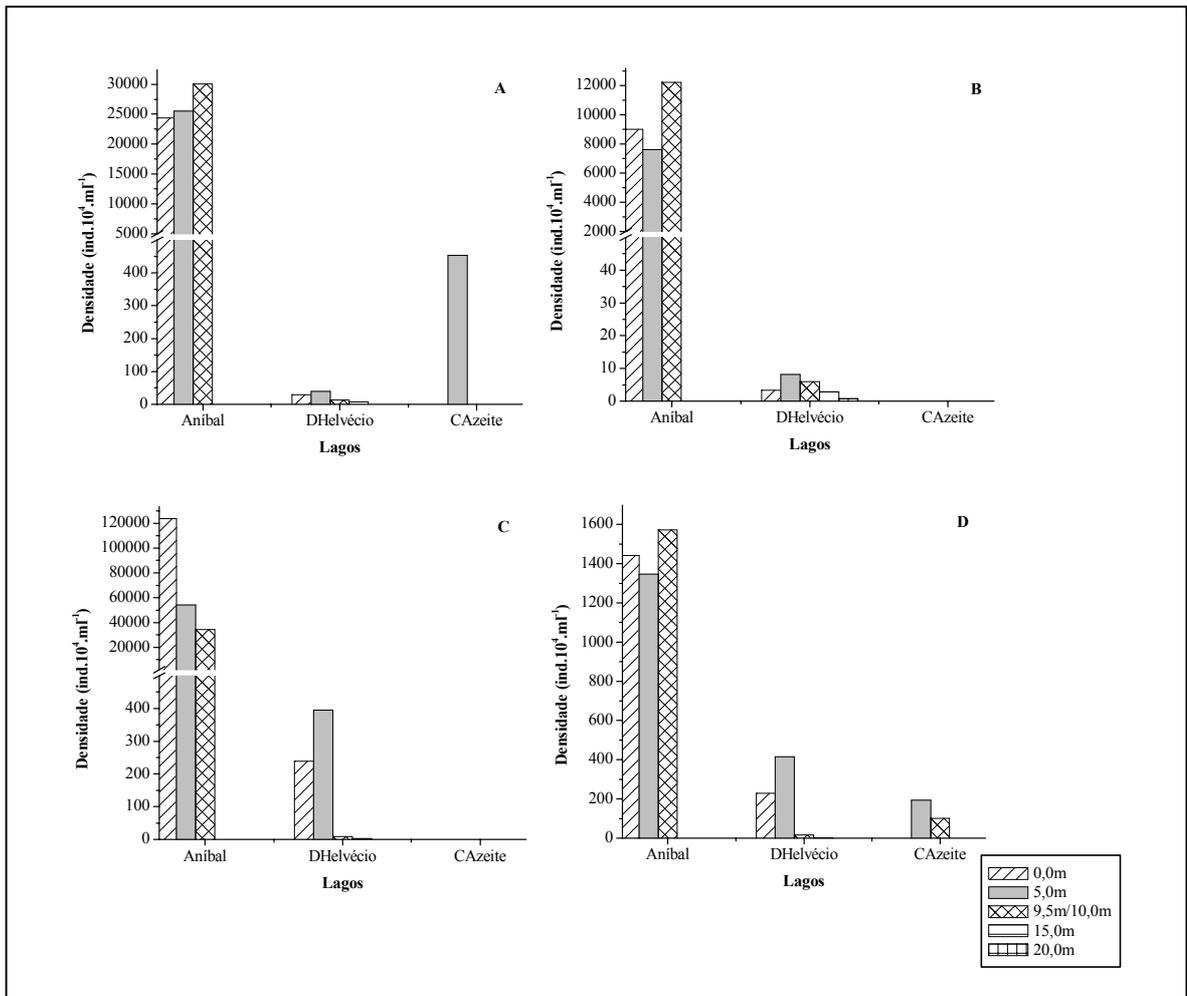


Figura 9 – Variação vertical da densidade da classe Conjugatophyceae ( $\text{ind.} \cdot 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

