

POTENCIAL DE FLORAÇÕES DE
CIANOBACTERIAS EM UM
RESERVATORIO DE ABASTECIMENTO
DOMÉSTICO NO ESTADO DO
ESPÍRITO SANTO
(RESERVATÓRIO DUAS BOCAS
CARIACICA — ES

ENGENHARIA DE SAÚDE PÚBLICA

FUNASA



RELATÓRIO FINAL



Ministério da Saúde
Fundação Nacional de Saúde

**Potencial de Florações de Cianobactérias em Um Reservatório
de Abastecimento Doméstico no Estado do Espírito Santo
(Reservatório Duas Bocas – Cariacica – Es)
Relatório Final**

Brasília, 2007

Copyright © 2007 – Somente versão eletrônica
Fundação Nacional de Saúde (**Funasa**)
Ministério da Saúde

Editor

Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde
Núcleo de Editoração e Mídias de Rede/Ascom/Presi/**Funasa**/MS
Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, Bl. N, 2º andar – Ala Norte
70.070-040 – Brasília/DF

Distribuição e Informação

Departamento de Engenharia de Saúde Pública (Densp)
Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, Bl. N, 6º Andar
Telefone: 0XX61 314-6262 – 314-6380
70.070-040 – Brasília/DF

Brasil. Fundação Nacional de Saúde.

Potencial de florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento doméstico no estado do espírito santo (reservatório duas bocas – Cariacica – ES) – Brasília: Funasa, 2007.

82 p. : il.

1. Abastecimento de água . 2. Cianobactérias . Título.

É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte.

Apresentação

O presente projeto é o resultado do envolvimento das seguintes instituições:

* UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

Departamento de Ciências Biológicas – Setor: Botânica

Laboratório de Taxonomia e Ecologia de Algas Continentais

Departamento de Ecologia e Recursos Naturais

Laboratório de Fitoplâncton Costeiro

* Cesan – Companhia Espírito Santense de Saneamento

Gerência de Gestão e Controle da Qualidade da Água.

Divisão de Gestão e Pesquisa



Participantes

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

Pesquisadores:

Prof.a Dra. Valéria de Oliveira Fernandes (Coordenadora)

Prof. Dr. Camilo Dias Junior

Alunos de Iniciação Científica

Bruna D'Ângela de Souza

Ellaine Christina Mofati Andrade de Oliveira

João Paulo dos Anjos Silva

Thaís de Almeida Pereira

Cesan – Companhia Espírito Santense de Saneamento

Eng. Civil Sanitarista Eduardo Kale

Eng. Química Nadja Gorza

Técnico Aloísio Ceresino

Técnico Aldemar Rodrigues Oliveira



Agradecimentos

- À Fundação Nacional de Saúde (**Funasa**), pelo suporte financeiro a esta pesquisa;
- Ao Instituto de Defesa Agrícola e Florestal (Idaf), pela permissão para a realização das coletas;
- Ao Laboratório de Análises Químicas da Cesan pelas análises dos nutrientes;
- À Cesan, pelo empréstimo do motor do barco para coletas e do transporte para ida ao campo;
- Ao Laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Ecologia e Recursos Naturais pelas análises de material em suspensão e turbidez.



Lista de ilustrações

Figura 1	– Vista aérea do reservatório Duas Bocas, destacando o local da barragem.	25
Figura 2	– Mapa do reservatório Duas Bocas evidenciando os pontos de amostragem	26
Figura 3	– ETA piloto onde foram desenvolvidos os experimentos, ao lado da ETA Duas Bocas, próximo à barragem	31
Figura 4	– Projeto da Estação de Tratamento de Água Piloto de Flotação	32
Figura 5	– Perfil térmico e de oxigênio dissolvido nos quatro pontos amostrados: (a) ponto 1; (b) ponto 2; (c) ponto 3 e (d) ponto 4. Os valores correspondem à média de todos os meses analisados...	38
Figura 6	– Contribuição relativa, em termos de número de táxons, de cada Classe de algas fitoplanctônicas nos quatro pontos amostrais no reservatório Duas Bocas	39
Figura 7	– Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, nas três profundidades: superfície (a), secchi (b) e fundo – limite inferior da zona eufótica (c) no ponto 1	42
Figura 8	– Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, nos pontos 2 (a), 3 (b) e 4 (c)	43
Figura 9	– Variação temporal da densidade total de organismos fitoplanctônicos no ponto de captação.....	44
Figura 10	– Variação temporal da densidade total de organismos fitoplanctônicos nos pontos 2, 3 e 4	45
Figura 11	– Contribuição relativa das Classes de algas, em termos de ind./mL, na densidade total fitoplanctônica em cada profundidade do ponto 1 (captação)	46
Figura 12	– Contribuição relativa das Classes de algas, em termos de ind./mL, na densidade total fitoplanctônica nos pontos 2, 3 e 4.....	47
Figura 13	– Densidade de cianobactérias (células/mL) registradas no Ponto 1 (superfície, secchi e fundo).....	48
Figura 14	– Densidade de cianobactérias (células/mL) dos pontos 2, 3 e 4	49
Figura 15	– Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, na ETA piloto de flotação.....	50
Figura 16	– Variação temporal da densidade algal nos pontos de amostragem a cada coleta	51

Figura 17	–	Variação da densidade relativa da Classe <i>Cyanophyceae</i> nas três coletas realizadas em diferentes etapas da ETA piloto.....	52
Figura 18	–	Análise fatorial em componentes principais com dados limnológicos e de fitoplâncton no reservatório Duas Bocas no período estudado (fator 1 e fator 2).....	54
Figura 19	–	Análise fatorial em componentes principais com dados limnológicos e de fitoplâncton no reservatório Duas Bocas no período estudado (fator 1 e fator 3).....	54

Lista de tabelas

Tabela 1	– Resultados obtidos das variáveis limnológicas nas três profundidades do ponto de captação (superfície, meio e fundo) no período estudado	35
Tabela 2	– Resultados obtidos das variáveis limnológicas nos pontos 2, 3 e 4 no período estudado	36
Tabela 3	– Amplitude de variação dos resultados obtidos das variáveis limnológicas nos pontos de amostragem durante o período estudado no reservatório Duas Bocas	37
Tabela 4	– Número total de táxons em cada ponto de amostragem	39
Tabela 5	– Densidade Total da comunidade fitoplanctônica nos meses de coleta e pontos de amostragem	45
Tabela 6	– Coeficientes Biológicos de Nygaard (1949) apud Delazari-Barroso, 2000) para as comunidades fitoplanctônicas nos quatro pontos estudados	49
Tabela 7	– Valores obtidos para as variáveis limnológicas analisadas	53
Tabela 8	– Resultados da aplicação da Anova às variáveis limnológicas e ao fitoplâncton durante a seqüência temporal no Reservatório Duas Bocas	53



Sumário

1. Introdução	19
2. Objetivos	21
3. Revisão de Literatura	22
4. Metodologia	24
4.1. Área de Estudo	24
4.2. Em Campo	26
4.3. Em Laboratório	27
4.4. Estação de Tratamento de Água Piloto de Flotação	28
4.5. Banco de Cultivo de Cianobactérias	33
5. Resultados alcançados frente aos objetivos propostos e Discussão	33
5.1. Variáveis Limnológicas	33
5.2. Análise Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica	39
5.3. Análise Quantitativa da Comunidade Fitoplanctônica	44
5.4. Estação de Tratamento de Água Piloto	49
5.4.1. Análise Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica	49
5.4.2. Análise Quantitativa da Comunidade Fitoplanctônica	51
5.4.3. Variáveis Limnológicas	52
5.5. Discussão	55
5.5.1. Caracterização do reservatório - Variáveis limnológicas	55
5.5.2. Comunidade Fitoplanctônica	57
5.5.3. ETA piloto – remoção de algas	60
6. Conclusões	62
7. Recomendações para utilização dos resultados pela Funasa e indicativos de custos	64
8. Referências Bibliográficas	67

9. Apêndice.....	73
9.1. Fitoplâncton na desembocadura dos córregos Naiçu e Pau Amarelo: um inóculo de cianobactérias para o reservatório Duas Bocas (Cariacica – ES)	75
9.2. Variação temporal das algas perifíticas em um reservatório de abastecimento doméstico no Espírito Santo (Reservatório Duas Bocas).....	77
9.3. Algas perifíticas em um reservatório de abastecimento no Estado do Espírito Santo (Reservatório Duas Bocas): Resultados preliminares	79



Resumo

O reservatório Duas Bocas possui área de 50 ha, localiza-se em uma Reserva Biológica de Cariacica (ES), e é destinado ao abastecimento doméstico. Seus tributários são os córregos Naiçu, Pau Amarelo e Panelas. Determinaram-se os seguintes pontos amostrais: 1 – captação; 2 - região lacustre do reservatório; 3 - confluência da desembocadura dos córregos Panelas e Naiçu e 4 - desembocadura do córrego Pau Amarelo. Coletou-se amostras em três profundidades no ponto 1 e na subsuperfície nos demais pontos, de agosto/2003 a junho/2004. Foram analisadas: temperatura do ar e da água (oC), transparência e zona eufótica (m), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (mS/cm), pH, turbidez (NTU), alcalinidade total (mEq/L), nitrato, nitrito, N-total, P-Total e P-orto (mg/L). O fitoplâncton foi analisado qualitativamente e quantitativamente. Calculou-se abundância, dominância e frequência de ocorrência das espécies. O estado trófico foi estimado através dos índices de *Nygaard*. Montou-se uma Estação de Tratamento de Água piloto, em campo, para realização dos testes de remoção de algas usando flotação por ar dissolvido e diferentes oxidantes e coagulantes químicos. Testou-se: 6/7/2004 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio, coagulação com sulfato de alumínio + flotação e filtração; 13/7/2004 - pré-oxidação com peróxido de hidrogênio, coagulação com policloreto de alumínio + flotação e filtração; 20/7/2004 – pré-oxidação com cloro, coagulação com sulfato de alumínio e dosagem de carvão ativado + flotação + filtração. Nas amostragens coletou-se água bruta, pós-flotação e pós-filtração para análise qualitativa e quantitativa de fitoplâncton; determinou-se também as principais variáveis limnológicas. O reservatório apresentou estratificação térmica e perfil clinogrado nos pontos 1,2 e 3 na maioria das coletas, principalmente no ponto 1 (com hipoxia e até anoxia a partir de 3,0m). As variáveis limnológicas mostraram, de maneira geral, pH levemente ácido, baixa condutividade elétrica, baixa turbidez e baixas concentrações de nutrientes, com exceção do P-total em algumas coletas, denotando oligotrofia a mesotrofia no reservatório. Registrou-se 82 táxons, predominando *Chlorophyceae* e *Cyanophyceae*. A densidade total variou de 5.604 a 223.410 ind/mL, destacando-se o ponto 1 (Secchi e fundo) com picos de fitoplâncton nos meses de outubro e dezembro/2003 explicados pelo domínio de *Synechococcus nidulans*. A Classe *Cyanophyceae* foi a de maior representatividade, atingindo valor máximo de 251.338 células/mL e dominância de *Synechococcus nidulans* (187.958 células/mL) no ponto 1. Foram dominantes: *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Synechococcus nidulans* e abundantes *Pseudoanabaena moniliformis*, *Synechocystis* sp e *Limnothrix redeikei*, espécies potencialmente tóxicas. *Cylindrospermopsis raciborskii* foi constante durante a pesquisa. O Índice de *Nygaard* revelou características mesotróficas a eutróficas no reservatório. Das metodologias empregadas na remoção de cianobactérias na ETA piloto, apresentou maior eficiência aquela utilizada no dia 20/7/2004. Os dados obtidos permitem concluir que o Reservatório Duas Bocas deve estar em processo de eutrofização natural, com proliferações de cianobactérias eviden-

ciadas em todos os pontos de coleta, especialmente no ponto de captação. Esta pesquisa mostra a urgente necessidade de avaliação de toxinas na água deste manancial, além da discussão de tomada de decisões com relação à formação de florações de cianobactérias, especialmente se comprovada sua toxicidade.

Palavras-chave: cianobactérias, potencial de florações, reservatório de abastecimento, flotação.

Abstract

The Duas Bocas reservoir has an area of 50 ha, is located in a Biological Reserve of Cariacica (ES), and it is destined to domestic supply. Its tributaries are Naiáçu, Pau Amarelo and Pannels streams. The following sampling points were determined: 1 – reservoir water outlet; 2 - lacustrine region of the reservoir; 3 - confluence of the discharge of the Pannels and Naiáçu streams and 4 - discharge of the Pau Amarelo stream. Between August/2003 to June/2004, samples were taken in 3 depths at point 1 and in the subsurface at the other points. Temperature of the air and of the water ($^{\circ}\text{C}$), transparency and euphotic zone (m), dissolved oxygen (mg/L), electric conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, turbidity (NTU), total alkalinity (mEQ/L), nitrate, nitrite, total nitrogen, total phosphorus and ortho phosphorus (mg/L) were analyzed. The phytoplankton was analyzed qualitatively and quantitatively. Abundance, dominance and frequency of occurrence of the species were calculated. Nygaard Index estimated the trophic state. A pilot Water Handling Station was put in the reservoir to remove algae using a flotation process by dissolved air, oxidants and chemical coagulants. Some experiments were tested: 06/07/2004 – oxidation with peroxide of hydrogen, coagulation with sulfate of aluminum + flotation and filtration; 13/07/2004 - oxidation with peroxide of hydrogen, coagulation with polyaluminium chloride + flotation and filtration; 20/07/2004 – oxidation with chlorine, coagulation with sulfate of aluminum and dosage of coal activated + flotation + filtration. Rough, post flotation and post filtration water were collected for quantitative and qualitative analysis of phytoplankton in each sampling; and the main limnological variables were also determined. The Reservoir presented thermic stratification and clinograde oxygen profile at points 1,2 and 3 in the majority of the samplings, mainly at point 1 (with hypoxia to anoxia from 3,0m depth). The limnological variables showed slightly acid pH, low values of electric conductivity, turbidity and nutrients concentration, except by total phosphorus in some samplings, showing an environment oligotrophic to mesotrophic. Were recorded 82 taxa, Chlorophyceae and Cyanophyceae were the predominated Classes. The total density varied from 5,604 to 223,410 ind/mL, emphasizing point 1 (Secchi and water bottom) with peaks of phytoplankton in October and December/03, explained by the domain of *Synechococcus nidulans*. The Cyanophyceae was the highest representative Class, reaching maximum value of 251,338 cells/mL and *Synechococcus nidulans* (187,958 cells/mL) was dominante at point 1. *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Synechococcus nidulans* were the dominant species and *Pseudoanabaena moniliformis*, *Synechocystis* sp. and *Limnothrix redeikei* were abundant, all potentially toxic. *Cylindrospermopsis raciborskii* was constant during the research. The Nygaard Index revealed mesotrophic to eutrophic characteristics in the Reservoir. The methodology utilized to remove Cyanobacteria of the pilot Water Handling Station in 20/07/03 was the most efficient of all. By the results obtained was conclude that the Duas Bocas Reservoir should be under natural eutrofication process, with proliferation of Cyanobacteria shown up in

all sampling points, especially in the reservoir water outlet point. This research shows an urgent need to evaluate toxins in the water of this spring, beyond the discussion to make decisions in relation to Cyanobacteria blooms, especially if its toxicity be verified.

Key-words: Cyanobacteria, bloom potential, supplying Reservoir, flotation.

1. Introdução

Dentre as inúmeras formas de impacto antrópico nos ecossistemas aquáticos, o lançamento de esgotos domésticos e industriais sem tratamento adequado, a ausência de um programa de coleta e disposição de resíduos sólidos, a destruição da mata ciliar dos mananciais, favorecendo a erosão e o transporte de elevada carga de sedimentos para o interior destes corpos d'água, têm sido apontadas como as causas mais freqüentes do processo de eutrofização artificial, os quais provocam maior incidência de floração de microalgas e cianobactérias (Barbosa, 1994).

Reservatórios são sistemas híbridos entre rios e lagos (Thornton et al. 1990 apud Henry, 1999), sendo parte de uma bacia hidrográfica e, como tal, detectam todos os efeitos das atividades antropogênicas nesta bacia (Henry, 1999). Em reservatórios, os processos de floração de algas, decorrentes da eutrofização, são mais freqüentes, em função da intensa ocupação de suas bacias de drenagem, o que representa um grave problema para a Saúde Pública devido à utilização desses sistemas para abastecimento doméstico (Straskraba & Tundisi, 2000).

No Brasil, até meados da década de 1990, a relação da degradação dos mananciais com a Saúde Pública se restringia à contaminação da água por agentes causadores das doenças de veiculação hídrica, principalmente várias espécies de bactérias, protozoários, vermes e alguns vírus. A partir de 1996, após o trágico caso que culminou com a morte de cerca de 60 pacientes renais crônicos submetidos a hemodiálise em uma clínica na cidade de Caruaru, PE, descobriu-se que havia um outro fator muito importante e, muitas vezes, desconsiderado pelas autoridades competentes e pela própria população, que poderia ser responsável pela morte do homem via ingestão de água: as toxinas produzidas biologicamente que poderiam estar presentes na água servida à população (Chorus & Bartram, 1999).

A confirmação de que a toxina identificada na água do manancial, que supria a cidade de Caruaru, foi produzida por uma espécie de cianobactéria fez com que as autoridades de Saúde Pública brasileiras passassem a se preocupar com os fenômenos de floração nos mananciais ou em pontos a montante destes, devido ao novo fator de risco à população.

Contudo, além da produção de toxinas, há muito se conhece outros problemas que a proliferação de microalgas pode causar aos mananciais de abastecimento, principalmente devido à modificação das suas características organolépticas (cor, sabor e odor), tornando, muitas vezes, o tratamento mais oneroso e trazendo problemas às companhias que são responsáveis pelo tratamento da água em diversas localidades (Branco, 1986). Assim, é de fundamental importância que as companhias responsáveis pelo tratamento

da água no Brasil se interessem pelo estudo das microalgas presentes nos mananciais e nos tanques de suas estações no sentido de garantir água de excelente qualidade à sua população e de se adequar quanto ao monitoramento e/ou tratamento da água se houver o fenômeno de floração no manancial.

Nesse sentido, a pesquisa limnológica através do conhecimento da estrutura e dinâmica da comunidade de cianobactérias associada ao entendimento da variabilidade espaço-temporal do sistema, poderá proporcionar bases sólidas para implementação de programas de monitoramento, além de diretrizes para o gerenciamento de mananciais visando a melhoria dos sistemas de tratamento de água, reduzindo os custos e aumentando a sua eficiência (Tundisi, 1991).

O presente projeto representa um estudo pioneiro no estado do Espírito Santo, com relação ao conhecimento das cianobactérias em mananciais de abastecimento doméstico e avaliação do potencial de ocorrência de florações, e visa a melhoria da qualidade da água distribuída à população e o conhecimento das condições ecológicas do manancial. Deste modo, reveste-se de fundamental importância, uma vez que seus resultados propiciarão o entendimento da dinâmica da comunidade de cianobactérias que se desenvolvem no reservatório, e fornecerão subsídios para a previsão de florações. Neste sentido, a criação de um banco de cultivo de cianobactérias permitirá a compreensão do crescimento e da variabilidade das espécies, além de servir como base para futuros estudos sobre toxicidade. Os conhecimentos obtidos poderão fundamentar os processos de manejo e de tomada de decisões no caso de uma floração de cianobactérias potencialmente tóxicas, conforme exigido pela legislação vigente (Portaria nº 1469/2000).

Considerando a elevada diversidade das cianobactérias nos corpos d'água, é de extrema importância que sejam realizados estudos taxonômicos acurados, capazes de proporcionar a correta identificação das espécies que ocorrem no ambiente, pois pequenas variações nas características limnológicas podem promover modificações morfológicas e fisiológicas nas populações, que poderão ser detectadas somente por especialistas em taxonomia. Além disso, soma-se o fato que identificações incorretas podem levar a falsas interpretações a respeito do potencial tóxico de algumas espécies. O sistema moderno de classificação de cianobactérias proposto por K. Anagnostidis e J. Komárek a partir de 1985, baseado em características raramente ou nunca utilizadas nos sistemas anteriores, utiliza a abordagem populacional e não mais um indivíduo como entidade isolada do contexto biológico e ambiental. Assim, a identificação torna-se precisa, pois baseia-se em informações sobre as alterações métricas e morfológicas que estabelecem a variabilidade taxonômica da população (Senna & Magrin, 1999).

O tratamento de água proposto neste projeto é o da flotação por ar dissolvido, o qual baseia-se na técnica da diminuição da densidade do material sólido em suspensão na água, permitindo-o flutuar, facilitando sua retirada. Este processo vem sendo utilizado há mais de 100 anos na indústria de mineração para separar minérios de uma mistura heterogênea, tem sido usada também no adensamento de lodos domésticos e industriais (Richter, 2001).

Ressalta-se que na Estação de Tratamento de Água de Duas Bocas já está sendo implementado o processo de flotação pela Cesan, o que evidencia a necessidade de testes de retirada das cianobactérias e algas fitoplanctônicas da água, propostos neste projeto.

Levando-se em consideração a relevância dos fatos acima citados e a necessidade dos conhecimentos limnológicos (Tundisi, 1991; Tundisi et al., 1999) na resolução dos problemas relacionados às florações de cianobactérias e da qualidade da água em geral, pretende-se por meio do presente estudo formar um grupo de pesquisas no estado do Espírito Santo integrado aos demais grupos no Brasil. Com a consolidação do grupo, pretende-se ainda transferir os conhecimentos adquiridos para a Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan) e para a **Funasa**, além de capacitar recursos humanos por meio do ensino formal na Universidade Federal do Espírito Santo.

2. Objetivos

Geral:

O presente projeto prevê o diagnóstico das condições ambientais do reservatório Duas Bocas, utilizada como manancial de abastecimento doméstico, pelo estudo integrado das cianobactérias com as variáveis limnológicas.

Será acompanhado o desenvolvimento das cianobactérias num ciclo anual, em especial aquelas potencialmente formadoras de florações e produtoras de toxinas.

Este trabalho poderá fornecer subsídios para o conhecimento dos processos de floração de cianobactérias, permitindo discussões e testes com o uso da Flotação como forma adequada de tratamento da água.

Específicos:

- Avaliar as populações de cianobactérias em diferentes pontos e profundidades, incluindo o ponto de captação de água, quanto aos aspectos qualitativos e quantitativos num ciclo anual;
- Avaliar as características limnológicas em diferentes pontos e profundidades amostrais, num ciclo anual;
- Relacionar a dinâmica espaço-temporal das cianobactérias com as características limnológicas no reservatório;
- Identificar as espécies de cianobactérias com potencial de toxicidade;
- Avaliar o potencial de ocorrência de florações de cianobactérias no sistema, tendo como base o conhecimento das características limnológicas e das espécies presentes;

- Avaliar a eficiência da retirada de cianobactérias e demais organismos fitoplanc-tônicos em caso de baixa, média e elevada densidade de indivíduos (floração) através da Flotação.
- Discutir medidas que aprimorem as técnicas de tratamento da água visando a di-minuição do desperdício de água com a lavagem de filtros e decantadores, além da adequação do uso de substâncias químicas no controle das cianobactérias, atendendo às exigências da Portaria nº 1.469/2000 do Ministério da Saúde;
- Consolidar um grupo de pesquisas voltado para o estudo das florações de ciano-bactérias e seu potencial de toxicidade;
- Implantar um banco de cultivo de cianobactérias no estado do Espírito Santo;
- Fornecer oportunidades de treinamento de pessoal técnico da Cesan e da **Funasa**, além de capacitação de pessoal no âmbito da UFES (alunos de Graduação) com relação à problemática das florações de cianobactérias em mananciais de abas-tecimento.

3. Revisão de literatura

As cianobactérias, que fazem parte da comunidade fitoplanctônica de ambientes aquáticos e que ocorrem amplamente no Brasil (Sant'Anna, 1999), normalmente podem crescer excessivamente e formar blooms sob uma combinação de fatores, tais como elevada carga de nutrientes, temperatura elevada e condições estáveis (Drikas et al. 2001).

Os fenômenos de floração têm sido relacionados a alterações na proporção dos nutrien-tes inorgânicos, como nitrogênio, fósforo e carbono (Reynolds, 1984), além de fatores físicos como temperaturas elevadas e alterações no tempo de residência da água em reservatórios (Chorus & Bartram, 1999). Vários autores têm constatado que a ocorrência de florações de cianobactérias dependem da coincidência de quatro fatores principais: concentrações de fósforo maiores que 10mg/l, temperaturas acima de 20°C, estabilidade da coluna d'água e populações preexistentes que contenham vesículas que permitem a flutuação das células (Reynolds, 1984; Chorus & Bartram, 1999).

No Brasil já foram registradas inúmeras ocorrências de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul. No estado do Espírito Santo, há poucos registros de florações de cianobactérias até o presente momento devido ao fato de que ainda são poucos os trabalhos que foram realizados sobre as comu-nidades fitoplanctônicas nos mananciais do estado. Como exemplos de estudos realizados podem ser citados os de Huszar et al. (1990) e Huszar (1994) nas lagoas do município de Linhares, Dias Jr. (1995), Dias Jr & Barroso (1998) nas lagoas costeiras do sul do estado e Dias Jr. (1998) em um reservatório de abastecimento industrial, Martins (2001) em lagoa costeira urbana na cidade de Vitória, Lucas (2003) em uma área estuarina impactada e Lis-ton (2004) em uma lagoa costeira utilizada para abastecimento no sul do estado. Quanto aos reservatórios de abastecimento doméstico podem ser citados os estudos desenvolvidos

por Senna et al. (1999), Delazari-Barroso (2000) no reservatório Duas Bocas e Delazari-Barroso et al. (no prelo).

Os blooms de cianobactérias em reservatórios de água destinada à produção de água para o consumo humano originam muitos problemas para o abastecimento de água potável (entupimento de filtros, acréscimo da dosagem de reagentes, produção de odores e sabores, etc.). No entanto, as crescentes preocupações relacionadas com as cianobactérias estão relacionadas ao fato de que uma proporção significativa delas produzem uma ou mais toxinas (Carmichael, 1982, Sivonen, 1996; Azevedo, 1998; Chorus E Bartran, 1999; Yunes, 2000; Deberdt, 2003; Jardim e Viana, 2003). Nos últimos 20 anos as cianobactérias passaram a fazer parte da lista dos chamados “patógenos emergentes”, podendo liberar estas toxinas com graves efeitos à saúde do homem e de outros animais, principalmente quando ingeridas ou inoculadas (Jardim E Viana, 2003).

Atualmente, a remoção de cianobactérias e suas toxinas é um dos maiores desafios do tratamento da água (Campinas et al. 2002). Quando existem populações de cianobactérias, deve ser efetuado um controle de cianotoxinas e cianobactérias ao longo dos pontos críticos do sistema de abastecimento de água, os quais incluem o reservatório de água origem da captação, a água bruta da estação de tratamento de água (ETA), pontos chave do processo de tratamento e a água tratada. Uma das prioridades é avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento de água na remoção de cianotoxinas (Bartram et al. 1999).

Jardim e Viana (2003) ressaltam que o monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas nos mananciais ainda é uma prática pouco comum em diversos países, sendo o Brasil o primeiro país do mundo a ter uma lei federal - Portaria nº 1.469/2000 do Ministério da Saúde, que define as normas e os padrões de potabilidade da água para consumo humano no Brasil. Esta Portaria apresenta os padrões de potabilidade, passando a considerar a obrigatoriedade da determinação da densidade de cianobactérias nos pontos de captação dos mananciais, seu monitoramento e análise das cianotoxinas a partir de um determinado limite de número de células/mL de água (hoje reformulada como Portaria nº 518/2004). A partir destas análises uma nova visão sobre os processos de tratamento começou a ser reavaliada e novos métodos, como a flotação, começaram a permear o tratamento convencional da água incluindo mais uma operação unitária ao processo.

Desde o início de sua utilização, a flotação por ar dissolvido encontrou ainda diversas aplicações, tais como: clarificação de efluentes de papel e celulose, efluentes de refinarias, efluentes de coletores universais de esgotos e pluviais, tratamento terciário de esgotos municipais, entre outros (<http://www.tratamentodeagua.com.br/sispal/flotação>). Sua aplicação no tratamento de água para abastecimento doméstico é recente, desde a década de 1960 na Suécia e África do Sul (Richter, 2001). É hoje utilizado em larga escala naqueles países, bem como na Holanda, Reino Unido, Ásia e Austrália.

Originalmente, a flotação representou a solução para o tratamento de águas frias de difícil floculação, águas com elevada densidade de algas e águas com matéria orgânica, cor, pouca turbidez e alcalinidade.

Tradicionalmente, a decantação tem sido o processo básico de separação no tratamento de água. Só a partir da década de 1950 é que o processo de flotação por ar dissolvido

tem sido pesquisado para água potável e industrial. Considerando este processo, podemos apontar os seguintes benefícios e/ou vantagens:

- Redução de aproximadamente 20% no consumo de produtos químicos, sobretudo coagulantes;
- Obtenção de água de melhor qualidade em casos de baixa turbidez e presença de cor;
- Maior velocidade de tratamento (maior desempenho);
- Redução da área ocupada (aproximadamente 50%), uma vez que o processo requer estruturas mais compactas, abreviando, inclusive, o prazo e o custo da construção;
- A extração do lodo é feita pela superfície, evitando o entupimento de filtros e reduzindo a necessidade de limpezas constantes;
- Imunidade aos problemas típicos de decantação no sistema convencional, por ocasião das variações de temperatura;
- Diminuição da perda de água através do descarte do lodo e das águas de lavagem de filtros, devido à diminuição acentuada da frequência de lavagem dos mesmos.

Centurione Filho e Di Bernardo (2003) ressaltam que entre as diferentes tecnologias de tratamento existentes, a flotação pode ser uma alternativa viável para o tratamento de água com determinadas características. O processo de flotação por ar dissolvido pode proporcionar soluções muito interessantes no Brasil, do ponto de vista operacional, levando em conta a construção de ETAs e a qualidade da água tratada.

4. Metodologia

4.1. Área de Estudo

O reservatório Duas Bocas possui área de 50 ha, profundidade máxima de 10 metros e destina-se ao abastecimento de cerca de 25% do Município de Cariacica. A vazão máxima regularizada está na ordem de 250l/s, segundo dados da Cesan. Seus tributários são os Córregos Pau Amarelo, Naiçu e Pannels, pertencendo à uma sub-bacia do Rio Santa Maria da Vitória, que é o principal manancial da Grande Vitória. Possui comprimento máximo efetivo de 1.607 m e largura máxima efetiva de 654 m. A denominação Duas Bocas foi dada devido ao encontro dos rios Pannels e Naiçu, desaguando na represa que, no passado, foi a principal fonte de abastecimento para o município de Vitória.

O reservatório localiza-se dentro da Reserva Biológica de Duas Bocas, a qual apresenta área coberta por floresta ombrófila densa submontana, com ampla diversidade biológica (figura 1).



Figura 1 – Vista aérea do reservatório Duas Bocas, destacando o local da barragem

As obras da represa foram iniciadas em 1945 para represar as águas dos córregos Pau Amarelo, Panelas e Naiáçu, visando garantir o abastecimento de uma população crescente. Em 1951, apesar de terminada a obra da represa, a água continuava a ser distribuída sem nenhum tratamento, sendo que, somente em 1975 foi inaugurada a ETA Duas Bocas apenas com floculadores e decantadores, aplicando-se cloro como agente de desinfecção e cal hidratada como corretivo de pH, devido a água do manancial ser considerada de boa qualidade (dados da Cesan). Em 1987 a ETA Duas Bocas foi reinaugurada, após ampliação, com a construção de seis filtros autolaváveis, passando a operar como ETA de filtração direta.

Os estudos limnológicos no reservatório foram iniciados em 1995, com determinação da carga de material em suspensão nos córregos tributários (Perrone, 1996; Marchioro, 1996), da variação espaço-temporal das características físico-químicas (Delazari & Barroso, 1998), da comunidade bentônica (SÁ, 1997), da composição química do sedimento em função da zonação longitudinal no reservatório (Morelato, 2003) e da comunidade perifítica em substrato natural no ponto de captação e no córrego Pau Amarelo (Cetrangolo, 2004). A comunidade fitoplanctônica foi caracterizada em oito semanas de amostragens, sendo quatro no inverno e quatro no verão, quando foram constatadas densidades elevadas de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Delazari-Barroso, 2000). Apesar de ser um corpo hídrico localizado em área de Mata Atlântica bem preservada, o reservatório Duas Bocas tem apresentado consideráveis concentrações de nutrientes, anoxia nas camadas inferiores da coluna d'água (próximo à torre de captação) e elevada densidade de cianobactérias no verão (Delazari-Barroso, 2000). Estão sendo elaborados para publicação os dados obtidos nas pesquisas de Sartori (em fase de elaboração), sobre variação temporal da comunidade perifítica em substrato artificial no ponto de captação do reservatório e de Souza (em fase de elaboração) sobre a variação temporal da comunidade fitoplanctônica na desembocadura dos córregos Naiáçu e Pau Amarelo, além da tese de Doutorado de Delazari-Barroso (em fase de elaboração) sobre a comunidade de cianobactérias e a produção de cianotoxinas no Reservatório.

4.2. Em Campo

Foram determinados quatro pontos amostrais no reservatório Duas Bocas: ponto 1, próximo à torre de captação de água, ponto 2 na região de confluência da desembocadura dos córregos Panelas e Naiaçu, ponto 3 na área central do reservatório e ponto 4 na região da desembocadura do córrego Pau Amarelo. No ponto 1 foram coletadas amostras em três profundidades (superfície, profundidade do Secchi e fundo correspondendo ao limite inferior da zona eufótica). Nos demais pontos, foram coletadas amostras na subsuperfície da coluna d'água. Nos pontos 2, 3 e 4 foi avaliado o perfil vertical de temperatura e de oxigênio dissolvido em intervalos de 1,0m. Foram coletadas amostras mensais no período de agosto/2003 a junho/2004.



Figura 2 – Mapa do reservatório Duas Bocas evidenciando os pontos de amostragem

A temperatura do ar foi medida com o auxílio de um termômetro de bulbo ($^{\circ}\text{C}$) no momento da coleta. A transparência da água foi obtida com o Disco de Secchi, com o qual foi também calculado o limite inferior da zona eufótica (Esteves, 1998). Os perfis térmico e de oxigênio dissolvido (perfil vertical na coluna d'água) foram determinados com o oxímetro-termístor Handlab OX 1/SET Schott em cada ponto de amostragem, em intervalos de 1 metro. Com o medidor multiparâmetros Handlab LF1 foi determinada a condutividade elétrica (mS/cm) da água e com o pHmetro Handlab determinado o pH. A turbidez foi determinada com um turbidímetro Lamotte 2020. Foram coletadas amostras com garrafa de van Dorn, as quais foram acondicionadas em frascos de polietileno com capacidade para 500 mL, conservadas em baixa temperatura (caixa térmica com gelo), para posteriores análises em laboratório. A

profundidade máxima foi medida com um profundímetro Speed Tech SM-5. As amostras para a determinação de clorofila a e feopigmentos foram filtradas no campo com uma seringa de 50 mL em filtros de fibra de vidro (GF/F), os quais foram acondicionados em frascos contendo sílica gel e posteriormente conservados em freezer por, no máximo, duas semanas.

Para a análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica, foi utilizado o método do arrasto horizontal na superfície da coluna d'água, com rede de plâncton com abertura de malha de 20 mm e, nas diferentes profundidades do ponto 1, as amostras foram coletadas com garrafa de Van Dorn, filtradas na rede e acondicionadas em frascos de polietileno. Parte de cada amostra foi mantida viva e parte fixada com solução formalina 4% para posteriores análises em laboratório.

Para a análise quantitativa, as amostras foram coletadas com a garrafa de van Dorn e imediatamente fixadas com solução de lugol acético 0,5%.

4.3. Em laboratório

A alcalinidade total (mEq/L) e a concentração de nutrientes (nitrato, nitrito, N-total, P-total e P-orto, em mg/L) foram determinadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas da Cesan (Companhia Espírito Santense de Saneamento) segundo Apha (1995). Nos laboratórios da Ufes foi determinada a concentração de sólidos totais em suspensão por gravimetria (APHA, 1995) e a concentração de clorofila a e feopigmentos, realizada pela extração com acetona 90%, centrifugação e leitura espectrofotométrica (Lorenzen, 1967).