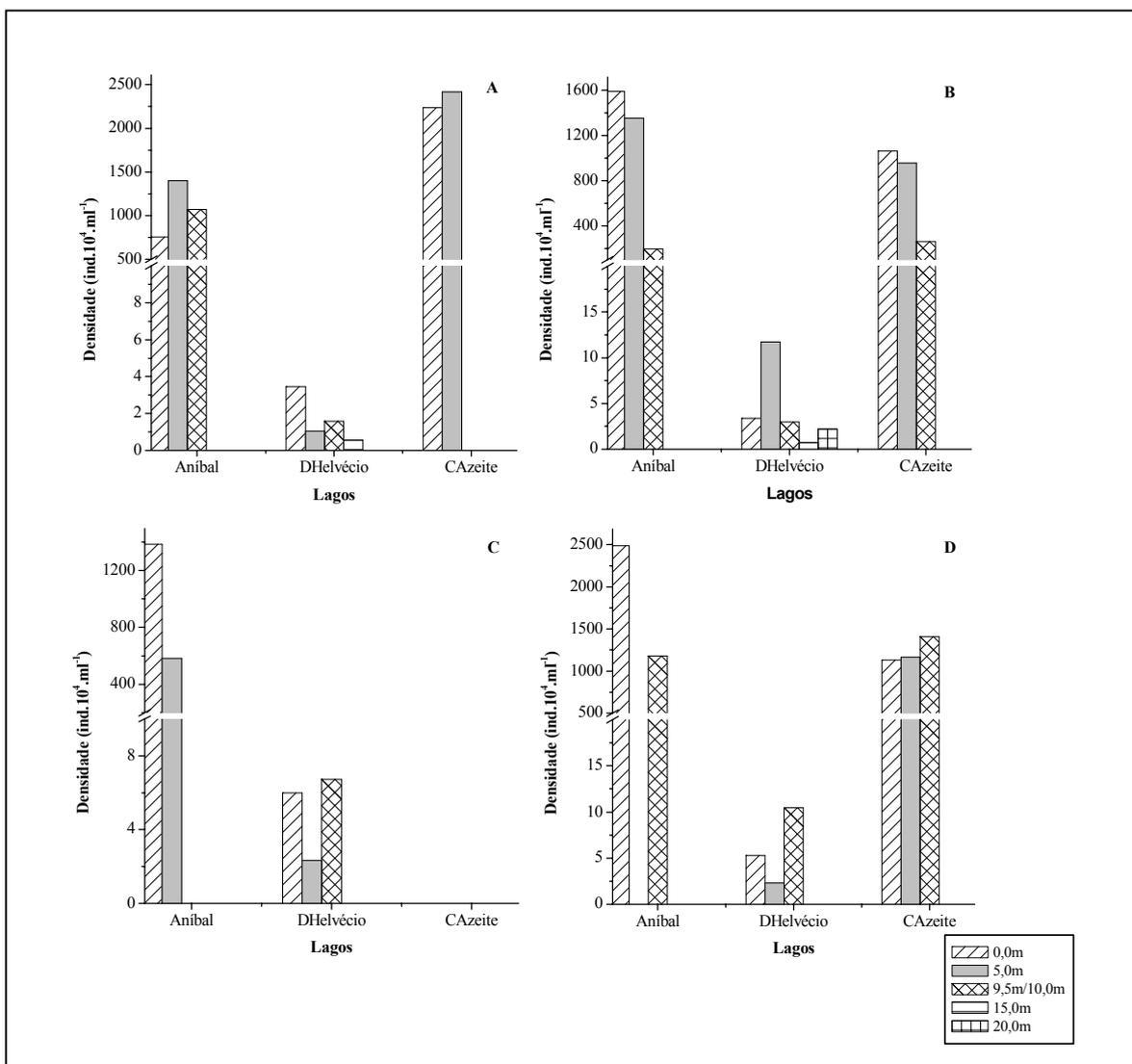


Figura 10 – Variação vertical da densidade dos fitoflagelados ( $\text{ind.}10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$ ) nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite nas amostragens de junho de 1999 (A), agosto de 1999 (B), fevereiro de 2000 (C) e maio de 2000 (D).

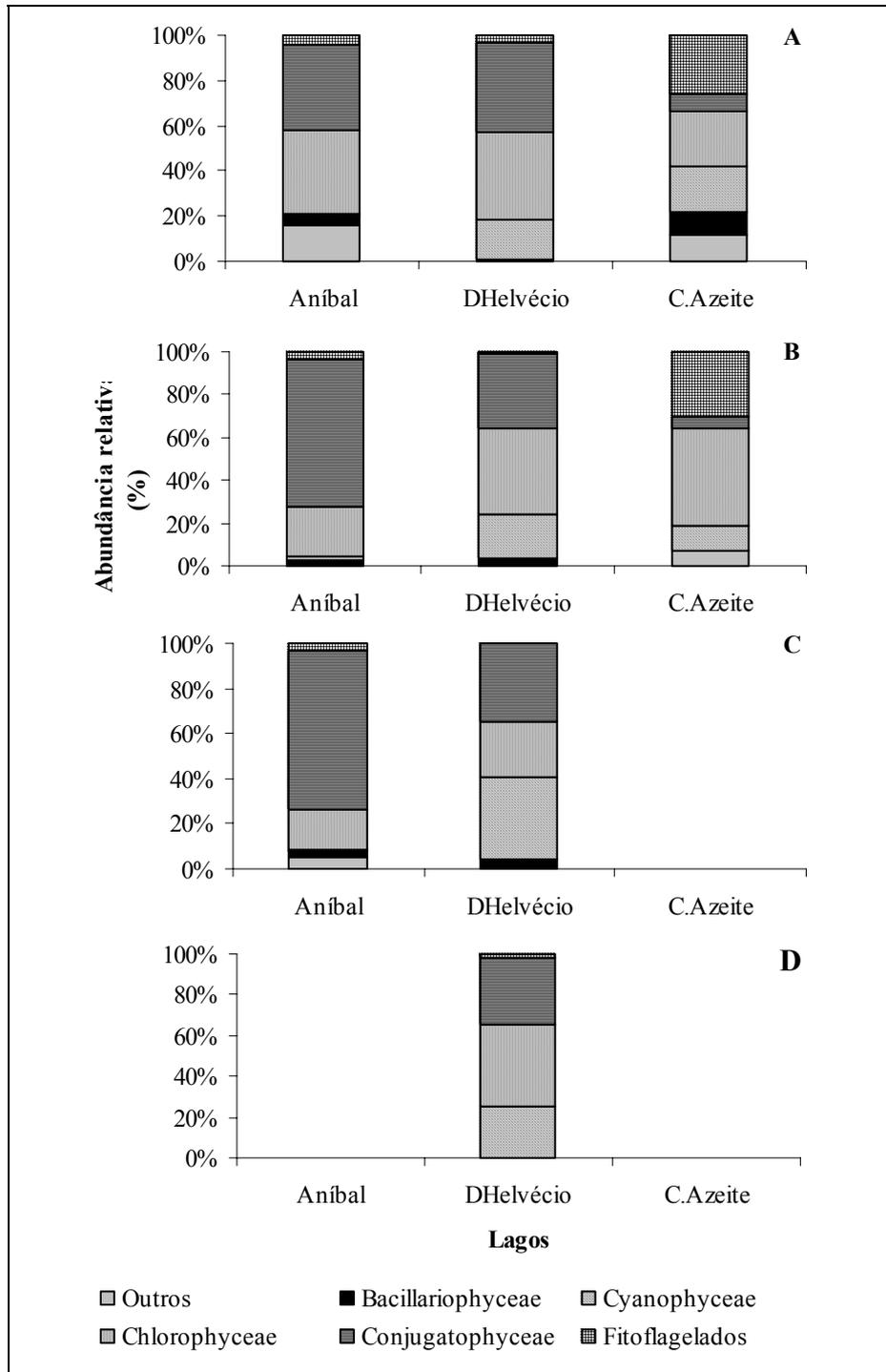


Figura 11 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite em junho de 1999, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C) e 15,0m (D).

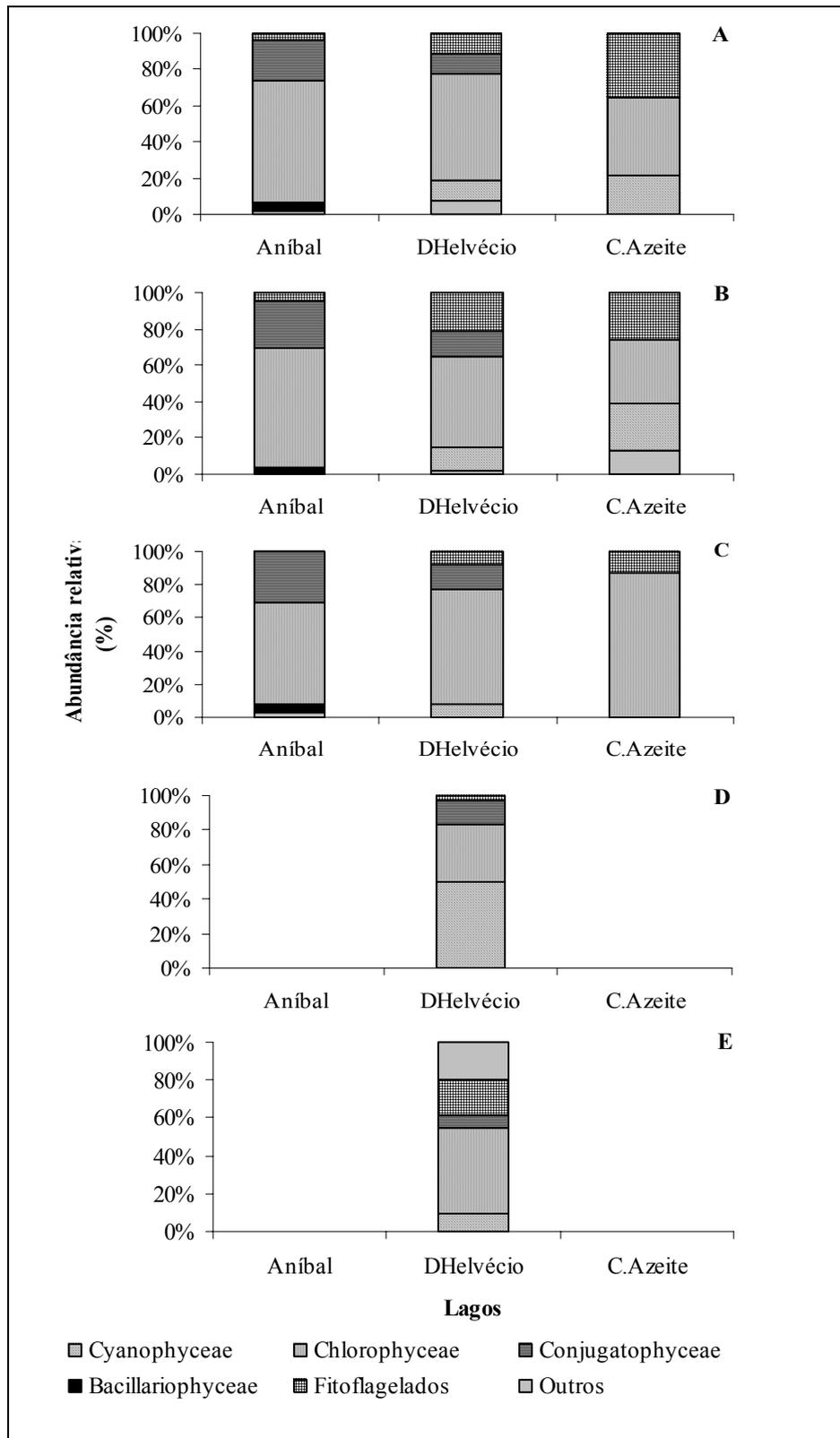


Figura 12 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite em agosto de 1999, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C), 15,0m (D) e 20,0m (E).

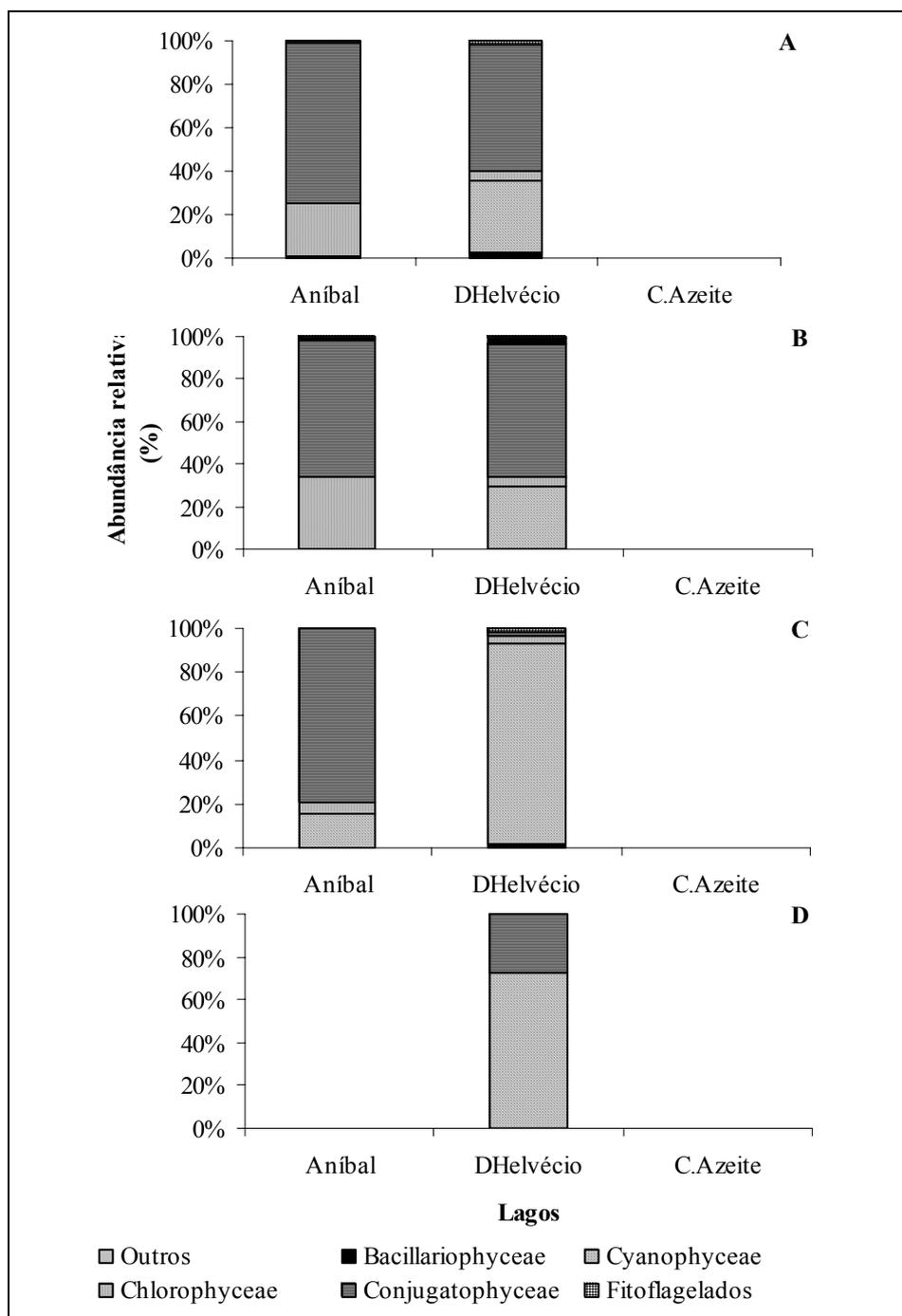


Figura 13 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal e Dom Helvécio em fevereiro de 2000, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C) e 15,0m (D).