Foram realizados todos os procedimentos para a determinação da concentração de clorofila e feopigmentos em laboratório (extração, centrifugação e leitura em espectrofotômetro). No entanto, os dados gerados foram inconsistentes, provavelmente devido a algum problema no decorrer das etapas, não sendo apresentados neste relatório.

A análise qualitativa das amostras de fitoplâncton (viva e fixada) foi realizada utilizando-se microscópio óptico Olympus CX-41, equipado com ocular micrometrada, câmara clara e máquina fotográfica. Todos os táxons foram devidamente esquematizados, medidos e identificados a partir da análise populacional, com a utilização de bibliografia especializada e contato com especialistas, levando-se em consideração as características diacríticas e as medidas dos organismos. Para a análise qualitativa do fitoplâncton foram utilizadas diversas bibliografias específicas do assunto, destacando-se as seguintes: Bourrelly (1966, 1968 e 1970), Delazari-Barroso (2000), Komarék & Anagnostidis (1999) e Nogueira (1991).

Como complemento de tal análise, foi mantido contato via *e-mail*, com diferentes especialistas em taxonomia de fitoplâncton no país, para confirmação dos táxons de difícil identificação. Ressalta-se que, voluntariamente e com recursos próprios, foi realizado um estágio de uma das alunas da equipe técnica deste projeto no Laboratório de Ficologia do Museu Nacional do Rio de Janeiro, sob orientação da Dra. Vera Lúcia de Moraes Huszar, para confirmação dos táxons identificados, em maio/2004.

A densidade total do fitoplâncton (ind/mL e cel/ml) seguiu o método de sedimentação em câmaras (Utermöhl, 1958) e o procedimento de contagem, em microscópio óptico invertido Nikon Eclipse S 100 (aumento máximo: 400 x) foi o de campos sistematizados (Delazari-Barroso, 2000). Um número suficiente de campos foi contado até o registro de 100 indivíduos da espécie mais abundante e até a estabilização do número de espécies adicionadas por campo (Bicudo, 1990). Os resultados foram calculados com a fórmula proposta por Weber (1973).

Dos dados qualitativos e quantitativos foram calculadas as espécies abundantes (aquelas cuja ocorrência numérica superou o valor médio do número total de indivíduos densidade de cada amostra), as espécies dominantes (aquelas cuja ocorrência numérica superou 50% do número total de indivíduos densidade em cada amostra) e a frequência de ocorrência de cada espécie (sendo consideradas constantes as espécies que ocorreram em mais que 50% das amostras, comuns, aquelas que ocorreram entre 10% e 50% das amostras e raras, as que ocorreram abaixo de 10%) todos estes atributos calculados segundo (Lobo & Leighton, 1986).

Com base nos dados qualitativos do fitoplâncton, foram calculados os coeficientes biológicos de Nygaard (1949 apud Delazari-Barroso, 2000) para estimativa do estado trófico dos pontos estudados. Os dois coeficientes utilizados foram:

- Coeficiente Simples:

$Q = \text{N}^{\circ} \text{ de espécies de Chlorococcales} / \text{N}^{\circ} \text{ de espécies de Desmidiaceae}$

Se $Q < 1$ = oligotrófico ; se $Q > 1$ = eutrófico

- Coeficiente Múltiplo ou Composto:

$Q = \text{N}^{\circ} \text{ de espécies de (Cyanophyceae + Chlorococcales + Centrales + Euglenales)} / \text{N}^{\circ} \text{ de espécies de Desmidiaceae}$

Se $Q < 1$ = oligotrófico ; se $1 < Q < 2,5$ = mesotrófico ; se $Q > 2,5$ = eutrófico

4.4. Estação de tratamento de água piloto de flotação

A Estação de Tratamento de Água Piloto de Flotação foi ativada no dia 6 de julho de 2004 e visou avaliar a capacidade de remoção de algas fitoplanctônicas, com enfoque especial às cianobactérias potencialmente tóxicas.

A estação-piloto tem a capacidade de tratar 1 a 3 L/s, sendo que a primeira vazão (1 l/s) utiliza as taxas já conhecidas dos tratamentos ditos convencionais (figura 3). A estação está ainda servindo à simulação do processo que será implementado na ampliação que está sendo realizada ETA Duas Bocas, que hoje é responsável por abastecer parte do município de Cariacica/ES. Atualmente ETA Duas Bocas trabalha com filtração direta e está sendo ampliada com a construção de um floculador e um flotor.

A estação-piloto é composta por: canal de entrada, vertedor triangular, ponto de aplicação de produtos químicos, floculador do tipo vertical, câmara de mistura (água floculada x água saturada), saturador, flotador e filtro (figuras 3 e 4), conforme descrição a seguir:

a) Canal de entrada:

O canal de entrada é o local onde a água bruta chega à estação, sendo responsável pelo fluxo da água.

b) Vertedor triangular:

Os vertedores são aberturas com direções definidas que permitem o conhecimento da vazão. Os vertedores triangulares possibilitam maior precisão na medida de cargas correspondentes a vazões reduzidas, sendo geralmente empregados aqueles que possuem a forma de um triângulo isósceles, dentre os quais o de 90° é o mais usado.

c) Ponto de aplicação de produtos químicos:

É o ponto onde ocorre a mistura rápida dos produtos químicos como, por exemplo, o sulfato de alumínio, utilizado em larga escala nas estações de tratamento de água.

d) Floculador:

É neste ponto que ocorre a mistura lenta, responsável pela formação dos flocos. O floculador utilizado na ETA piloto corresponde ao modelo hidráulico de chicanas de fluxo vertical.

Pode-se descrever o floculador como um canal portador de diversas células ou compartimentos em série, com sucessivas aberturas superiores e inferiores, responsáveis pelo direcionamento vertical do fluxo, fazendo com que o fluxo em cada célula ou chicana tenha um movimento inverso ao da anterior.

Levando em consideração que a água bruta contém, em seu seio, partículas em suspensão, material orgânico e soluções coloidais, responsáveis por, entre outras coisas, turbidez e cor, faz-se necessária sua remoção através da adição de coagulantes. Estas substâncias desestabilizam as partículas presentes na água e otimizam a formação de flocos nos compartimentos floculadores, onde as partículas, já desestabilizadas, chocam-se umas com as outras, formando coágulos ainda maiores.

A concentração ideal do composto coagulante que deve ser utilizada para desestabilizar corretamente as partículas é determinada pela realização de ensaios de jarros (jar test), onde diversas dosagens de coagulantes, floculantes e compostos para a ajuste do pH são testadas.

A mudança de direção nos floculadores de chicanas gera uma perda de carga que é diretamente proporcional ao gradiente de velocidade aplicado. Assim, partículas responsáveis pela cor e turbidez na água natural são normalmente colóides eletricamente desequilibrados, que permanecem repelidas por possuírem carga igual (negativa). Para que elas possam se aglutinar, é necessário que sejam desestabilizadas ou neutralizadas, bastando fazer com que os produtos originados da hidrólise dos coagulantes, com carga positiva, sejam adsorvidos pela enorme superfície específica dos colóides, de forma a anular a carga total da partícula, ou torná-la próxima de zero.

e) Câmara de mistura:

Ao fim da série de flocladores, a água cai em uma calha de acesso que irá conduzi-la à câmara de mistura, compartimento com tamanho consideravelmente maior que recebe a água floclada a partir de uma fenda situada na região inferior da parede de contato com a calha de acesso. É realizada, então, a mistura de água floclada e água de recirculação, água que é saturada com ar a uma pressão definida, equivalente a 38 mca (este valor de pressão foi utilizado por corresponder ao máximo obtido a partir das características da bomba utilizada no processo). Próximo a esta região, numa posição um pouco inferior, encontra-se uma estrutura denominada difusor, que consiste num tubo portando pequenos anéis de tubo de PVC, bem como inúmeros orifícios responsáveis pela liberação de água pressurizada contendo ar dissolvido. Esta água é bombeada até o difusor a partir de uma outra estrutura denominada saturador.

f) Saturador:

Corresponde à unidade do processo responsável pela mistura do ar à água, sendo caracterizado por um tubo de metal contendo em seu interior fragmentos de tubo de PVC de pequeno calibre onde a água é submetida a pressões elevadas e concentrações controladas de ar. Os fragmentos de PVC têm a função de garantir uma melhor dissolução do ar, tanto que a água resultante deste processo, da qual é retirada a pressão atmosférica, possui coloração branca com aspecto leitoso.

A adição de água pressurizada contendo ar dissolvido na câmara de mistura objetiva o acréscimo de inúmeras microbolhas de ar aos flóculos que chegam a este compartimento, diminuindo com isso a sua densidade e tornando-os capazes de flotar.

g) Tanque de flotação:

Nesta etapa do processo, a fase sólida, já misturada à água saturada, e por isso com uma densidade menor que o líquido de suspensão, é separada, permitindo-a flutuar para a superfície. A redução da densidade das partículas é efetuada pelo acréscimo de pequeníssimas bolhas de ar, que são geradas a partir da súbita redução de pressão na corrente líquida saturada de ar, proveniente da câmara ou tanque de saturação. Devido a este processo, nota-se a formação contínua de uma “nata” (lodo) na superfície da água presente na câmara de flotação, que corresponde ao acúmulo dos coágulos que chegam à parte inferior deste compartimento e, pela adição das bolhas de ar, dirigem-se à superfície.

A captação de água para métodos adicionais de tratamento é efetuada, portanto, numa região posterior àquela onde o difusor se encontra, na parte inferior da parede oposta à de chegada de água flotada. A partir daí, a água passa a uma calha ligada a uma tubulação que a conduz até o filtro.

h) Filtro:

Na filtração, além da remoção de cor e turbidez (características físicas), ocorre a retenção de microorganismos presentes na água, que podem ser inconvenientes (características biológicas).

A filtração consiste em um processo de separação sólido-líquido, através da passagem por meio poroso. A filtração foi realizada em tonel de plástico com volume de 100 litros. Foram utilizadas duas camadas de areia, sendo a superior de areia fina e a inferior de areia grossa.

Foram realizadas ao todo três coletas com periodicidade semanal, durante as três primeiras terças-feiras do mês de julho de 2004 (6/7, 13/7 e 20/7), sempre no período matutino, no intervalo de horário das 8h até 12h. As coletas foram efetuadas sob a responsabilidade de um estagiário do Laboratório de Taxonomia e Ecologia de Algas Continentais (Lateac) da Ufes, sempre com o auxílio de profissionais da Companhia de Saneamento do Estado do Espírito Santo (Cesan), responsáveis pelo monitoramento da estação. A cada coleta objetivou-se testar diferentes processos e metodologias de pré-oxidação e coagulação, com a finalidade de apontar aquele com a maior eficiência aplicável ao processo de flotação.

No dia 6 de julho de 2004, o processo testado foi a pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (solução 3% - 3,3 mL/10s) e coagulação com sulfato de alumínio (solução 3% - 4,3 mL/10s); no dia 13 de julho avaliou-se a eficiência da pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (solução 3% - 8,35 mL/10s) e coagulação com PAC (policloreto de alumínio - solução 5% - 3,75 mL/10s) e no dia 20 de julho o processo empregado consistiu na pré-oxidação com cloro (3ppm - 3 mg/L), coagulação com sulfato de alumínio (12mg/L) e dosagem de carvão ativado em pó (solução 1,0% - 1,25 mL/10s).

Em todos os dias de coleta foram determinadas as seguintes variáveis limnológicas na água bruta, pós-flotação e pós-filtração: temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), Sólidos Totais Dissolvidos (STD - mg/L), condutividade elétrica (mS/cm) e pH, além da temperatura do ar (°C).



Figura 3 – ETA piloto onde foram desenvolvidos os experimentos, ao lado da ETA Duas Bocas, próximo à barragem.

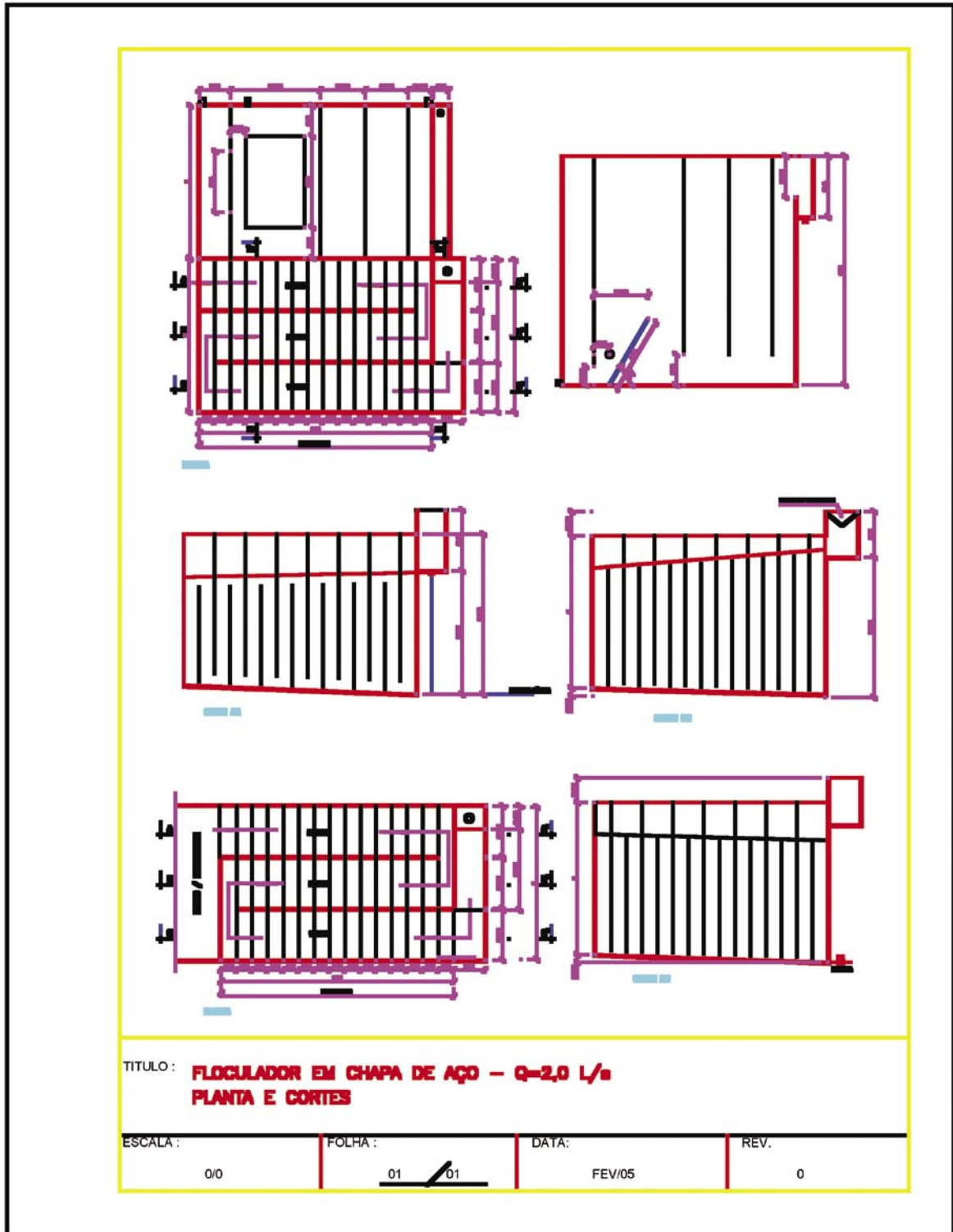


Figura 4 – Projeto da Estação de Tratamento de Água Piloto de Flotação

Foram aplicadas análises de variância (Anova) com os dados temporais de densidade total do fitoplâncton, densidade de cianobactérias, P-total, N-total, nitrato, ortofosfato, alcalinidade total, transparência da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez e sólidos totais em suspensão através do Programa VarPC.

A análise fatorial em componentes principais foi aplicada considerando-se as variáveis físicas, químicas, físico-químicas e biológicas em escala espacial (todos os pontos e profundidades) e temporal (todos os meses estudados) por meio do Programa Statistica 6.0.

4.5. Banco de cultivo de cianobactérias

O banco de cultivo de cianobactérias será estruturado para o isolamento de diferentes espécies em culturas puras, a partir de amostras coletadas no reservatório, visando à obtenção de clones para a realização de experimentos que acompanhem a variação do crescimento e das características morfológicas e fisiológicas destes organismos. Para este tipo de procedimento, pretende-se plaquear as cianobactérias em meio sólido (ágar), com meio de cultivo ASM-1, em placas de petri (Gorham, et al., 1964). Esta técnica é mais adequada para espécies unicelulares e coloniais. As espécies filamentosas serão isoladas utilizando-se capilares de vidro em meio de cultura. As culturas serão mantidas em sistema fechado, com aeração constante e condições controladas (fotoperíodo, intensidade luminosa e temperatura). Posteriormente objetiva-se concentrar as espécies para a realização de testes de toxicidade. O local de cultivo será uma das salas do Setor de Botânica da Universidade Federal do Espírito Santo e os possíveis testes de toxicidade, os quais não são objetos deste projeto, mas que serão realizados como continuidade da pesquisa aqui iniciada serão realizados sob a orientação da Dra. Sandra Maria Feliciano Oliveira Azevedo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

5. Resultados alcançados frente aos objetivos propostos e discussão

5.1. Variáveis limnológicas

A temperatura do ar (oC) mostrou sempre valores elevados, variando de 22,8oC a 33,0oC no período estudado, concordando com os valores normalmente registrados para a região.

De maneira geral, a condutividade elétrica apresentou baixos valores, com amplitude máxima de 33,7 mS/cm a 41,8 mS/cm. O reservatório apresentou águas de ácidas a alcalinas, variando de 5,1 a 8,4. As águas apresentaram baixa turbidez (variação de 1,8 a 7,8 NTU) sendo maiores os valores registrados na desembocadura dos córregos ou nas profundidades maiores do ponto 1. Como conseqüência, os valores de transparência foram

considerados elevados, com variação de 0,75 a 1,9m. Os valores mínimos e máximos dos resultados referentes às variáveis limnológicas analisadas em cada ponto de amostragem estão demonstrados na tabela 1.