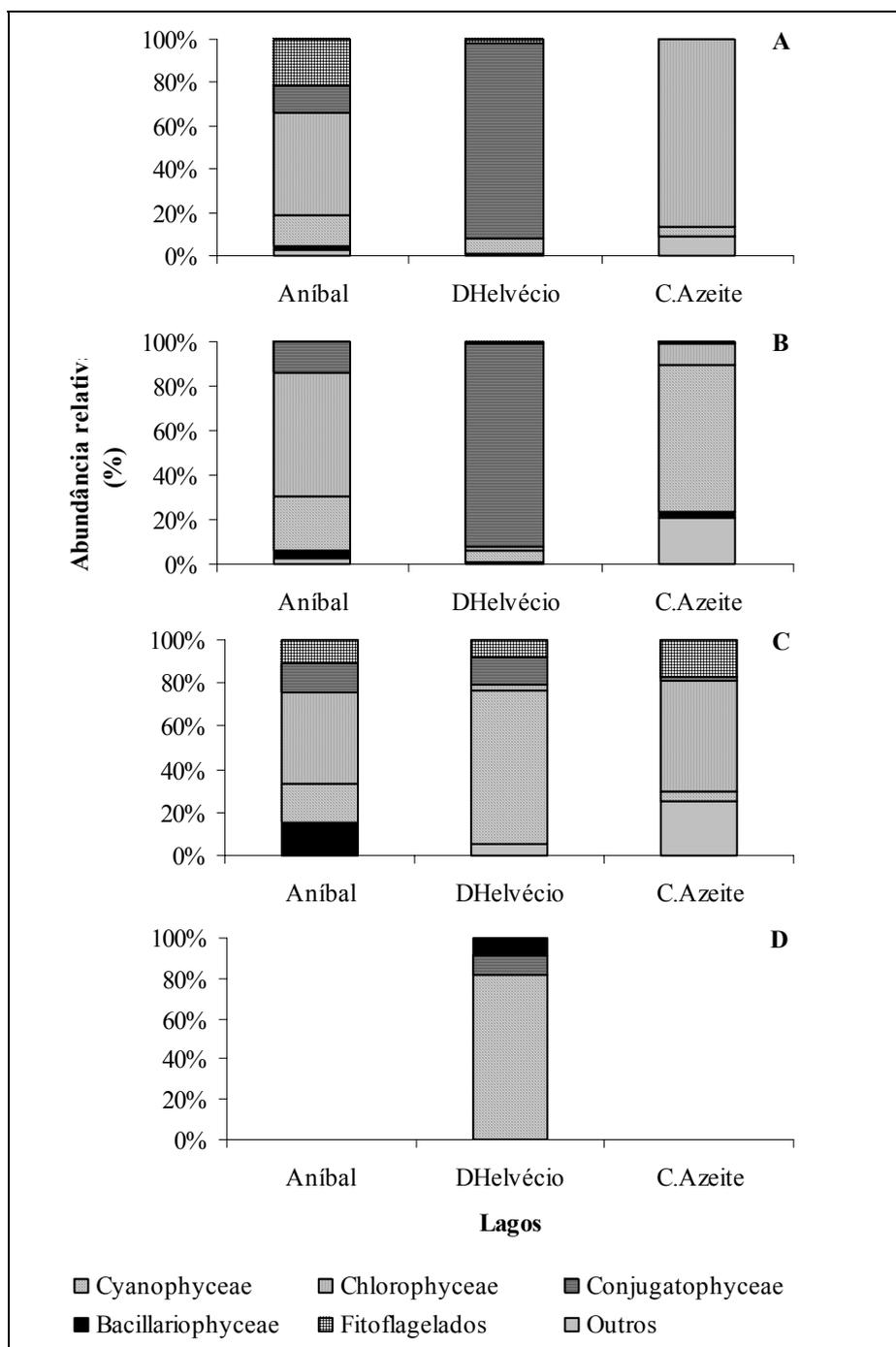


Figura 14 - Abundância relativa (%) dos grupos fitoplanctônicos nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite em maio de 2000, nas profundidades 0,0m (A), 5,0m (B), 9,5m/10,0m (C) e 15,0m (D).

Tabela 9 – Riqueza específica (R), índices de equitabilidade (J), dominância (D) e diversidade – H' (bits.ind.<sup>-1</sup>) para cada uma das profundidades avaliadas nas estações E3, E1 e E2 de amostragem durante o período de estudo nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, respectivamente.

Épocas de Amostragem	Lagos	Profundidade	R	J	D	H'	
Junho de 1999	Aníbal	0,0m	28	0,80	0,09	3,83	
		5,0m	27	0,82	0,08	3,94	
		9,5m	29	0,81	0,09	3,92	
	Dom Helvécio	0,0m	21	0,84	0,10	3,71	
		5,0m	23	0,86	0,08	3,88	
		10,0m	14	0,87	0,11	3,30	
		15,0m	12	0,79	0,15	2,85	
	Carvão com Azeite	0,0m	12	0,88	0,11	3,17	
		5,0m	9	0,70	0,29	2,24	
		10,0m	---	---	---	---	
	Agosto de 1999	Aníbal	0,0m	32	0,85	0,07	4,23
			5,0m	38	0,86	0,05	4,54
10,0m			33	0,88	0,06	4,42	
Dom Helvécio		0,0m	18	0,81	0,14	3,38	
		5,0m	18	0,90	0,08	3,74	
		10,0m	13	0,88	0,12	3,24	
		15,0m	14	0,88	0,10	3,36	
		20,0m	6	0,91	0,19	2,34	
Carvão com Azeite		0,0m	4	0,81	0,32	1,61	
		5,0m	5	0,86	0,25	2,01	
		10,0m	2	0,54	0,77	0,54	
Fevereiro de 2000		Aníbal	0,0m	32	0,73	0,13	3,66
	5,0m		22	0,69	0,18	3,07	
	10,0m		17	0,83	0,17	3,39	
	Dom Helvécio	0,0m	20	0,67	0,21	2,88	
		5,0m	23	0,60	0,25	2,72	
		10,0m	23	0,61	0,25	2,76	
		15,0m	4	0,84	0,31	1,68	
	Carvão com Azeite	0,0m	---	---	---	---	
		5,0m	---	---	---	---	
		10,0m	---	---	---	---	
	Maio de 2000	Aníbal	0,0m	25	0,85	0,09	3,94
			5,0m	22	0,76	0,16	3,41
10,0m			20	0,82	0,12	3,56	
Dom Helvécio		0,0m	11	0,92	0,11	3,19	
		5,0m	17	0,73	0,19	2,97	
		10,0m	13	0,80	0,16	2,97	
		15,0m	5	0,91	0,18	2,12	
Carvão com Azeite		0,0m	8	0,85	0,20	2,56	
		5,0m	14	0,84	0,13	3,21	
		10,0m	11	0,61	0,39	2,13	