Os perfis de temperatura e de oxigênio dissolvido na coluna d'água nos quatro pontos de amostragem estão representados na figura 5. Os resultados de cada ponto correspondem à média que foi feita a partir dos dados mensais obtidos em cada profundidade. Nos pontos 1, 2, e 3 foram registradas estratificações térmicas e perfis do tipo clinogrado com redução acentuada a partir dos três (3) metros de profundidade. O ponto 4 apresentou estratificação térmica com menor amplitude de variação a partir de 0,4 metros de profundidade; no entanto, o oxigênio dissolvido mostrou pouca variação da superfície até o fundo, denotando tendência ao perfil do tipo ortogrado, mantendo-se com concentrações elevadas em toda a coluna d'água.

A seguir estão apresentadas as tabelas 1 e 2 com os resultados das principais variáveis limnológicas por dia de coleta e com todos os pontos de amostragem.

Quanto aos nutrientes, foram considerados baixos, principalmente as formas de nitrogênio (N-total, nitrato e nitrito). As concentrações de N-total variaram de 0,12 a 1,17 mg/L; nitrato variou de < 0,02 a 0,17 mg/L e nitrito variou de abaixo do limite de detecção do método a 0,01 mg/L. Quanto ao fósforo, os valores foram mais elevados, sendo a amplitude de variação para P-total abaixo do limite de detecção do método a 0,21 mg/L e de P-orto abaixo do limite de detecção do método a 0,08 mg/L.

Tabela 1 – Amplitude de variação dos resultados obtidos das variáveis limnológicas nos pontos de amostragem durante o período estudado no reservatório Duas Bocas

Variáveis Limnológicas	P1	P1	P1	P2	P3	P4
	Superf.	Meio	Fundo			
	Min-Max	Min-Max	Min-Max	Min-Max	Min-Max	Min-Max
Temperatura do ar (°C)	22,8-33,0	22,8-33,0	22,8-33,0	23,9-31,0	22,8-31,0	23,0-31,0
Temperatura da água (°C)	22,6-29,8	22,5-29,3	21,7-27,5	22,5-29,4	22,3-29,9	22,2-29,3
Alcalinidade total (meq/L)	2,81-6,88	2,81-6,56	3,44-6,70	6,4-9,7	2,71-7,50	5,0-7,29
Sólidos Totais em Suspensão (mg/L)	0,8-33,0	0,8-17,0	1,2-17,0	0,7-24,0	2,0-27,0	1,0-33,0
Condutividade Elétrica (mS/cm)	34,3-41,8	36,1-41,1	35,2-39,8	34,3-41,5	33,9-41,1	33,7-39,2
O.D. (mg/L)	6,2-10,1	0,04-8,9	0-3,7	6,4-10,1	6,6-9,5	5,9-9,0
pH	5,1-8,3	5,2-8,4	5,2-8,0	5,4-8,2	5,2-8,0	5,1-7,5
Transparência (m)	0,75-1,9	0,8-1,9	0,75-1,9	0,9-1,2	0,92-1,6	0,5-1,7
Profundidade máxima (m)	6,5-11,4	6,5-11,4	6,5-11,4	4,0-7,5	5,0-7,8	0,5-4,0
Profundidade média (m)	9,1	9,1	9,1	6,1	6,4	2,2
Turbidez (NTU)	3,2-5,8	3,5-8,8	3,8-5,9	1,8-5,6	2,14-6,23	3,2-7,8
N-total (mg/L)	0,12-1,04	0,42-0,98	0,41-1,17	0,27-1,07	0,21-1,1	0,33-1,01
P-total (mg/L)	ND-0,08	ND-0,21	ND-0,11	ND-0,06	ND-0,04	ND-0,1
Ortofosfato (mg/L)	ND – 0,05	< 0,02 – 0,03	< 0,02 – 0,03	ND – 0,03	ND – 0,06	ND – 0,08
Nitrato (mg/L)	< 0,02 – 0,13	0,02 – 0,15	< 0,02 – 0,17	< 0,02 – 0,14	< 0,02 – 0,13	0,05 – 0,3
Nitrito (mg/L)	ND – 0,01	< 0,01 – 0,01	< 0,01 – 0,07	ND – 0,01	ND – 0,01	ND – 0,01

ND = valores abaixo do limite de detecção do método.

Tabela 2 – Resultados obtidos das variáveis limnológicas nas três profundidades do ponto de captação no período estudado

Superfície	Ago	Set	Out	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
pH	7,5	7,9	8,3	8,2	5,1	6,1	6,0	5,5	5,5	6,3
Transp.(m)	1,2	0,8	1,0	0,9	1,0	1,1	1,0	1,6	1,9	1,5
Salin. (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez (NTU)	5,4	5,9	5,4	5,1	4,7	3,5	3,2	3,8	1,7	1,4
C.E. (uS/cm)	39,3	36,9	41,5	41,8	36,9	34,2	34,3	34,8	35,3	34,6
Temp. ar (oC)	24,5	32,5	32,0	33,0	29,0	29,0	27,5	23,0	26,0	22,8
Temp.agua (oC)	23,9	25,5	27,2	29,8	26,0	27,7	26,0	25,8	23,5	22,6
Prof.max. (m)	8,0	9,0	7,0	6,5	10,5	10,8	9,0	9,9	9,6	11,4
O.D. (mg/L)	9,3	9,7	9,5	8,9	6,2	7,9	8,2	7,7	7,2	10,1
STS (mg/L)	2,0	1,0	13,0	33,0	9,0	5,0	2,0	0,0	4,0	0,8
Meio	Ago	Set	Out	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
pH	7,4	8,0	8,0	8,4	5,5	6,2	6,3	5,2	5,6	5,9
Salin. (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez (NTU)	5,1	5,2	4,9	5,3	5,4	3,5	3,6	8,8	5,0	2,1
C.E. (uS/cm)	40,5	39,9	41,0	41,1	36,7	36,1	34,5	41,0	38,7	36,0
Temp. ar (oC)	24,5	32,5	32,0	33,0	29,0	29,0	27,5	23,0	26,0	22,8
Temp.agua (oC)	23,8	24,3	25,1	29,3	26,0	26,9	24,9	24,4	23,1	22,5
O.D. (mg/L)	7,7	6,2	6,3	8,9	2,5	1,9	0,04	0,1	0,1	2,6
STS (mg/L)	4,0	1,0	11,0	17,0	9,0	5,0	6,0	1,0	4,5	0,8
Fundo	Ago	Set	Out	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
pH	6,3	8,0	7,9	7,5	5,4	5,2	5,4	5,3	5,3	5,2
Salin. (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez (NTU)	4,9	4,7	5,1	5,9	4,3	7,9	4,8	3,8	3,4	2,6
C.E. (uS/cm)	39,1	39,8	38,6	38,5	36,7	39,8	35,2	37,7	36,8	36,8
Temp. ar (oC)	24,5	32,5	32,0	33,0	29,0	29,0	27,5	23,0	22,8	22,8
Temp.agua (oC)	22,6	24,0	23,9	27,5	25,8	24,2	24,2	22,0	21,7	21,7
O.D. (mg/L)	3,7	2,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,02	0,8	0,1	0,8
STS (mg/L)	7,2	2,0	8,0	17,0	5,0	2,0	2,66	9,0	9,5	1,2

Tabela 3 – Resultados obtidos das variáveis limnológicas nos pontos 2, 3, e 4 no período estudado

Ponto 2	Ago	Set	Out	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
pH	7,4	7,7	8,2	8,2	5,4	5,9	5,5	5,4	5,5	6,3
Salin. (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez (NTU)	5,3	5,6	4,9	5,1	4,3	3,5	3,5	3,2	1,5	1,8
C.E. (uS/cm)	39,6	39,3	41,1	41,5	37,2	34,3	34,4	35,0	35,3	35,6
Temp. ar (oC)	23,5	30,0	30,0	31,0	29,0	28,5	26,4	24,0	26,0	22,0
Temp.agua (oC)	23,8	25,1	26,0	29,4	26,4	27,4	26,0	25,0	23,6	22,5
Prof.max. (m)	6,0	4,5	4,0	4,0	7,5	7,1	7,0	7,7	6,0	7,0
STS (mg/L)	5,0	1,0	14,0	24,0	11,0	6,7	0,7	2,0	2,5	0,4
O.D. (mg/L)	8,9	9,7	9,5	8,7	6,4	7,9	8,1	7,5	7,7	10,3
Transp. (m)	1,2	1,2	0,9	0,9	0,9	1,2	1,0	1,4	2,0	1,6
Ponto 3	Ago	Set	Out	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
pH	7,4	7,3	8,0	8,0	5,5	5,9	5,5	5,5	5,2	5,9
Salin. (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez (NTU)	4,6	6,2	5,5	6,0	4,4	2,9	3,6	3,4	1,7	2,1
C.E. (uS/cm)	39,0	39,0	40,7	41,1	36,8	33,9	33,9	34,5	35,4	35,5
Temp. ar (oC)	25,0	31,0	29,0	31,0	30,0	30,0	27,7	27,0	25,6	22,8
Temp.agua (oC)	24,1	25,0	26,8	29,9	26,3	27,1	25,9	23,3	23,5	22,3
Prof.max. (m)	5,0	5,5	5,0	5,5	7,0	7,8	6,5	7,1	6,8	7,5
STS (mg/L)	2,0	2,0	13,0	27,0	9,0	4,0	2,0	7,0	3,5	0,8
O.D. (mg/L)	9,0	9,4	9,4	8,5	6,6	7,9	8,2	7,4	6,6	9,5
Transp. (m)	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,6	1,6	1,5
Ponto 4	Ago	Set	Out	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
pH	6,7	5,9	6,7	7,5	5,5	5,4	5,2	5,2	5,1	5,6
Salin. (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez (NTU)	5,4	5,7	7,7	7,8	5,0	4,0	3,7	6,7	2,2	3,2
C.E. (uS/cm)	38,8	38,8	38,8	39,2	36,4	37,7	34,0	34,7	35,5	35,0
Temp. ar (oC)	23,8	25,5	31,0	29,5	31,0	25,4	26,8	28,0	25,0	23,0
Temp.agua (oC)	23,6	24,3	26,6	29,3	26,7	26,7	25,9	22,9	23,1	22,2
Prof.max. (m)	1,1	1,0	0,5	0,7	3,0	3,4	4,0	3,0	2,8	2,6
STS (mg/L)	8,0	1,0	15,0	33,0	12,0	3,3	2,6	1,0	4,5	4,7
O.D. (mg/L)	8,8	8,3	8,6	7,9	7,5	7,9	8,0	7,0	5,9	9,0
Transp. (m)	0,9	0,9	0,5	0,6	1,0	1,2	1,1	1,3	1,7	1,2

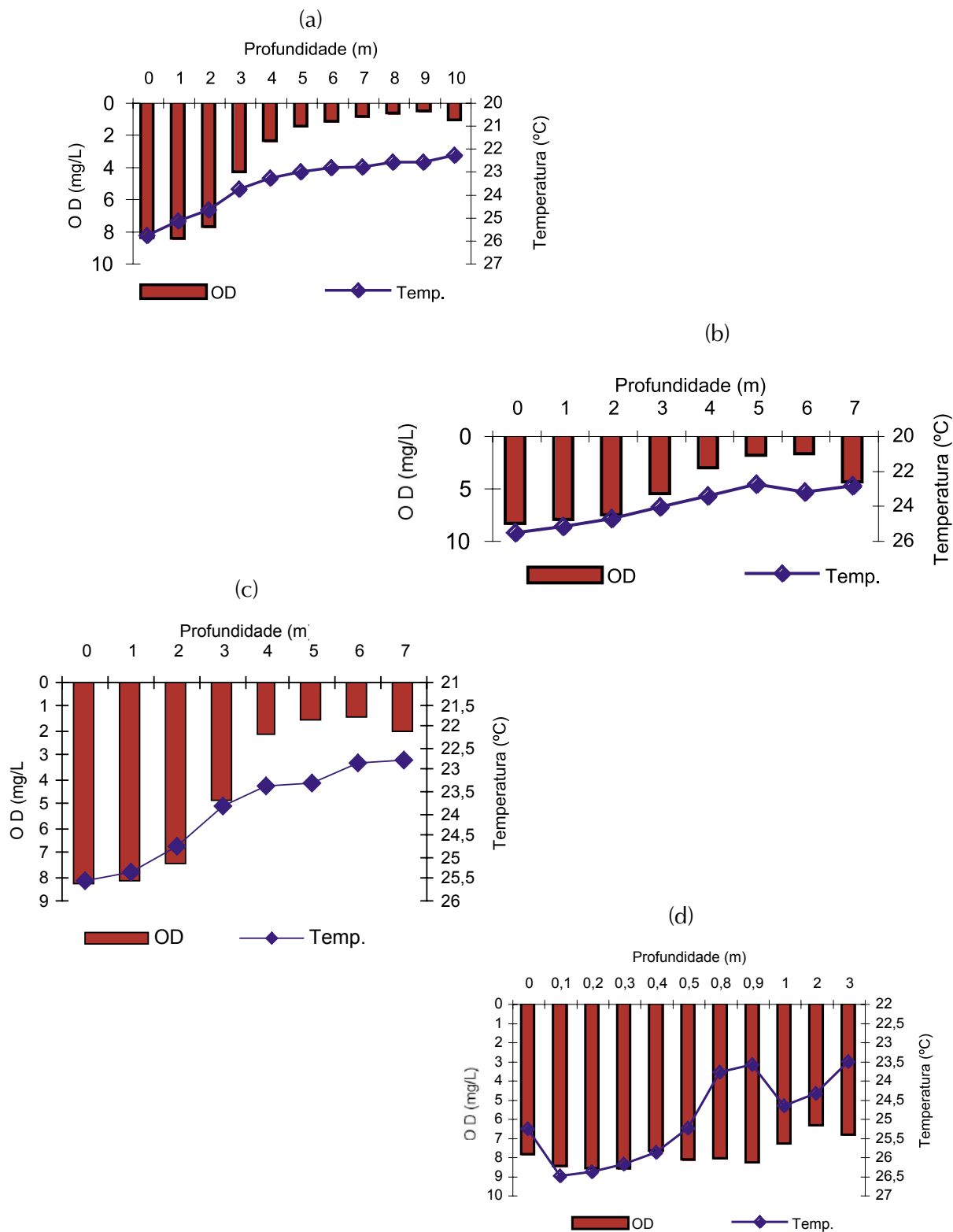


Figura 5 – Perfil térmico e de oxigênio dissolvido nos quatro pontos amostrados: (a) ponto 1; (b) ponto 2; (c) ponto 3 e (d) ponto 4. Os valores correspondem à média de todos os meses analisados.

5.2. Análise Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica

Foram identificados 82 taxons durante o período estudado considerando-se os quatro pontos amostrais, sendo 22 da Classe *Cyanophyceae*, 31 *Chlorophyceae*, 19 *Zygnemaphyceae*, 5 *Bacillariophyceae*, 2 *Dinophyceae*, 8 *Euglenophyceae*, 3 *Chrysophyceae* e 2 *Cryptophyceae*, como mostra a figura 3, sendo as Classes *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae* e *Zygnemaphyceae* aquelas que mais contribuíram para a riqueza de taxons na comunidade (34%, 24% e 21%, respectivamente) (figura 6).

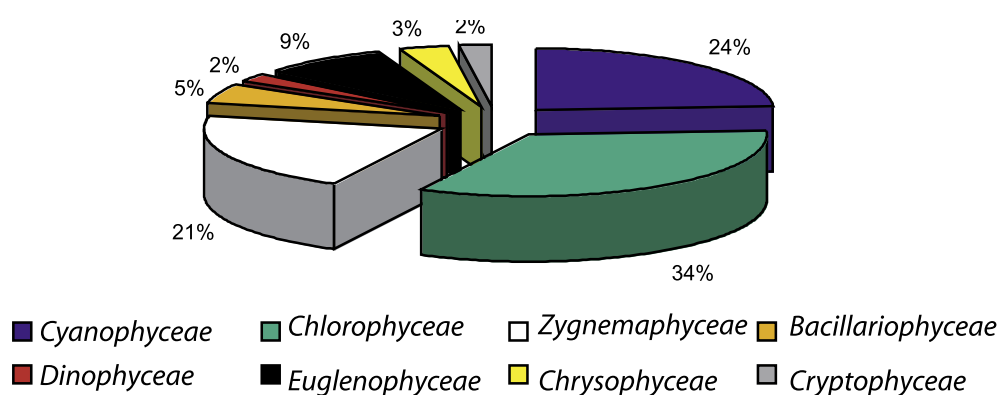


Figura 6 – Contribuição relativa, em termos de número de taxons, de cada classe de algas fitoplanctônicas nos quatro pontos amostrais no reservatório Duas Bocas.

Os pontos amostrais 1 Secchi, 3 e 4 apresentaram maior número de táxons (riqueza) em comparação aos pontos 1 e 2, conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4 – Número total de táxons em cada ponto de amostragem

Ponto de coleta	Nº de Taxons
Ponto 1(subsuperfície)	50
Ponto 1 (secchi)	68
Ponto 1 (fundo)	51
Ponto 2	53
Ponto 3	62
Ponto 4	68

A listagem abaixo mostra os táxons comuns entre os quatro pontos, os táxons exclusivos de cada ponto e os resultados da frequência de ocorrência, simbolizados por:

A = Abundante; D = Dominante; CT = Constante; CM = Comum e R = Raro.

Táxons comuns entre os pontos 1, 2, 3 e 4

Cyanophyceae

A/R Cyanophyceae 2

A/D/CT *Cylindrospermopsis raciborskii*
(Wolosz.) Seenayya et Subba Raju

A/CM *Limnothrix redekei* Van Goor

CM *Lyngbya* sp1

CM *Merismopedia* sp

A/CT *Pseudanabaena* sp3

CM *Rabdoderma* sp

Dynophyceae

CT *Peridinium* sp1

CT *Peridinium* sp2

Chlorophyceae

A/CM *Chlamydomonas* sp4

A/CM *Chlamydomonas* sp5

CM *Chlorella vulgaris* Beijerinck

CM *Coelastrum proboscideum* Bohlin

R *Coelastrum pulchrum* Schmidt

A/CM *Didymocystis fina* Komárek

A/CT *Eutetramorus planctonicus* (Korsikov)
Bourrelly

CT *Golenkinia radiata* Chodat

CT *Monoraphidium contortum* (Thuret)
Komárkova-Legnerová

CT *Monoraphidium griffithii* (Berkeley)
Komárkova-Legnerová

CM *Monoraphidium minutum* (Nägeli)
Komárkova-Legnerová

CM *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim)

CT *Scenedesmus bicaudatus* (Hansgirg)
Chodat

Zygnemaphyceae

A/CT *Cosmarium sphagnicolum* West &
West

A/CM *Cosmarium* sp5

R *Staurastrum cf laeve* Ralfs

A/CT *Staurastrum cf micron* West & West

CM *Staurastrum cf quadrangulare* var.

armatum West & West

A/CT *Staurastrum smithii* (G. M. Smith)
Teiling

A/CT *Staurastrum cf tetracerum* Ralfs

A/CT *Staurastrum gladiusum*

A/CM *Staurodesmus* sp2

A/CT Zygnemaphyceae 2

A/CT Zygnemaphyceae 3

Euglenophyceae

CT *Trachelomonas volvocinopsis* Swirenko

Táxons do Ponto 1:

Cyanophyceae

Aphanocapsa planctonica (G. M. Smith)
Kom. et Anag.

CM *Aphanocapsa cf elachista* W. et G. S.
West

R *Chroococcus* sp

R Cyanophyceae 5

CM Cyanophyceae 7

A/CM *Pseudanabaena moniliformis*
Komárek & Kling

A/CM *Pseudanabaena* sp4

A/CM *Pseudanabaena* sp5

D/A/CM *Synecococcus nidulans*

Bacillariophyceae

Aulacoseira sp

R *Cyclotella stelligera* Cleve et Grunow

Pennales 3

Pinnularia cf gigas Ehrenberg

Chlorophyceae

R *Ankistrodesmus gracilis* (Reinsch)
Korsikov

Chlamydomonas sp3

Chlorophyceae 6

R Chlorophyceae 7

Dictyosphaerium pulchellum Wood

R *Dictyosphaerium* sp

Pediastrum boryanum (Turpin) Meneghini

CM Scenedesmus coartatus Hortob.

Zygnemaphyceae

R Cosmarium sp1

R Cosmarium cf capitulum Roy & Bisset

Euastrum sp

Staurastrum rotula Nordst.

Staurodesmus sp3

Zygnemaphyceae 4

Euglenophyceae

R Lepocinclis sp

Trachelomonas sp2

Trachelomonas sp3

Crysophyceae

R Dynobryon sertularia Ehrenberg

R Mallomonas sp2

Cryptophyceae

Cryptomonas sp2

CM Cryptomonas sp3

Táxons do Ponto 2:

Cyanophyceae

R Cyanophyceae 3

Cyanophyceae 4

Cyanophyceae 6

CT Cyanophyceae 7

R Chroococcus sp

Pseudanabaena moniliformis Komárek & Kling

CM Synecococcus sp

Bacillariophyceae

R Cyclotella stelligera Cleve et Grunow

Pinnularia cf divergens W. Smith

Surirella cf biseriata Brébisson

Navicula sp

Chlorophyceae

R Chlorophyceae 4

Chlorophyceae 5

Chlorophyceae 6

CM Coelastrum sp3

Crucigenia sp

Dictyosphaerium ehrenbergianum Nägeli

R Dictyosphaerium sp

R Eutetramorus globosus Walton

R Oocystis sp

Pediastrum boryanum (Turpin) Meneghini

CM Scenedesmus coartatus Hortob.

R Scenedesmus westii

Zygnemaphyceae

CM Xanthidium cf variabile (Nordstedt)

West & West

Staurastrum sp4

Zygnemaphyceae 4

Euglenophyceae

Trachelomonas sp3

Crysophyceae

R Dynobryon sertularia Ehrenberg

Táxons do ponto 3:

Cyanophyceae

CM Aphanocapsa cf elachista W. et G. S.

West

CM Chroococcus turgidus (Kützing) Nägeli

CM Cyanophyceae 7

Bacillariophyceae

R Enotodia angusta var. densestriata

Navicula sp

Pennales 3

Chlorophyceae

R Ankitrodesmus bibraianus (Reinsch) Kors

Chlorophyceae 5

R Eutetramorus globosus Walton

CM Scenedesmus acutus Meyen

R Oocystis sp

Zygnemaphyceae

R Cosmarium cf capitulum Roy & Bisset

Staurastrum rotula

Euglenophyceae

CM Phacus horridus Pochmann

CM Trachelomonas curta cunha

Táxons do ponto 4:

Cyanophyceae

A/CM Anabaena circinalis Rabenhorst
Aphanocapsa planctonica (G. M. Smith)
 Komárek & Anagnostidis
 R Cyanophyceae 3
 R Cyanophyceae 5
Pseudanabaena moniliformis Komárek &
 Kling

Chlorophyceae
 R *Eutetramorus globosus* Walton

R *Oocystis* sp
Zygnemaphyceae
Euastrum sp

Euglenophyceae
 R *Euglena gracilis* Klebs
 CM *Trachelomonas curta* Cunha
 R *Trachelomonas superba* Swirenko

Crysophyceae

As Classes que mais contribuíram, em termos de riqueza de táxons em todos os pontos amostrais foram *Chlorophyceae*, seguida de *Zygnemaphyceae* e *Cyanophyceae* conforme mostram as figuras 7 e 8.

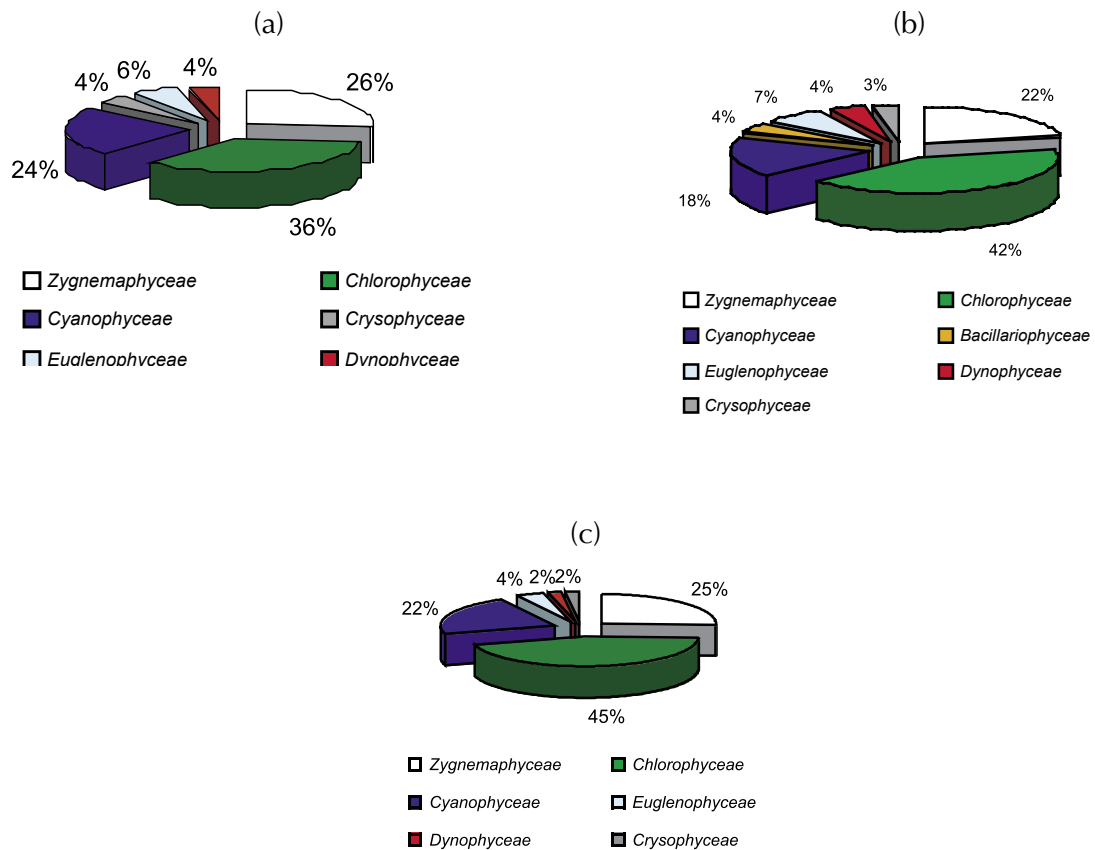


Figura 7 – Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, nas três profundidades: superfície (a), Secchi (b) e fundo – limite inferior da zona eufótica(c) no ponto 1.

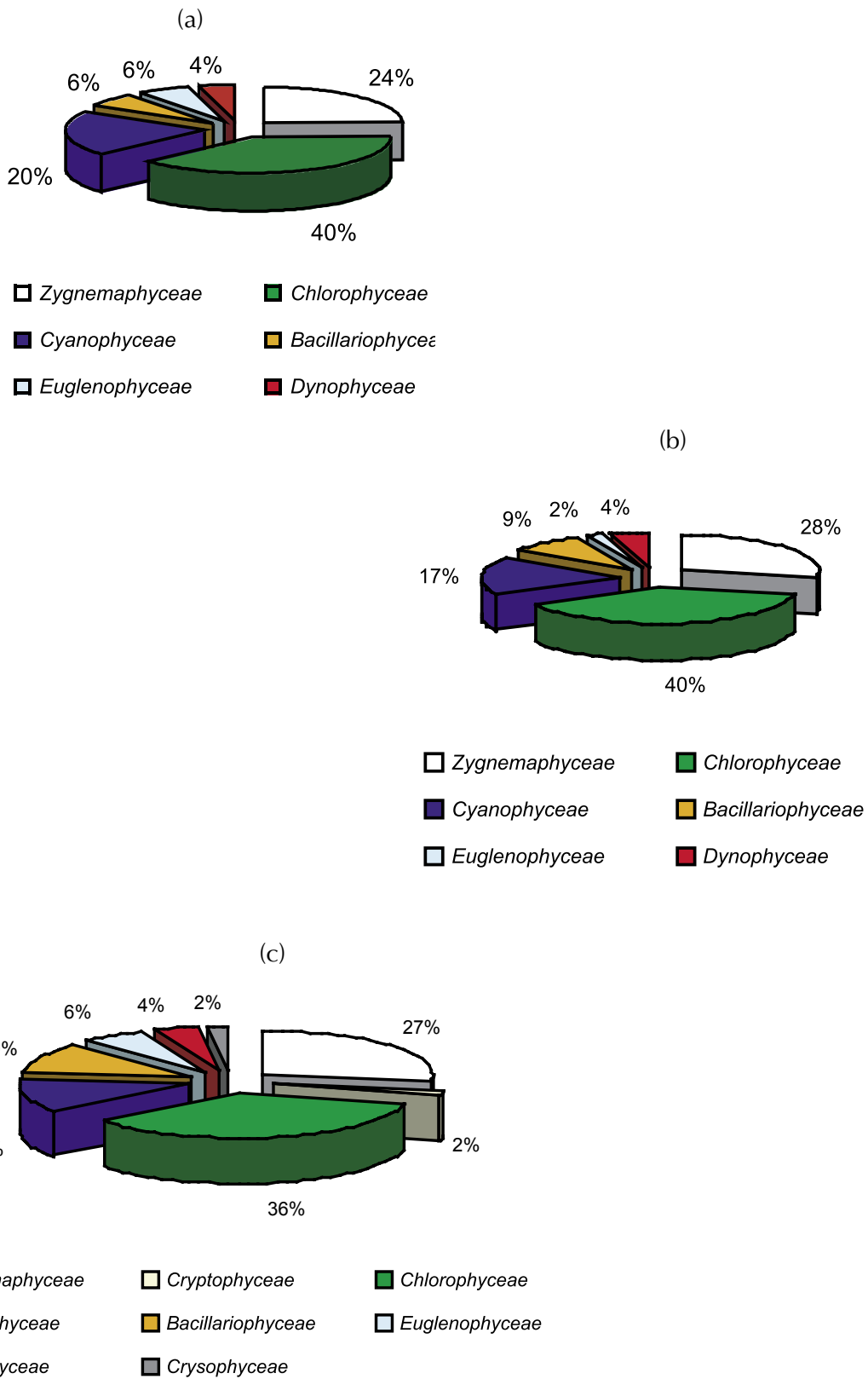


Figura 8 – Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, nos pontos 2 (a), 3 (b) e 4 (c) .

5.3. Análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica

A densidade total de organismos fitoplanctônicos variou de 5.604 ind/mL (ponto 1 Secchi em abril/2004) a 223.410 ind/mL (ponto 1 Secchi dezembro/2003) no período estudado, conforme mostram a tabela 5 e as figuras 9 e 10. Em outubro e dezembro/2003 foram registrados os valores mais elevados de densidade total no ponto 1 Secchi e ponto 1 fundo principalmente explicados pela dominância da cianobactéria unicelular *Synechococcus nidulans*.

De um modo geral, as densidades totais do fitoplâncton registradas nos pontos 2, 3 e 4 mostraram pouca variabilidade temporalmente, sendo o menor valor obtido no ponto 2 em abril/2004 (5.604 ind/mL) e o maior valor obtido no ponto 3 em setembro/2003 (31.488 ind/mL).

No mês de novembro, por problemas logísticos, não foi possível realizar a coleta. Houve greve na Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan), justamente no período agendado e aprovado pelo Idaf para a coleta, impossibilitando o uso do motor do barco pertencente a esta empresa. Os dois outros motores dos barcos da Reserva Biológica de Duas Bocas estavam em manutenção neste mesmo período.

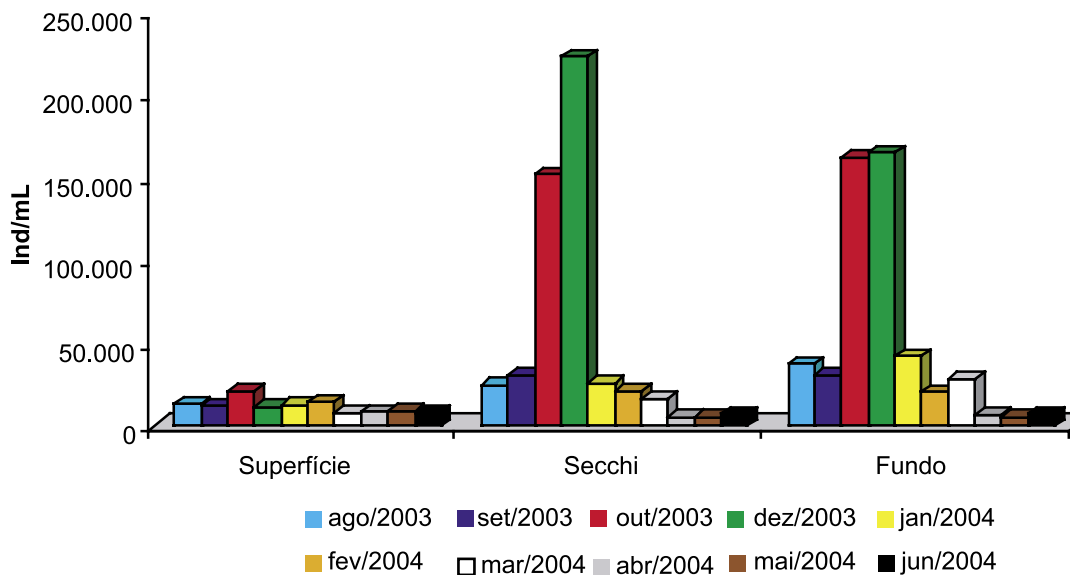


Figura 9 – Variação temporal da densidade total de organismos fitoplanctônicos no ponto de captação.

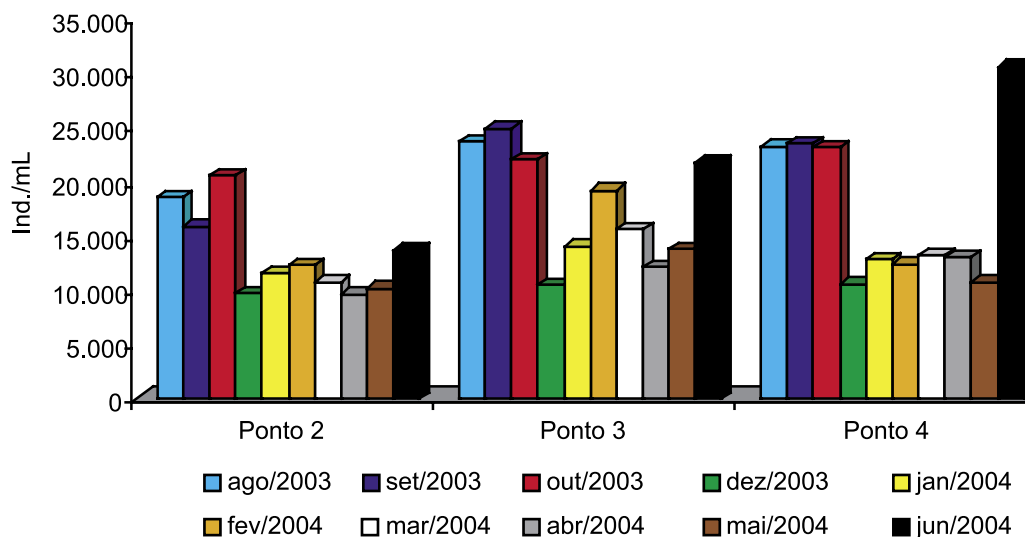


Figura 10 – Variação temporal da densidade total de organismos fitoplanctônicos nos pontos 2, 3 e 4.

Tabela 5 – Densidade Total da comunidade fitoplanctônica nos meses de coleta e pontos de amostragem

Meses	P1 Sup.	P1 Secchi	P1 Fundo	P2	P3	P4
ago/2003	27.808	24.831	37.465	25.252	29.902	29.371
set/2003	30.998	31.057	30.946	21.066	31.488	29.706
out/2003	28.459	152.157	162.108	17.516	27.908	26.335
dez/2003	24.802	223.410	165.626	24.718	13.228	13.361
jan/2004	12.788	26.305	42.469	11.567	13.984	12.844
fev/2004	14.569	21.104	20.715	12.234	19.187	12.244
mar/2004	8.093	16.428	28.715	10.730	15.544	13.141
abr/2004	8.577	5.604	6.849	9.582	12.088	12.955
mai/2004	9.148	5.827	5.848	10.123	13.785	10.680
jun/2004	8.093	7.736	7.273	13.628	21.716	30.572

Na análise quantitativa, em todos os pontos amostrais, foi predominante a Classe *Cyanophyceae*. Nos pontos 1 (superfície), 2, 3 e 4 a segunda Classe mais representativa foi *Zygnemaphyceae*, enquanto que nos pontos 1 Secchi e fundo foi a Classe *Chlorophyceae*, conforme mostram as figuras 11 e 12.