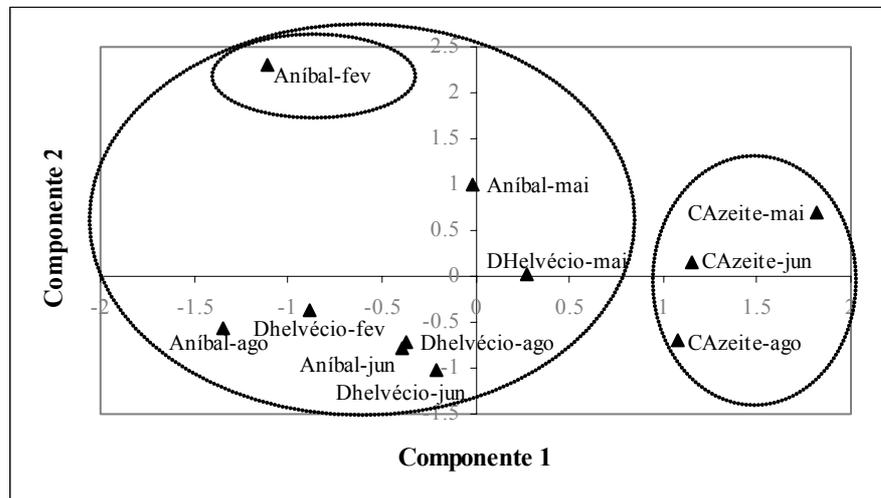
A Análise de Componentes Principais (ACP) realizada para as variáveis abióticas e densidade fitoplanctônica total explicou 74,6% da variabilidade dos dados (Tab. 10). O fator 1 (36,0%) esteve associado negativamente com o pH e o oxigênio dissolvido. O fator 2 (21,2%) esteve associado com o fósforo total e o fator 3 (17,3%) com a matéria inorgânica (Tab. 11). Em relação à ordenação dos locais (lagos) e épocas de coleta, o componente 1 discriminou o lago Carvão com Azeite dos lagos Aníbal e Dom Helvécio, ao passo que o componente 2 separou o lago Aníbal em fevereiro de 2000 das demais coletas e lagos. O fator 3 distanciou o lago Carvão com Azeite em junho de 1999 (Figs. 15 e 16).

Tabela 10 – Número de *Eigenvalues* (fatores), seus valores e porcentagens da variância total e acumulada obtidos na Análise de Componentes Principais das variáveis químicas e do fitoplâncton total em função dos locais (lagos) e épocas de amostragem.

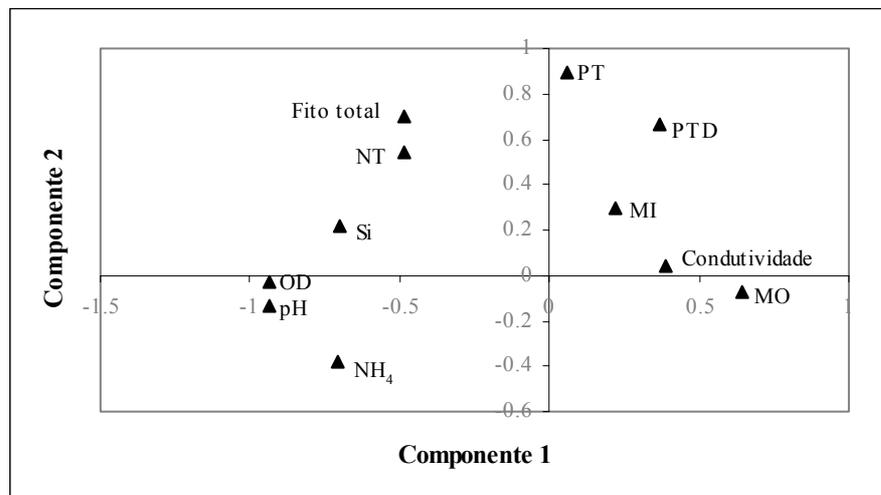
<b>Número do <i>Eigenvalue</i></b>	<b>Valor do <i>Eigenvalue</i></b>	<b>% total da variância</b>	<b>% acumulada da variância</b>
1	3,964948	36,04	36,04
2	2,338423	21,26	57,30
3	1,902212	17,29	74,59

Tabela 11 – Valores dos coeficientes de correlação das variáveis químicas e do fitoplâncton total dos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, com os componentes principais 1, 2 e 3 (\* corresponde aos valores mais significativos para cada fator).

<b>Variáveis</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>
Fito total	-0,4874	0,698483	-0,15395
OD	-0,93439*	-0,0306	0,239557
pH	-0,9355*	-0,1321	0,104771
Condutividade	0,391466	0,044903	-0,02705
N-NH <sub>4</sub>	-0,70877	-0,38175	-0,16308
NT	-0,48378	0,539011	-0,54293
PTD	0,365062	0,669524	0,415208
PT	0,057077	0,897934*	0,403625
Si-Si(OH) <sub>4</sub>	-0,7007	0,21957	-0,37474
MI	0,219628	0,29349	-0,81571*
MO	0,643257	-0,07057	-0,589

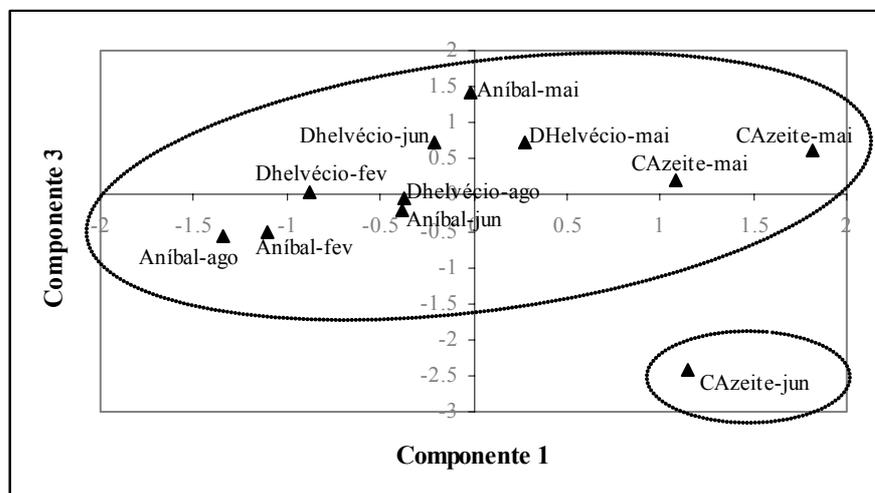


A

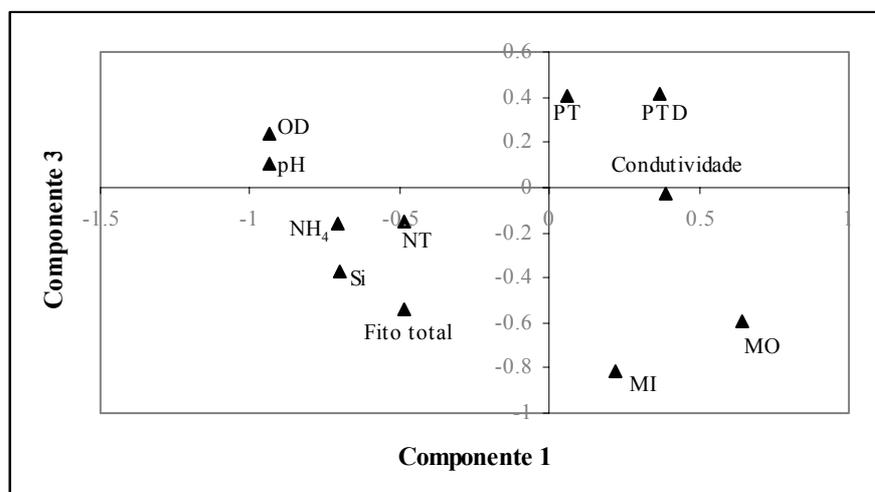


B

Figura 15 - Ordenação pela ACP dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis analisadas (B) - Componente 1 x Componente 2.