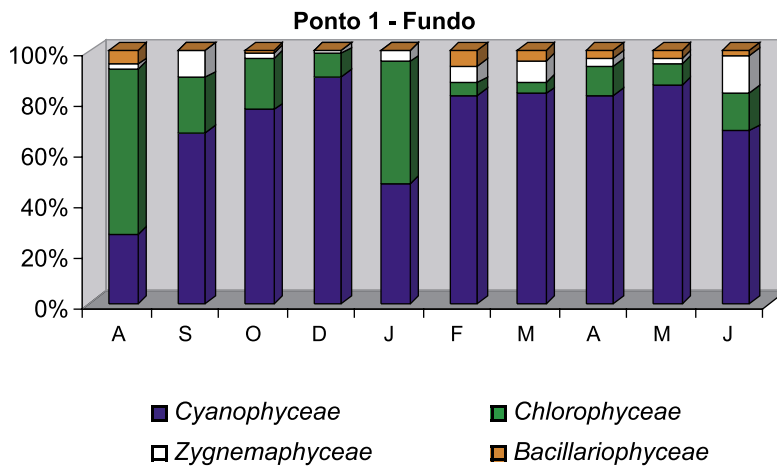
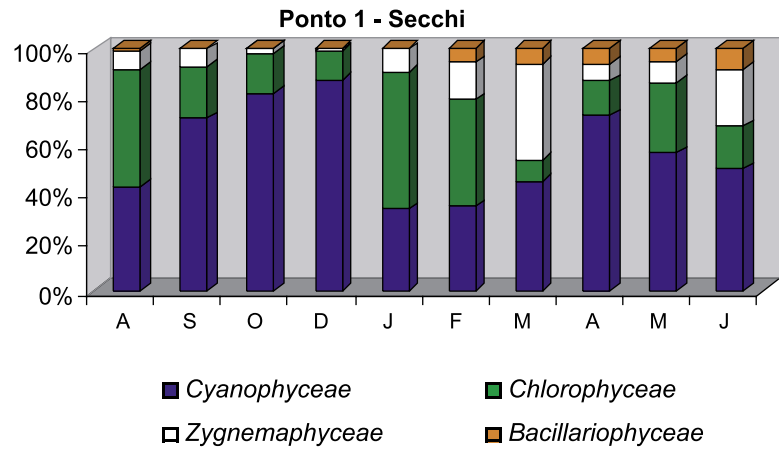
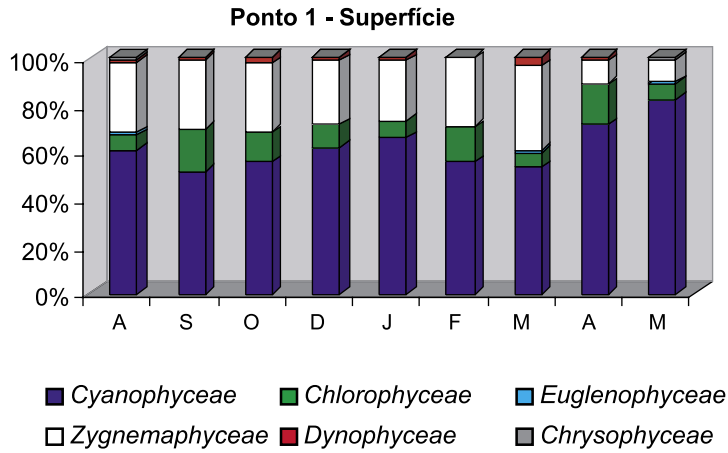


Figura 11 – Contribuição relativa das Classes de algas, (ind./mL), na densidade total fitoplanctônica em cada profundidade do ponto 1 (captação).

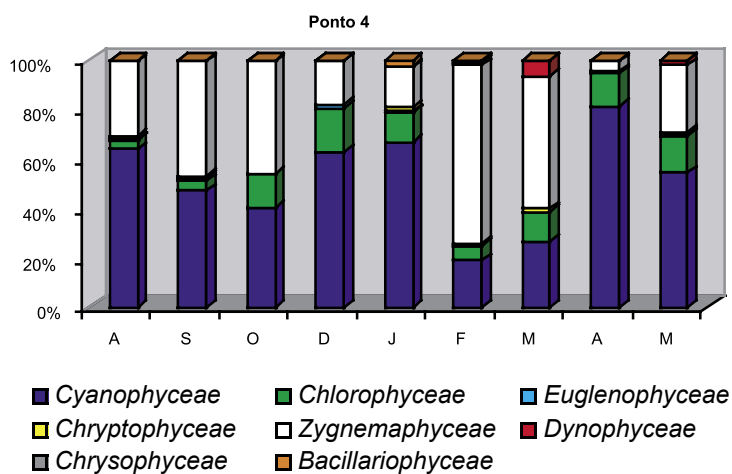
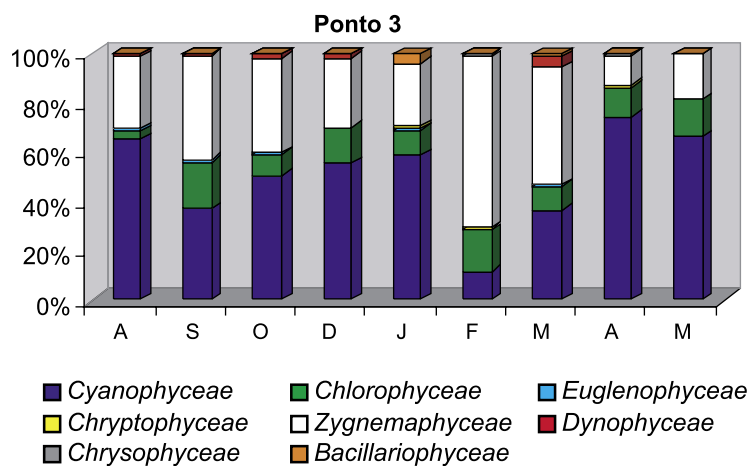
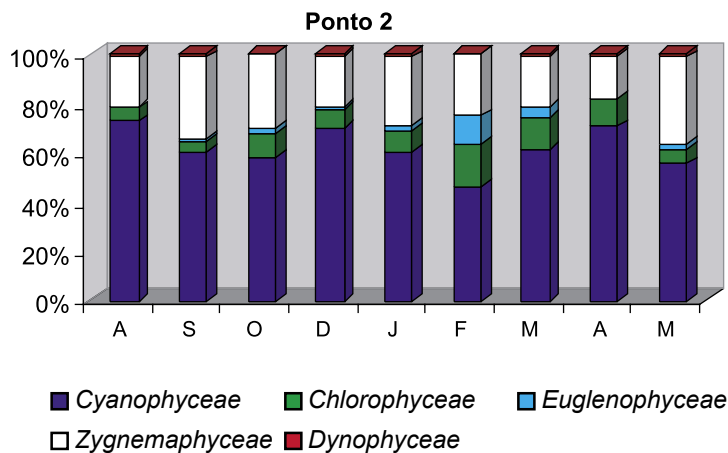


Figura 12 – Contribuição relativa das Classes de algas, em termos de número de ind./mL, na densidade total fitoplancônica nos pontos 2, 3 e 4.

Foram registradas 22 espécies abundantes na comunidade fitoplanctônicas no período estudado e a cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* foi dominante nos seguintes meses e pontos: jan/2004 (64.630 céls/mL) e abr (53.340 céls/mL) no ponto 1 (superfície), dez/2003 (62.630 céls/mL) no ponto 1 (meio) e em dez/2003 (74.820 céls/mL) no ponto 1 (fundo), no ponto 2 em out/2003 (92.990 céls/mL), abr/2004 (57.900 céls/mL) e mai/2004 (53.000 céls/mL); no ponto 3 em jan/2004 (64.630 céls/mL) e no ponto 4 em abr/2004 (53.440 céls/mL).

Foram abundantes as seguintes espécies: *Pseudoanabaena moniliformis* e *Cylindrospermopsis raciborskii* durante a maior parte do período estudado em todos os pontos de amostragem. A espécie *Synechococcus nidulans* se manteve abundante no ponto 1 (superfície e fundo). No ponto 3 e no ponto 4 foram abundantes as espécies *Synechococcus* sp, *Synechocystis* sp e *Limnotrix redeikei*.

Foi constante a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* no período estudado, independentemente do ponto de amostragem.

Todas as cianobactérias foram quantificadas em células/mL, conforme mostram as figuras 13 e 14. De acordo com o perfil vertical, o maior valor obtido foi em dez/2003 (251.338 células/mL) no ponto 1- Secchi. Tal densidade foi explicada principalmente pela dominância (“bloom”) de *Synechococcus nidulans* (187.958 células/mL).

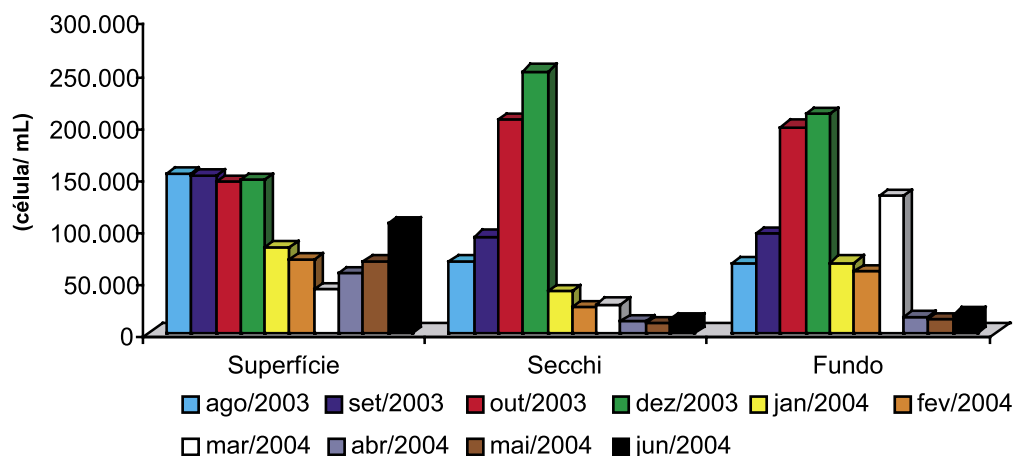


Figura 13 – Densidade de Cianobactérias (células/mL) registradas no Ponto 1 (superfície, secchi e fundo).

Comparando-se os pontos 2, 3 e 4, vemos que as maiores densidades de cianobactérias (céls./mL) foram registradas nos três primeiros meses, principalmente em ago/2003, com posterior declínio dos valores.

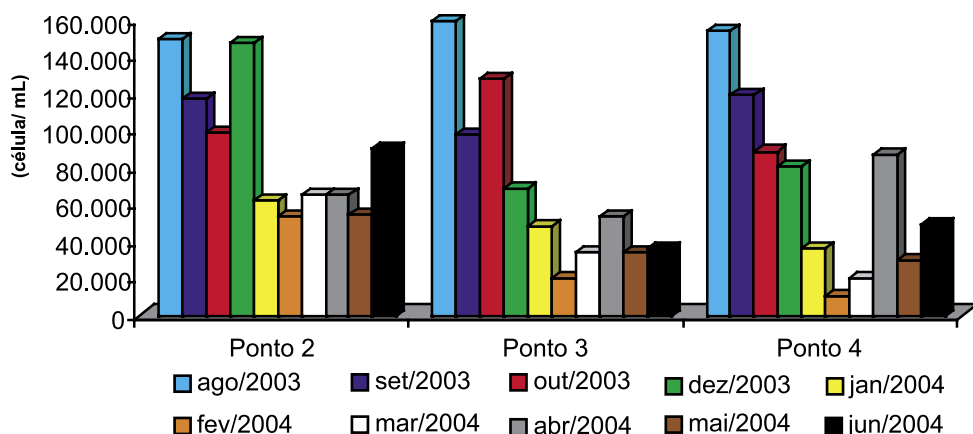


Figura 14 – Densidade de Cianobactérias (células/mL) dos pontos 2, 3 e 4.

A partir da aplicação dos coeficientes Simples e Múltiplo de *Nygaard* utilizando os dados qualitativos do fitoplâncton, todos os pontos de amostragem foram classificados de mesotróficos a eutróficos, com exceção do ponto 4 que variou de oligotrófico a mesotrófico (tabela 6). Tal fato é explicado principalmente pela elevada riqueza de táxons das Classes *Cyanophyceae* e *Chlorophyceae*.

Tabela 6 – Coeficientes Biológicos de Nygaard (1949 apud Delazari-Barroso, 2000) para as comunidades fitoplanctônicas nos quatro pontos estudados.

Coeficientes Biológicos de Nygaard	Ponto 1 (superfície)	Ponto 1 (secchi)	Ponto 1 (fundo)	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Coeficiente Simples (Q)	1,08	1,66	1,70	1,23	1,43	0,98
Coeficiente Múltiplo ou Composto (Q)	2,42	2,80	2,70	2,23	2,50	1,88

5.4. Estação de tratamento de água piloto

5.4.1. Análise Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica

Nas três coletas do mês de julho/2004 (6/7, 13/7 e 20/7), foi registrado um total de 40 táxons, sendo 13 da Classe *Cyanophyceae*, 14 *Chlorophyceae*, 10 *Zygnemaphyceae*, 2 *Euglenophyceae* e 1 *Crysophyceae*, conforme lista abaixo:

Cyanophyceae

Aphanocapsa planctonica G. M. Smith CM/CT

Cylindrospermopsis raciborskii Sweenayya & Subba Raju A/D/CT

Limnothrix redekei van Goor CM

Lyngbya digueti Gomont CM

Merismopedia punctata Meyen CM/CT

Microcystis viridis Sant'Anna CM

Microcystis sp.1 CM

Microcystis sp.2 R

Pseudanabaena moniliformis Komárek & Kling A/D/CT

Pseudanabaena sp. A/D/CT

Raphidiopsis mediterranea Skuja CM

Spirulina sp. CM
Synechococcus nidulans (Pringsheim)
 Komárek A/D/CT

Chlorophyceae

Acanthosphaera sp. R
Ankistrodesmus bernardii Komárek CM
Chlorella vulgaris Beyerinck CM/CT
Chlorophyceae sp.1 CM/CT
Chlorophyceae sp.2 CM/CT
Chlorophyceae sp.3 CM/CT
Chlorophyceae sp.4 CM/CT
Eutetramorus planctonicus Korch CM
Golenkinia radiata Chodat CM
Lagerheimia sp. R
Monoraphidium arcuatum Hindak CM
Monoraphidium minutum Komárkova-
 Legenerová CM/CT
Monoraphidium sp. R
Scenedesmus bicaudatus Meyen CM

Zygnemaphyceae

Cosmarium contractum West & West CM/CT

Cosmarium minimum West & West CM
Staurastrum micron West & West CM/CT
Staurastrum rotula Nordst CM
Staurastrum smithii Teil R
Staurastrum tetracerum Ralfs R
Staurastrum sp.1 CM/CT
Staurastrum sp.2 CM
Staurastrum sp.3 CM
Staurodesmus omearae West & West CM/
 CT

Euglenophyceae

Phacus sp. R
Trachelomonas abrupta Swerenko R

Crysophyceae

Mallomonas sp. R

Sendo:

A = abundante

D = Dominante

CT = constante

CM = comum

R=raro

As Classes que apresentaram maior contribuição para a riqueza de táxons nos pontos analisados da estação de tratamento de água piloto foram, *Chlorophyceae* e *Cyanophyceae* seguida de *Zygnemaphyceae* (34%, 33% e 25%, respectivamente), conforme ilustra a figura 15.

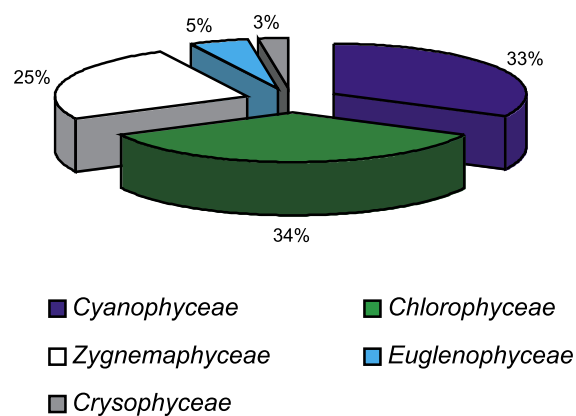


Figura 15 – Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, na ETA piloto de flotação.

5.4.2. Análise Quantitativa da Comunidade Fitoplanctônica

As amostras de água bruta apresentaram flutuação nos valores obtidos para a densidade algal total, tendo sido registrados 57.830 ind/mL no dia 06/07/2004, 53.065 ind/mL no dia 13/07/2004 e 86.691 ind/mL no dia 20/07/2004.

Foram testadas diferentes substâncias químicas e metodologias para a remoção de algas na ETA piloto. A densidade total foi reduzida nas etapas pós-flotação e pós-filtração, em todas as coletas realizadas (figura 16). Destaca-se, porém, a coleta realizada em 13/7/2004, quando foi utilizado Peróxido de Hidrogênio como agente pré-oxidante e Policloreto de Alumínio (PAC), dosado na calha de contato. Nesta coleta, o ponto pós-flotação apresentou densidade total de 16.206 ind/mL, a qual foi ainda mais reduzida a 5.976 ind/mL no ponto pós-filtração. Entre as metodologias empregadas, esta foi a que apresentou o maior índice de remoção de algas (aproximadamente 89,0%), podendo ser considerada a mais eficiente.