A



B

Figura 16 - Ordenação pela ACP dos locais (lagos) e épocas de amostragem (A) e das variáveis analisadas (B) - Componente 1 x Componente 3.

## DISCUSSÃO & CONCLUSÕES

A comunidade fitoplanctônica sofre freqüentes e contínuas reorganizações na composição e abundância relativa das espécies, resultantes da interação entre diversos fatores físicos, químicos e biológicos (HUSZAR, 1994).

Neste estudo, observou-se que os lagos apresentam padrão de circulação semelhante, porém a duração dos períodos de estabilidade e isoterminia da coluna d'água esteve intimamente relacionada com a morfologia de cada lago. Características químicas (como nutrientes, pH, material em suspensão) e físicas (como morfometria, transparência, extensão da zona eufótica e presença de macrófitas aquáticas) foram responsáveis pela variação na estrutura do fitoplâncton entre os três lagos avaliados.

A grande representatividade quantitativa de Chlorophyceae e Cyanophyceae foi comum aos três lagos avaliados. Porém, diferenças contrastantes também foram verificadas, no que se refere à riqueza de espécies, às espécies que compõem os principais grupos de algas, à contribuição de cada grupo na estrutura da comunidade e à variabilidade vertical.

Segundo HUSZAR (1994), tanto em lagos tropicais como temperados é evidente que a divisão Chlorophyta (Chlorophyceae + Conjugatophyceae) contribui com a maioria de espécies. HUSZAR *et al.* (1990) constataram que Chlorophyceae e Cyanophyceae também foram os grupos de maior densidade nos lagos do Baixo Rio Doce e que Chlorophyceae foi a que apresentou maior riqueza específica.

As maiores densidades fitoplanctônicas totais e da maioria dos diversos grupos estiveram relacionadas às concentrações de nutrientes (principalmente NT) no lago Aníbal, evidenciadas pelas análises estatísticas.

Limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton é um tema complexo, sobretudo em regiões tropicais, onde a liberação de nutrientes por atividade microbiológica e/ou regeneração por herbívoros processam-se muito rapidamente na coluna d'água (ESTEVEES, 1988; HUSZAR, 1994). Entretanto, HORNE & GOLDMAN (1994) afirmaram que o fósforo é, geralmente, o fator limitante mais importante na produção fitoplanctônica devido ao fato de ocorrer em baixas concentrações. Experimentos de enriquecimento realizados por HENRY *et al.* (1997a e 1997b) confirmaram que o aumento nas concentrações de N e P sobre a biomassa fitoplanctônica e produção

primária. Dessa forma, provavelmente, condições mais oligotróficas, indicadas pelas concentrações de NT, PT e IET determinaram a menor densidade fitoplanctônica no lago Dom Helvécio e, inversamente, a maior eutrofia determinou maiores densidades no lago Aníbal.

As condições de maior e menor grau de trofia são reforçadas quando analisadas as diferenças entre estes dois lagos em relação à composição e à contribuição dos grupos do fitoplâncton. Apesar de ambos os lagos as Conjugatophyceae apresentaram grande contribuição relativa, sendo associadas a ambientes oligotróficos, a importância das Chlorococcales, em número de táxons e densidade relativa, foi mais evidente no lago Aníbal. Segundo COMAS (1996), este grupo de algas habitam preferencialmente águas mesotróficas a eutróficas.

Devido às características distróficas, total cobertura de macrófitas aquáticas do lago Carvão com Azeite, a comunidade deste lago foi bem diferenciada dos outros dois lagos avaliados. Observou-se que a classe Euglenophyceae foi um componente importante no fitoplâncton deste lago, estando associada às maiores concentrações de matéria orgânica. A ocorrência de *Choricystis* sp., um táxon comumente relatado para lagos de planície de inundação e a alta contribuição relativa classe Bacillariophyceae estiveram relacionadas à grande quantidade de macrófitas no lago.

Provavelmente, um dos fatores da menor contribuição e número de espécies das classes Chlorophyceae e Conjugatophyceae no lago Carvão com Azeite foi a baixa transparência e, conseqüentemente, baixa Zeu. Isso foi particularmente evidenciado nas amostragens de distribuição vertical dos lagos Aníbal e Dom Helvécio, onde tais grupos se desenvolveram principalmente nas camadas de maior luminosidade. JENSEN *et al.* (1994) comentaram que Cyanophyta é, geralmente, melhor adaptada a baixas condições luminosas que Chlorophyta.

Por outro lado, a grande contribuição de Cyanophyceae foi verificada para os três lagos, mas principalmente nos lagos Dom Helvécio e Carvão com Azeite durante os períodos estratificados, nas quais essas algas foram dominantes no metalímnio. Esses resultados vão de acordo com REYNOLDS (1997) e TUNDISI *et al.* (1997), sobre a importância do grupo nos diversos lagos do Vale do Rio Doce e corroboram com o observado por REYNOLDS *et al.* (1983) e HINO *et al.* (1986) sobre seu desenvolvimento na camada metalimnética em períodos de estratificação.

Em relação às Conjugatophyceae, estas estiveram compostas quase exclusivamente por desmídias. BROOK (1981) e HAPPEY-WOOD (1988) comentaram que as desmídias geralmente estão presentes em números relativamente baixos no fitoplâncton. A ocorrência deste grupo de algas tem sido relatada como componentes importantes das “amostragens de rede” e tem sido associada à presença das macrófitas aquáticas, porém com reduzida importância quantitativa no fitoplâncton (DIAS-JÚNIOR, 1990; PERES, 1997; TANIGUCHI *et al.*, 2000; DELLAMANO-OLIVEIRA, 2001), pois possuem habitat preferencialmente metafítico/perifítico. Verificou-se que, nos lagos do Vale do Rio Doce, as desmídias possuem grande importância numérica no fitoplâncton, sendo relatado por TUNDISI *et al.* (1997b) e REYNOLDS (1997). No presente estudo, esta importância foi observada nos lagos Aníbal e Dom Helvécio. Nestes lagos, as desmídias de maior abundância puderam ser consideradas como verdadeiramente planctônicas, de pequeno tamanho ou dotadas de processos para aumento da relação superfície volume, evitando assim a sedimentação, como *Actinotaenium perminutum*, *Cosmarium asphaerosporum* var. *strigosum*, *Staurastrum excavatum*, *S. smithii*, *S. tetracerum* e *Stauroidesmus* cf. *pterosporus*, entre outros. Táxons caracteristicamente metafíticos/perifíticos, de maior tamanho foram observados nas amostragens qualitativas da região litorânea, onde há presença de macrófitas aquáticas, como *Cosmarium margaritatum*, *C. pseudoconnatum*, *Netrium digitus*, *Pleurotaenium ehrenbergii*, *Stauroidesmus triangularis* var. *latus*, entre outros. Diferentemente, o lago Carvão com Azeite, teve baixa contribuição numérica de desmídias e estiveram presentes nas amostras qualitativas e compostas por espécies metafíticas/perifíticas.