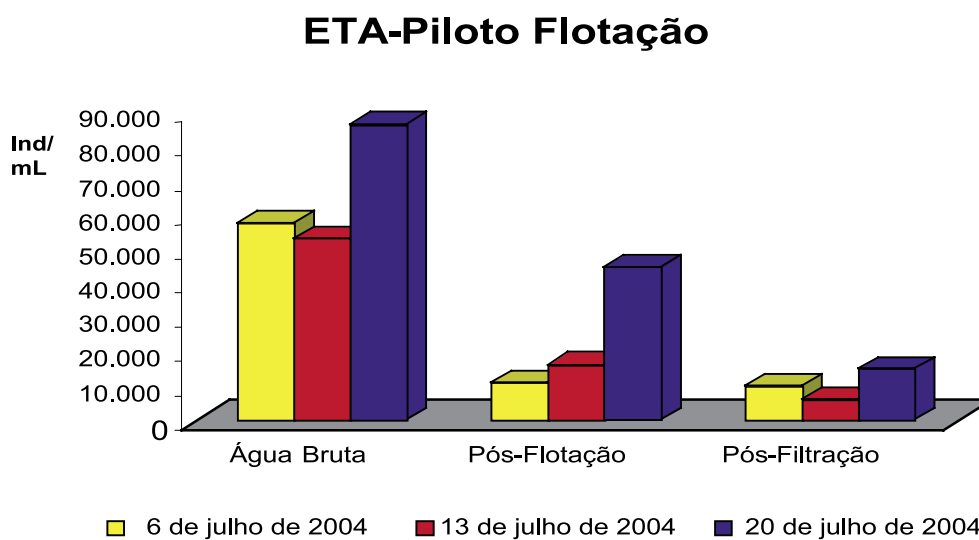


Figura 16 – Variação temporal da densidade algal nos pontos de amostragem a cada coleta.

Com relação às Cyanobactérias, especificamente, todas as quantificações foram feitas em céls./mL, conforme mostra a figura 17. Pode-se observar que os resultados obtidos mostraram-se reduzidos nos processos pós-flotação e pós-filtração. A maior densidade de cianobactérias na água bruta foi registrada em 20/7/2004, quando se observou o maior índice de remoção destas algas, com uma redução de 82.172 céls/mL na água bruta para 14.901 céls/mL no ponto pós-filtração (remoção de aproximadamente 81%).

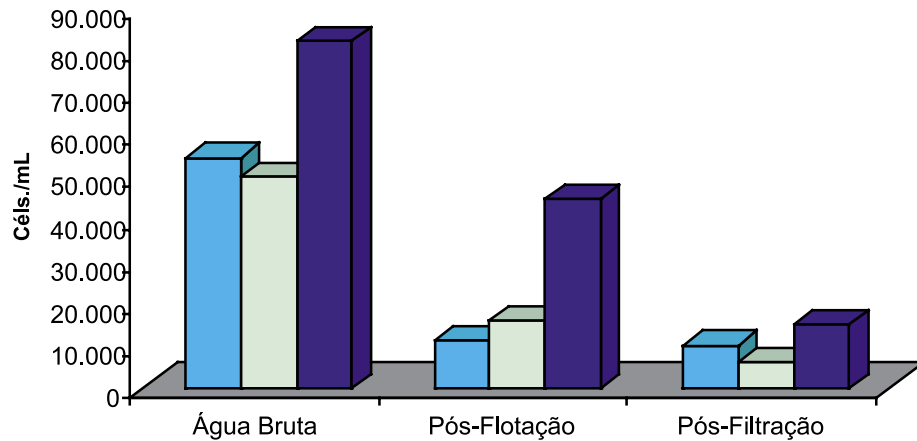


Figura 17 – Variação da densidade relativa da Classe *Cyanophyceae* nas três coletas realizadas em diferentes etapas da ETA piloto.

5.4.3. Variáveis Limnológicas

Os resultados obtidos para as variáveis limnológicas, nas três coletas, estão demonstrados na tabela 7. Pouca variação foi obtida para a temperatura (água e ar) no ponto correspondente à água bruta e nas etapas da ETA piloto.

Quanto ao oxigênio dissolvido, na água bruta variou de 5,3 a 5,6 mg/L. No entanto, na pós-flotação e pós-filtração, os valores aumentaram em decorrência da adição de ar dissolvido ao processo.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) variaram de 37,0 a 39,0 mg/L na água bruta, e apresentaram certo aumento nas etapas subseqüentes da ETA. A condutividade elétrica apresentou padrão semelhante de variação, provavelmente explicado pela adição de substâncias químicas ao processo.

O pH apresentou características ácidas na água bruta (5,1 a 5,3) e valores ainda menores nas etapas da ETA devido à necessidade de correção do mesmo pela adição de substâncias químicas para melhor atuação dos agentes coagulantes.

Tabela 7 – Valores obtidos para as variáveis limnológicas analisadas

Variáveis Limnológicas	Água bruta	Pós-flotação	Pós-filtração
	Min.-Máx.	Min.-Máx.	Min.- Máx.
Temperatura do ar (°C)	20,0-27,0	21,0-27,0	20,6-26,0
Temperatura da água (°C)	21,4-24,2	22,2-24,2	22,1-24,2
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,3-5,6	6,9-8,1	6,2-7,2
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	37,0-39,0	43,0-50,0	43,0-49,0
Condutividade Elétrica (mS/cm)	37,7-39,4	43,8-50,8	43,8-50,0
pH	5,1-5,3	3,9-4,3	3,8-4,4

A análise de variância aplicada às variáveis físicas, químicas, físico-químicas e biológicas durante os meses estudados (seqüência temporal) revelou os seguintes resultados apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Resultado da aplicação da Anova às variáveis limnológicas e do fitoplâncton durante a seqüência temporal no Reservatório Duas Bocas.

Variável	F	Erro	Resultado
Transparência da água	17.12	0,1%	Significativa
Oxigênio Dissolvido	0.75		Não significativa
pH	35.71	0,1%	Significativa
Turbidez	7.04	0,1%	Significativa
Sólidos Totais em Suspensão	31.96	0,1%	Significativa
Alcalinidade Total	6.16	0,1%	Significativa
P-total	10.77	0,1%	Significativa
N-total	19.95	0,1%	Significativa
P-orto	38.76	0,1%	Significativa
Nitrato	13.26	0,1%	Significativa
Densidade Total do Fitoplâncton	2.62	5,0%	Pouco significativa
Densidade de Cianobactérias	9.55	0,1%	Significativa

A análise fatorial em componentes principais apresentou os resultados expressos nas figuras 18 e 19. O fator 1 foi explicado por variáveis físicas e químicas (temperatura da água e P-total); o fator 2 foi explicado pela variável biológica densidade total do fitoplâncton, a qual teve relevância, mas não foi relacionada com os demais fatores; o fator 3 foi novamente explicado pelas variáveis físico-químicas (condutividade elétrica e oxigênio dissolvido). O fator 1 e 2 explicaram, cada um 26,4% e 45,0%, respectivamente; ambos explicaram cerca de 61,0%

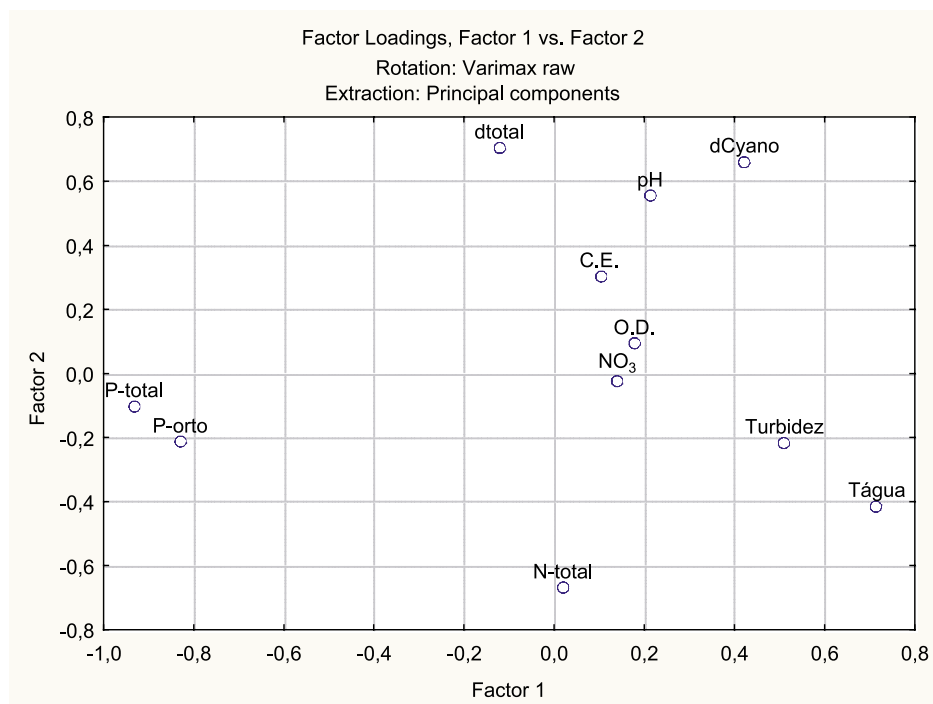


Figura 18 – Análise fatorial em componentes principais com dados limnológicos e de fitoplâncton no reservatório Duas Bocas no período estudado (fator 1 e fator 2).

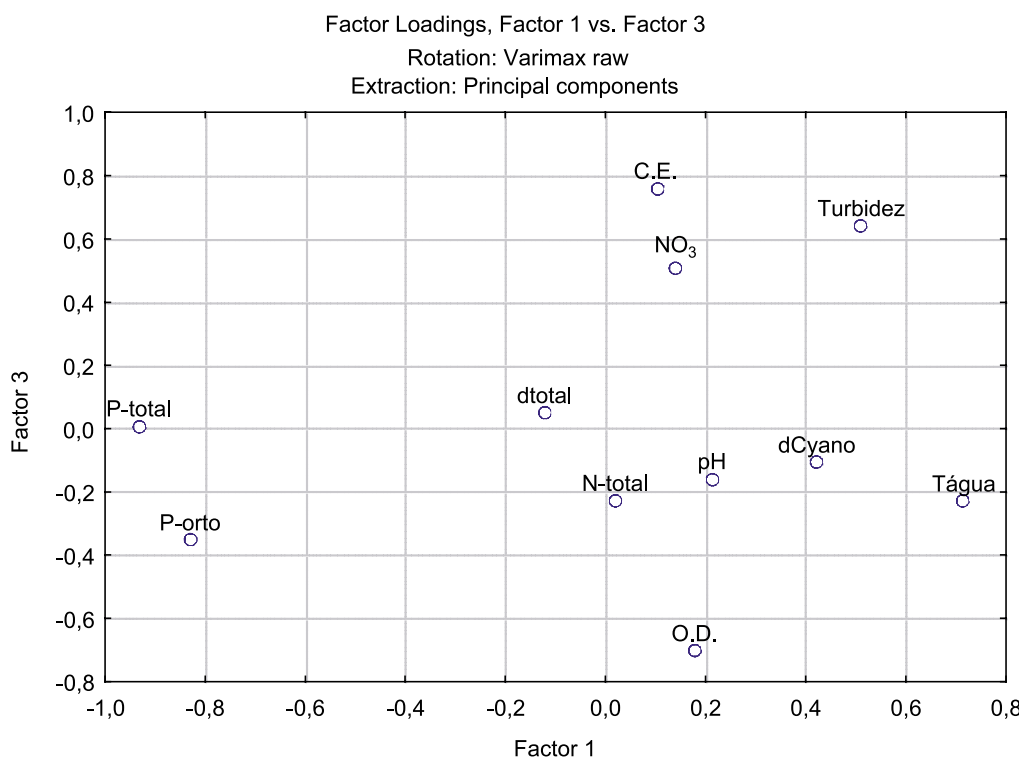


Figura 19 – Análise fatorial em componentes principais com dados limnológicos e de fitoplâncton no reservatório Duas Bocas no período estudado (fator 1 e fator 3).

5.5. Discussão

5.5.1. Caracterização do Reservatório – variáveis limnológicas

Os maiores e menores valores de temperatura foram registrados no ponto 1 em todas as três profundidades nos meses de dezembro/2003 (29,8°C) e junho/2004 (21,7 °C), respectivamente. Provavelmente, isto deveu-se a época (verão, inverno) e ao horário da coleta.

Os perfis térmicos mostraram estratificação térmica em todos os pontos amostrais, sendo mais acentuado no ponto 1 com média de 1,8 °C de diferença máxima entre a superfície e o fundo. Delazari –Barroso (2000) registrou este mesmo padrão de estratificação no ponto de captação, tanto no período chuvoso quanto no seco, sendo mais pronunciado no chuvoso, com diferença máxima de 6,1 °C.

Segundo Cole (1994), a diferença de temperatura de 1 a 2 °C em corpos d'água tropicais pode condicionar uma estratificação térmica, em virtude da diferença de densidade entre as camadas. Os ventos na região do reservatório não apresentam forte influência para promover a circulação da coluna d'água devido ao seu maior eixo situar-se paralelamente à direção Norte (Delazari Barroso, 2000).

De acordo com Straskraba & Tundisi (1999), o reservatório Duas Bocas pode ser considerado hidrologicamente profundo, com estratificações térmicas duradouras.

A profundidade média no ponto 1 foi a maior registrada, se comparada com os demais pontos, caracterizando-o como a região mais profunda do reservatório (zona lacustre). Delazari Barroso (2000) registrou profundidade média de 9.7 metros neste ponto.

Com relação à transparência, houve representativa diferença entre os pontos de amostragem durante o período estudado, especialmente no ponto 1. Os menores valores foram registrados nos meses de setembro e outubro, quando o nível do reservatório estava baixo e as águas esverdeadas; os maiores valores foram registrados no mês de maio, após período chuvoso.

A variabilidade temporal da transparência da água foi considerada significativa estatisticamente.

Nos pontos de amostragem foram registrados perfis clinografados de oxigênio dissolvido com exceção do ponto 4, onde a diferença dos valores entre superfície e fundo foram pequenas. Foi registrada anoxia a partir de cerca de três metros no ponto 1 e hipoxia nos pontos 2 e 3 (a partir de cerca de três metros). No ponto 4 sempre foram registrados elevados valores.

No ponto de captação, por ser mais profundo, há tendência ao acúmulo de matéria orgânica no sedimento, promovendo elevada taxa de decomposição, aumentando a demanda de oxigênio dissolvido; a ausência de luz no hipolímnio faz com que os processos de decomposição superem em muito os de produção. Além disto, a anoxia registrada em diferentes meses no hipolímnio indica estratificação térmica estável (Delazari-Barroso 2000). Morelato (2003) ao estudar a composição química do sedimento no ponto de captação

mostrou que, devido ao perfil clinogrado de oxigênio dissolvido, deve haver liberação de nutrientes do sedimento para o hipolímnio, favorecendo a comunidade fitoplanctônica que se desenvolve em camadas mais inferiores onde chega pouca luz (cianobactérias).

A variabilidade temporal do oxigênio dissolvido foi considerada não significativa estatisticamente. A variação espacial (vertical) foi mais pronunciada, especialmente nos pontos 1, 2 e 3.

Os resultados de pH mostraram valores de ácidos a alcalino, com valores oscilando entre 5.1 e 8.0. Os maiores valores podem ser explicados pelos processos fotossintéticos responsáveis por consumir o CO₂ livre na água, reduzindo a formação do ácido carbônico, elevando assim o pH. O maior valor de pH foi de 8.3 no ponto 1 (subsuperfície) e o menor valor foi de 5.1, registrando no ponto 4 (próximo à desembocadura do córrego Pau Amarelo) e no ponto 1 (subsuperfície). O ponto 4 foi caracterizado por apresentar valores de pH mais baixos quando comparados aos valores dos pontos 1, 2 e 3. Isso deve-se, provavelmente ao maior aporte de matéria orgânica, que é recebido pelo córrego Pau Amarelo e que entra em decomposição, consumindo oxigênio e liberando gás carbônico, o qual, reagindo com água, origina o ácido carbônico reduzindo o pH (Cole, 1994; Esteves, 1998).

A variabilidade temporal do pH foi considerada significativa estatisticamente.

No reservatório Duas Bocas os valores de alcalinidade total tenderam a serem maiores no ponto 1 fundo e nos pontos 2 e 4, região de desembocadura dos córregos. A alcalinidade é a medida de capacidade tampão do sistema e pode estar relacionada ao tipo de rocha da bacia de drenagem e ao grau de intemperização (Cole, 1994). Nesta pesquisa, os maiores valores obtidos devem estar diretamente relacionados aos materiais alóctones carregados em épocas de chuva e às reações químicas, especialmente no hipolímnio e na região fluvial do reservatório.

A variabilidade temporal da alcalinidade total foi considerada significativa estatisticamente.

Nos primeiros meses de coleta, a concentração de sólidos totais em suspensão foi baixa, tendo uma significativa elevação nos meses subsequentes, provavelmente devido à ocorrência de chuvas características do verão, que devem ter promovido o carreamento de material particulado e dissolvido para os córregos e para o reservatório e devido às maiores densidades fitoplanctônicas.

A variabilidade temporal da concentração de sólidos totais suspensos foi considerada significativa estatisticamente.

Os valores de nitrato e nitrito foram muito baixos durante todo o período estudado. Como o nitrato é amplamente requerido pelos organismos aquáticos, a baixa concentração desse elemento pode ser explicada pelo fato dele estar incorporado às algas. Segundo Esteves (1998), o nitrito é encontrado em baixas concentrações em ambientes oxigenados. Isso se aplica ao Reservatório Duas Bocas, principalmente na subsuperfície do ponto 1 e nas regiões próximas à desembocadura dos córregos, cujo oxigênio foi elevado, especialmente no ponto 4. De acordo com Vollenweider (1968), os valores aqui obtidos para nitrato e nitrito denotam características oligotróficas do sistema.

Delazari-Barroso (2000) estudando o Reservatório Duas Bocas, encontrou no ponto de captação, valores de nitrogênio total que variaram de 0,4 a 0,9 mg/l no período seco e de 0,4 a 3,7 mg/l no período chuvoso. Valores de nitrogênio total obtidos neste trabalho, no mesmo ponto, foram menores, uma vez que variaram de 0,12 a 1,17mg/l, durante todo o período estudado, sendo também considerados baixos, denotando características oligotróficas.

A importância do nitrogênio deve-se, principalmente, à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa, e quando presente em baixas concentrações, pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos. As principais fontes naturais de nitrogênio podem ser: a chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio lago (Esteves, 1998). No reservatório Duas Bocas durante a estação seca a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* (cianobactéria) apresentou heterocitos (estrutura de fixação de nitrogênio). O aparecimento dessa estrutura durante esse período provavelmente deveu-se à baixa concentração de nitrogênio na coluna d'água.