A classe Bacillariophyceae (diatomáceas), como comentado anteriormente, teve sua ocorrência relacionada à presença das macrófitas aquáticas no lago Carvão com Azeite. A importância deste grupo não se deu somente em termos quantitativos, mas também qualitativos, pois nas análises das lâminas permanentes, foram mais abundantes neste lago. Dentre as diatomáceas é importante citar a ocorrência de grande quantidade de *Eunotia* neste tipo de análise que segundo SOUZA, M. G. M. (comunicação pessoal) está relacionado a ambientes mais ácidos.

A distribuição vertical das espécies pode variar substancialmente com o tempo, com a profundidade e em relação à segregação física da coluna d'água. Resulta de interações entre atributos dos organismos e os movimentos das camadas de água,

dependendo das condições de turbulência do ambiente. A dimensão vertical é, portanto, de grande importância para o fitoplâncton visto que ambiente pode ser estável, por períodos suficientemente grandes, para sobrepassar o tempo de geração das algas, tornando possível o crescimento diferenciado em distintas profundidades (HUSZAR, 1994). Os lagos do Vale do Rio Doce caracterizam-se, entre outras coisas, pela ocorrência de períodos de estabilidade térmica e isoterma bem marcados, sendo classificados como lagos monomíticos quentes. Verificou-se que para os três lagos a ocorrência da estratificação térmica, acompanhada de estratificação química, foi de extrema importância para a distribuição heterogênea do fitoplâncton ao longo da coluna d'água.

A variação da densidade nas amostras de perfil vertical apresentou diferenças entre os três lagos não evidenciadas nas amostragens do eixo horizontal. A densidade total fitoplanctônica do lago Carvão com Azeite superou a do lago Aníbal em maio de 2000, indicando a forte influência da estabilidade térmica sobre o desenvolvimento do fitoplâncton na camada metalimnética. Além disso, a classe Cyanophyceae apresentou maiores densidades no lago Carvão com Azeite em todas as amostragens. Verificou-se que a tendência da variação vertical na densidade total do fitoplâncton no lago Dom Helvécio é semelhante em todos os períodos de amostragem. Nos lagos Aníbal e Carvão com Azeite essa tendência difere entre períodos de isoterma e heteroterma.

Através da análise de distribuição vertical da comunidade pôde-se constatar que:

- a classe Cyanophyceae foi importante componente do metalímnio nos lagos Dom Helvécio e Carvão com Azeite, durante períodos de estratificação térmica. Durante períodos de isoterma, a distribuição deste grupo ocorreu de maneira aleatória;
- as classes Chlorophyceae e Conjugatophyceae ocorreram nas camadas de maior luminosidade na época de estratificação térmica no lago Aníbal e em todas as coletas do lago Dom Helvécio. No lago Carvão com Azeite as Chlorophyceae não apresentaram padrão definido e Conjugatophyceae foram praticamente ausentes.
- durante a isoterma, os fitoflagelados ocorreram preferencialmente aos 0,0 e 5,0m nos lagos Dom Helvécio e Carvão com Azeite e durante a estratificação, as maiores densidades foram verificadas aos 10,0m. No lago Aníbal, estas algas ocorreram principalmente na superfície da coluna d'água.

As diferenças físicas e químicas entre os lagos refletiram na sua ficoflórula, sendo que 51 táxons ocorreram exclusivamente no lago Dom Helvécio, 46 no lago Aníbal e 35 no lago Carvão com Azeite, considerando apenas aqueles táxons ocorrentes nas amostragens de distribuição horizontal. Grande semelhança foi observada entre os lagos Aníbal e Dom Helvécio, que tiveram 44 táxons em comum. Entretanto, apenas 5 táxons foram comuns aos três lagos. Com relação aos índices biológicos, observou-se que as maiores riquezas específicas e diversidades ocorreram nos lagos Aníbal e Dom Helvécio as menores no lago Carvão com Azeite, melhor evidenciado nas amostragens do eixo vertical. Nestas, a estratificação térmica não alterou a diversidade ao longo da coluna d'água nos lagos Aníbal e Dom Helvécio, porém no lago Carvão com Azeite aumentou a diversidade no metalímnio. Menor número de espécies e menor diversidade em ambientes mais ácidos também foram observados por ROSA *et al.* (1987) e SIEGFRIED *et al.* (1989). Assim pode-se dizer que as condições de distrofia no lago Carvão com Azeite também foram refletidas na riqueza e na diversidade.

Os índices de diversidade ( $H'$ ) estimados para os lagos Aníbal e Dom Helvécio podem ser considerados altos quando comparados aos índices obtidos por HUSZAR *et al.* (1990) para alguns lagos do Baixo Rio Doce e assemelham-se àqueles observados por DELLAMANO-OLIVEIRA (2001) para um lago natural de características ultra-oligotróficas (Lagoa do Caçó – Maranhão).

Baseado no estudo da comunidade fitoplanctônica nos lagos Aníbal, Dom Helvécio e Carvão com Azeite, pode-se concluir que:

- as maiores densidades fitoplanctônicas verificadas no lago Aníbal foram relacionadas à maior concentração de nutrientes, principalmente NT;
- a presença em maior densidade relativa e número de espécies de Chlorococcales esteve relacionado à características mais eutróficas do lago Aníbal;
- a presença em maior densidade relativa e número de espécies de Conjugatophyceae (desmídias) no lago Dom Helvécio foi associada às condições mais oligotróficas;
- no lago Carvão com Azeite, devido às suas características distróficas e à total cobertura por macrófitas aquáticas, favoreceram o desenvolvimento das Euglenophyceae, Bacillariophyceae (especialmente do gênero *Eunotia*) e desmídias perifíticas;

- a classe Cyanophyceae é um importante grupo de algas no fitoplâncton dos lagos do Vale do Rio Doce, especialmente no metalímnio durante períodos de estratificação térmica;
- a riqueza específica e os índices de diversidade foram menores no lago Carvão com Azeite, relacionadas à distrofia do sistema;
- levando-se em consideração à composição, abundância dos táxons e densidade relativa, pode-se dizer que os lagos Aníbal e Dom Helvécio são mais semelhantes entre si e que o lago Carvão com Azeite é o ambiente de características mais distintas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, P. M.; PEREIRA, M. C. A. & SILVA, L. V. C. 1997. The vegetation of Rio Doce State Park. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. p. 15-21.
- BARBOSA, F. A. R. 1981. **Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na lagoa Carioca – Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. Tese (Doutorado).
- BICUDO, D. C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. **Acta Limnologica Brasiliensia** 3: 459-475.
- BROOK, A. J. 1981. **The biology of desmids**. Botanical Monographs 16. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 276 p.
- CNPM – EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Carta IBGE**. Disponível em < [www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br](http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br) >. Acesso em outubro de 2002.
- COLE, G. 1994 **Textbook of limnology**. Saint Louis : The C. V. Mosby. 283 p.
- COMAS, A. 1996. **Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba**. Bibliotheca Phycologica 99. Berlin: J. Cramer. 192p. + 65 figuras.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J. 2001. **Estudo da comunidade fitoplanctônica da lagoa do Cacó (MA), frente às mudanças sazonais na localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 155p.
- DIAS-JÚNIOR, C. 1990. **Ciclo annual do fitoplâncton e algumas variáveis ambientais na lagoa do Infernã (SP.)**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 108p. Dissertação (Mestrado).
- ESTEVES, F. A. 1988. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência. 575p.
- HAPPEY-WOOD, C. M. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. *In*: SANDGREN, C. D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 175-226.

- HENRY, R.; TUNDISI, J. G.; CALJURI, M. C.; IBAÑEZ, M. S. R.; MITAMURA, O. MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E. G. & GUILLÉN, S. M. 1997a. Addition of phosphate and ammonia and their effects on primary productivity by phytoplankton of Lake Dom Helvécio in experiments using large enclosures. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 391-397.
- HENRY, R.; TUNDISI, J. G. & IBAÑEZ, M. S. R. 1997b. Enrichment experiments and their effects on phytoplankton (biomass and primary productivity). *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.) **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. pp. 243-263.
- HINO, K.; TUNDISI, J. G. & REYNOLDS, C. S. 1986. Vertical distribution of phytoplankton in a stratified lake (lago Dom Helvecio, Southeastern Brazil) with special reference to the metalimnion. **Japanese Journal of Limnology** 47(3): 239-246.
- HORNE, A. J. & GOLDMAN, C. R. 1994. **Limnology**. New York: McGraw Hill.
- HUSZAR, V. L. M. 1994. **Fitoplâncton de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita (lago Batata, Pará, Brazil)**: estrutura da comunidade, flutuações espaciais e temporais. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 219 p. Tese (Doutorado).
- HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. & ESTEVES, F. A. 1990. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia** 50(3): 585-598.
- JENSEN, J. P.; JEPPESEN, E.; OLRİK, R. & KRISTENSEN, P. 1994. Impact of nutrients and physical factors on the shift from Cyanobacterial to Chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 51: 1692-1699.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J. & TALLING, J. F. 1978. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. Ambleside: Freshwater Biological Association Scientific Publication, n. 36. 120 p.
- MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press. 179p.
- MARGALEF, R. 1983. **Limnologia**. Barcelona: Ed. Omega. 1010 p.

- MORETTO, E. M. 2001. **Diversidade zooplancônica e variáveis limnológicas das regiões limnética e litorânea de cinco lagoas do Vale do Rio Doce – MG, e suas relações com o entorno.** São Carlos: Universidade de São Paulo. 268p. Dissertação (Mestrado).
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. 1977. As unidades morfo-estratigráficas neoquaternárias do médio rio Doce. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 49(3): 443-459.
- MOUSINHO-DE-MEIS, M. R. & MONTEIRO, A. M. F. 1979. Upper Quaternary “rampas”. Rio Doce valley, Southeastern Brazilian Plateau. **Zeitschr. Für Geomorph.** 23: 132-151.
- ODUM, E. P. 1988. **Fundamentos de ecologia.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 927 p.
- PERES, A. C. 1997. **Chlorophyta da lagoa do Diogo e variáveis físicas e químicas, Estação Ecológica do Jataí, Município de Luiz Antonio (SP).** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 131 p. Dissertação (Mestrado).
- REYNOLDS, C. S. 1997. On the vertical distribution of phytoplankton in the middle rio Doce Vale lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. p. 227-241.
- REYNOLDS, C. S.; TUNDISI, J. G. & HINO, K. 1983. Observations on a metalimnetic *Lyngbya* population in a stably stratified tropical lake (lagoa Carioca, Eastern Brazil). **Archiv für Hydrobiologie** 97(1): 7-17.
- ROS, J. 1979. **Práctica de ecología.** Barcelona: Ed. Omega. 181 p.
- ROSA, Z. M.; UNGARETTI, I.; KREMER, L. M.; SILVA, S. M. A.; CALLEGARO, V. L. M. & WERNER, V. R. 1987. Ficoflora de ambientes lênticos – estudo preliminar da região de Charqueadas, Rio Grande do Sul, Brasil, com vistas à avaliação ambiental. **Acta Botânica Brasílica** 1(2): 165-188.
- SALAS, H. J. & MARTINO, P. 1988. **Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales.** Organización Mundial de la Salud / Organización Pan-Americana de la Salud – OPS / Centro Pan-Americano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS: 51p.

- SIEGFRIED, C. A.; BLOOMFIELD, J. A. & SUTHERLAND, J. W. 1989. Acidity status and phytoplankton species richness, standing crop, and community composition in Adirondack, U.S.A. lakes. **Hydrobiologia** 175: 13-32.
- SIF. 1990. **Plano diretor do Parque Florestal Estadual do Rio Doce**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais/Instituto Estadual de Florestas – MG. 99 p.
- TANIGUCHI, G. M.; BICUDO, D. C. & SENNA, P. A. C. 2000. Intercâmbio populacional de desmídias planctônicas e perifíticas na lagoa do Diogo, planície de inundação do rio Mogi-Guaçu. *In*: SANTOS, J. E. & PIRES, J. S. R. (eds.). **Estação Ecológica de Jataí**. v. 2. São Carlos: RiMa. pp. 431-444.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G. & KUTNER, M. B. 1965. Plankton studies in a mangrove. II: The standing-stock and some ecological factors. **Boletim do Instituto Oceanográfico** 24: 23-41.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 1982. Estudos limnológicos no sistema de lagos do médio rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Anais do II Seminário Regional de Ecologia**, pp. 133-258.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA- TUNDISI, T.; CALIJURI, M. C.; HENRY, R.; IBAÑEZ, M. S. R. & NAKAMOTO, N. 1997a. Limnological survey of lake Anibal. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. p. 441-447.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA- TUNDISI, T.; FUKUHARA H.; MITAMURA, O.; GUILLÉN, S. M.; HENRY, R.; ROCHA, O.; CALIJURI, M. C.; IBAÑEZ, M. S. R.; ESPÍNDOLA, E. L. G. & GOVONI, S. 1997b. Limnology of fifteen lakes. *In*: TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. **Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. p. 410-439.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen** 9: 1-38.