Os valores de fósforo e ortofosfato total variaram de valores não detectados a 0,1 mg/L no ponto 1. De acordo com Vollenweider (1968 apud Esteves, 1998) ambientes aquáticos que apresentam tais concentrações são classificados como eutróficos. Entretanto, tem-se que interpretar essa classificação com cuidado, pois foi baseada em lagos de regiões temperadas, onde o metabolismo desses ecossistemas é bastante diferente, devido às condições ambientais peculiares.

Esteves (1998) discute que, no caso de represas tropicais, a quantidade de fitomassa inundada, quando de sua formação, é de fundamental importância na determinação da concentração e da distribuição de fosfato na coluna d'água. O reservatório Duas Bocas encontra-se dentro de uma Reserva Biológica e seus tributários não recebem nenhum efluente doméstico ou industrial, pois nascem na própria área da Reserva. No entanto, devido à anoxia registrada em diversos meses na coluna d'água, especialmente no ponto 1, o fosfato pode estar sendo liberado do sedimento para a coluna d'água. A entrada de fósforo no sistema, deve-se, provavelmente, à contribuição dos córregos, à vegetação adjacente e ao próprio sedimento, uma vez que Morellato (2003) estudando o sedimento do reservatório Duas Bocas, encontrou elevados valores de fósforo total na zona fluvial dos córregos Pau Amarelo (0,73 a 0,84 mg P/g P.S.) e Naiçu (0,54 a 0,70 mg P/g P.S.) e na zona de transição – meio do reservatório (0,31 a 0,53 mg P/g P.S.).

A variabilidade temporal de todos os nutrientes foi considerada significativa estatisticamente.

5.5.2. Comunidade fitoplanctônica

No reservatório Duas Bocas houve predomínio qualitativo de algas das Classes *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae* e *Zygnemaphyceae* foram as mais representativas, em termos de riqueza de táxons, em todos os pontos amostrados. De acordo com a distribuição horizontal e vertical (ponto de captação) do fitoplâncton, todos os pontos amostrados apresentaram

uma flora ficológica bastante semelhante. Quantitativamente, a contribuição maior foi de *Cyanophyceae*, seguida de *Zygnemaphyceae* e *Chlorophyceae*.

As *Chlorophyceae* estão amplamente distribuídas em águas de diferentes concentrações químicas (Wetzel, 1981); porém, suas espécies são muito registradas em ecossistemas com elevado grau de trofia devido a habilidade competitiva para assimilar nutrientes e viver em ecossistemas lênticos e com pouca turbulência (Round, 1983).

As *Cyanophyceae* são algas muito bem adaptadas a ambientes com baixa turbulência, pH de neutro a alcalino, elevadas temperaturas e disponibilidade de nutrientes, embora muitas de suas espécies sejam capazes de fixar o nitrogênio atmosférico e transformá-los nas formas assimiláveis (amônia e nitrato) e todas têm capacidade de armazenar fósforo sob a forma de polifosfatos (Reynolds, 1984; Van Den Hoek, et al., 1995). Muitas espécies apresentam aerótopos, ou vesículas gasosas para migrar e regular sua suspensão na coluna d'água. Uma das adaptações fisiológicas que mais lhes proporciona sucesso em camadas mais inferiores da coluna d'água é a presença de ficocianina, pigmento acessório que capta comprimentos de onda de luz onde a clorofila já não mais consegue captar, proporcionando o crescimento destas algas próximo ao sedimento de diferentes reservatórios e lagos mais profundos. Além disto, muitas desenvolvem a heterotrofia (utilização de compostos orgânicos dissolvidos). Todas estas características constituem-se em vantagens competitivas sobre outros organismos fotossintéticos (PaerL, 1998, apud Delazari-Barroso, 2000).

As cianobactérias foram registradas em elevadas densidades em todo o reservatório, desde a zona fluvial (próximo à desembocadura dos córregos), na zona de transição (ponto 3) e na zona lacustre (ponto de captação). Como os dados limnológicos mostraram certa uniformidade no gradiente horizontal, essas algas podem estar encontrando condições propícias ao seu desenvolvimento em todo o sistema.

Entre as cianofíceas, seis foram consideradas espécies abundantes (*Pseudoanabaena moniliformis*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Synechococcus nidulans*, *Synechococcus sp*, *Synechocystis sp* e *Limnothrix redeikei*), sendo as duas primeiras em todos os pontos de amostragem e as demais, especialmente registradas no ponto de captação. Ressalta-se o fato de que a espécie *Synechococcus nidulans* foi dominante nas profundidades de Secchi e Fundo do ponto 1 (captação) nos meses de outubro e dezembro/2003, ocorrendo em *bloom*. *Synechococcus* é um gênero extremamente comum em ecossistemas tropicais, tendo sido registrado em inúmeras lagoas costeiras e reservatórios. Pode ser dominante no plâncton de ambientes aquáticos eutróficos a oligotróficos, como parte significativa da biomassa no hipolímnio, onde pode crescer sob baixa intensidade luminosa. Delazari-Barroso (2000) discute que, em diversos trabalhos, foi demonstrado que a concentração dos nutrientes limitantes para uma espécie de *Synechococcus* (*S. linearis*) aumenta com a diminuição da intensidade luminosa; tal fato poderia explicar a ocorrência de *Synechococcus spp* em camadas mais inferiores da coluna d'água como aquelas registradas nesta pesquisa no ponto 1. Mais um agravante é o fato de que muitas espécies de *Synechococcus* têm sido registradas como tóxicas.

Cylindrospermopsis raciborskii tem sido registrada na maioria dos corpos d'água brasileiros, independente do grau de trofia destes, principalmente na última década. Apresenta

extremo potencial tóxico, podendo produzir tanto hepatotoxinas quanto neurotoxinas de natureza química bastante diversa, o que representa um sério problema à Saúde Pública. Também tem capacidade de formar densos *blooms*, os quais podem ser registrados nas primeiras horas da manhã na superfície da coluna d'água e, nas horas mais quentes do dia, devido a sua capacidade de migração, serem registrados em camadas inferiores da coluna d'água.

A abundância de cianobactérias em águas de abastecimento tem sido alvo de muitos estudos e de muita preocupação por parte dos pesquisadores e órgãos públicos devido ao potencial de produção de toxinas (Chorus & Bartram, 1999). Já em 2000, Delazari-Barroso apresentou uma lista com inúmeros gêneros e espécies potencialmente produtores de toxinas no reservatório Duas Bocas, sendo *Cylindrospermopsis raciborskii* constante em ambos os períodos estudados (seca e chuvoso) e abundante no período de chuvas, quando já destacava a importância de um monitoramento ambiental neste sistema para prevenção da eutrofização.

Em ambientes com águas ácidas (pH menor que 7,0) é comum ocorrer predominância quantitativa e qualitativa de algas da Família *Desmidiaceae* - Classe *Zygnemaphyceae* (Esteves, 1998; Reynolds, 1984). Isso se aplicou ao Reservatório Duas Bocas, cujos pontos próximos à desembocadura dos córregos apresentaram maiores predominâncias de desmídias, em relação aos pontos situados na região mais lântica do Reservatório, uma vez que os córregos são caracterizados por apresentarem elevada quantidade de matéria orgânica e pH levemente ácido. Essas algas são tolerantes a ambientes turbulentos e crescem preferencialmente em ambientes oligotróficos; entretanto, alguns gêneros como *Staurastrum*, *Closterium* e *Cosmarium* têm sido registrados em ambientes com diferentes graus de trofia e co-dominando com espécies de cianobactérias; em todos os pontos estudados nesta pesquisa foram registradas várias espécies dos gêneros *Staurastrum* e *Cosmarium*.

Outra explicação provável para o fato das desmídias terem sido predominantes quantitativamente na maior parte do período estudado nos pontos próximos aos córregos, pode ter sido devido à maior contribuição da comunidade que cresce aderida aos substratos, como macrófitas aquáticas, as quais se apresentam em densos bancos na região litorânea destes córregos. Segundo Brook (1981 apud Delazari-Barroso 2000), desmídias podem ser carregadas de ambientes colonizados por macrófitas aquáticas ou do próprio sedimento para o plâncton verdadeiro. Provavelmente, também, a predominância de desmídias pequenas de crescimento rápido no reservatório possa estar relacionado ao tempo de retenção da água e à quantidade grande de CO₂ disponível na água.

Ao utilizarmos os coeficientes Simples e Múltiplo de Nygaard (1949 apud Delazari-Barroso, 2000), os quais se baseiam na riqueza de táxons de Classes, Ordens e/ou Famílias de algas, todos os pontos apresentaram-se como mesotróficos a eutróficos, com exceção apenas do ponto 4, o qual apresentou características oligotróficas e mesotróficas. O caráter mesotrófico a eutrófico pode ser explicado pela riqueza de *Cyanobacteria* e *Chlorococcales* (algas características de ambientes ricos em matéria orgânica - eutróficos) ter sido superior à riqueza de táxons de desmídias (algas características de ambientes oligotróficos).

A variação temporal da densidade total fitoplanctônica foi considerada pouco significativa estatisticamente provavelmente devido ao fato de terem ocorrido somente dois picos de fitoplâncton durante o período estudado no ponto 1. Já a variabilidade temporal da densidade de cianobactérias foi considerada significativa estatisticamente.

Tomando por base os dados obtidos por meio destes índices e considerando os valores obtidos para as variáveis limnológicas, provavelmente o Reservatório Duas Bocas corresponde a um ecossistema aquático que tem sofrido um processo de “envelhecimento natural”, podendo ser considerado mesotrófico, tendendo a se tornar um corpo d’água eutrófico. Para afirmar acerca do grau de trofia deste reservatório seriam necessários estudos de longa duração, inclusive com série histórica e dados pormenorizados da bacia de drenagem e ampliação dos estudos atuais.

5.5.3. ETA piloto – remoção de algas

O processo de flotação por ar dissolvido tem sido utilizado apenas recentemente nas estações de tratamento de água, no que tange à remoção de algas. No entanto, reservatórios, principais mananciais de abastecimento, são ambientes extremamente sujeitos aos processos de florações destes organismos em função da eutrofização. Tais florações sempre foram preocupantes, sob o ponto de vista de tratamento de água por promover mudanças na cor, odor e sabor da água. Porém, passou a representar sério problema para a saúde pública após a comprovação da toxicidade de cianobactérias com graves efeitos em seres humanos a curto e longo prazo (cianotoxinas).

O método testado nesta pesquisa, a flotação por ar dissolvido, consiste em um mecanismo reverso ao que ocorre nas estações de tratamento de água comuns, sendo o tradicional processo de decantação substituído pelos processos de flutuação, o que permite a retirada do lodo diariamente ou mesmo em diversos momentos do dia.

A técnica de flotação vem apresentando diversas vantagens no tratamento da água. Um exemplo é a disposição do lodo, o qual, por permanecer na superfície permite mais facilmente sua retirada de forma mecanizada ou mesmo hidráulica. Na forma hidráulica, utiliza-se a própria água floculada para a retirada do lodo. Ainda que exista perda de água, apresenta valores bem mais reduzidos do que no caso da decantação. Caso se utilize um raspador de superfície, o volume de água desperdiçado é ínfimo. No entanto, este equipamento ainda está sendo testado no mercado e precisa ser aperfeiçoado.

Qualquer que seja o processo utilizado mostra-se adequado proceder à aplicação do produto coagulante, do modo mais uniforme possível em toda a massa líquida, com o menor tempo possível e com grande agitação. Cada tipo de substância coagulante requer, para atuar com a máxima eficiência, uma faixa de pH adequada.

Levando em consideração que, entre os diversos produtos químicos capazes de se comportarem como coagulantes/floculantes, o sulfato de alumínio vem sendo o mais utilizado nas estações de tratamento de água brasileiras, procedeu-se à análise de sua eficiência no processo de flotação por ar dissolvido.

Nas coletas realizadas nos dias 6 e 13 de julho de 2004, utilizou-se o peróxido de hidrogênio como agente oxidante. Deve-se considerar a pré-oxidação essencialmente como uma etapa que potencializa a remoção de células e outras partículas, mas que não degrada toxinas (Campinas et. al, 2004).

O agente coagulante utilizado na coleta do dia 6/7/2004 foi o sulfato de alumínio, substância de fácil transporte, manejo e com baixo custo. Não se sabe acerca do papel oxidante do sulfato de alumínio na remoção de cianotoxinas da água, mas notou-se que sua utilização reduziu consideravelmente a densidade de algas de 57.830 ind/mL da água bruta para 10.057 ind./mL, sendo que este último valor corresponde exclusivamente à presença de táxons da Classe *Cyanophyceae*, sendo notada uma redução de aproximadamente 81,5% na densidade algal total após os processos de flotação e filtração, e valor semelhante foi obtido na redução do número total de células de cianobactérias.

O coagulante avaliado na coleta do dia 13/7/2004 foi o PAC (Policloreto de Alumínio), polímero que, apesar de um maior peso molecular, apresenta conformação estrutural que lhe confere maior eficiência na remoção de cor e na formação de coágulos, apresentando-os mais leves e gelatinosos. Os resultados obtidos nesta coleta revelaram essa como a melhor metodologia empregada e testada na ETA-piloto, pois ocorreu uma redução de aproximadamente 89% da densidade algal total da água bruta (53.065 ind/mL), sendo que o número de algas remanescentes (5.976 ind/mL), correspondeu ao táxon *Synechococcus nidulans*, pertencente à Classe *Cyanophyceae*, mostrando ser difícil a remoção desta espécie, que é unicelular e de pequeno tamanho, não estando sujeita aos processos de aglutinação e nem retidas na filtração.

A terceira coleta, realizada no dia 20/7/2004, teve como agente pré-oxidante utilizado o cloro, substância biocida tradicionalmente conhecida por provocar a lise celular. Com isso, sua ação pode culminar com a liberação de toxinas na água. Utilizou-se mais uma vez o sulfato de alumínio como coagulante e efetuou-se, ainda, a dosagem de carvão ativado, composto químico com elevada capacidade de adsorção de matéria orgânica e citado na literatura por muitos autores como apresentando considerável eficiência na remoção de determinadas toxinas. No emprego dessa metodologia, houve uma redução equivalente a 83% na densidade algal total, tendo sido observada uma densidade inicial de 86.691 ind/mL e final de 14.901 céls./mL, representada pelos táxons *Spirulina* sp., *Pseudanabaena moniliformis*, *Merismopedia punctata* e *Synechococcus nidulans*, todos pertencentes à Classe *Cyanophyceae*.

Cabe ressaltar que novas pesquisas devem avaliar pormenorizadamente a eficiência de remoção das cianobactérias e, principalmente das cianotoxinas, através da utilização de carvão ativado em pó. A adsorção de carvão ativado é considerada como efetiva na remoção de cianotoxinas (Falconer et al. 1999, Drikas et al. 2001). Os diferentes autores concordam que para atingir eficiências de remoção elevadas são necessárias doses de carvão ativado em pó superiores a 20mg/L e tempos de contato de cerca de 30 minutos. O desempenho do carvão ativado em pó parece estar dependente do tipo de carvão (material de origem e tipo de ativação), tendo sido sugerido que o volume dos mesosporos é muito importante (Donati et al, 1994). O carbono orgânico dissolvido da água é muito importante porque

a matéria orgânica compete pelo carvão ativado juntamente com as toxinas (Falconer et al.1989).

A remoção das cianotoxinas, quando presentes, acontece de forma incompleta e pode gerar produtos cuja toxicidade é desconhecida e cujos efeitos devem ser investigados em estudos posteriores (Campinas et. al, 2004). Outro aspecto muito importante a ser considerado e futuramente avaliado é a concentração de algas, inclusive cianobactérias, nas lamas ou lodo de flotação, que remete à importância e necessidade de viabilizar fins racionais e pouco impactantes a este sobrenadante após o processo de tratamento de água.

Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam para a necessidade de ações de manejo e estudos mais intensificados no sentido de compreender melhor os fatores que desencadeiam a proliferação de cianobactérias e os problemas que tal fato traz à Saúde Pública. Uma vez que diversas cianobactérias potencialmente tóxicas foram registradas nesse ambiente, o monitoramento deste corpo d'água deve ser freqüente, seguindo-se os padrões de potabilidade da água. Também devem ser incluídos os testes de toxicidade para se avaliar se as espécies são realmente produtoras de toxinas e continuar os testes na ETA piloto para avaliar a remoção de cianobactérias por outras substâncias químicas aliadas a flotação e o destino adequado do lodo gerado neste processo.

Por isso, a realização de pesquisas desta natureza reveste-se de fundamental importância para diagnosticar as espécies presentes e, posteriormente, monitorar estes ambientes aquáticos, com vistas ao manejo dos mesmos e controle destas algas em projetos multidisciplinares e mais abrangentes.

6. Conclusões

- O reservatório Duas Bocas apresentou características oligotróficas a mesotróficas com base nas variáveis limnológicas analisadas, com baixa condutividade elétrica e turbidez, elevada transparência, pH variando em torno de neutro, alcalinidade mais elevada no fundo do ponto 1 e na desembocadura dos córregos e baixas concentrações de nutrientes, com exceção do P-total que em alguns meses de coleta apresentou concentrações mais elevadas. Os valores de material em suspensão, turbidez e transparência variaram de acordo com o regime de chuvas na região e com a densidade fitoplanctônica na coluna d'água.
- Foram consideradas estatisticamente significativas as variações temporais de transparência da água, turbidez, pH, alcalinidade total, sólidos totais em suspensão, P-total, N-total, nitrato, P-orto.
- Não houve acentuada variação espacial no reservatório com relação às variáveis limnológicas;
- Na maioria dos meses de coleta, os pontos 2, 3 e 4 apresentaram estratificação térmica e perfis de oxigênio dissolvido do tipo clinogrado, com redução acentuada das concentrações de O.D. (hipoxia e até anoxia) a partir do 3,0 m de profundi-

dade. O ponto 4, por ser mais raso, apresentou menores amplitudes de variação de temperatura a partir do 0,4m e perfil ortogrado na maioria das coletas.

- Durante todo o período estudado e considerando-se todos os pontos de amostragem, foi registrada elevada biodiversidade na comunidade fitoplanctônica, com 82 táxons, sendo as Classes *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae* e *Zygnemaphyceae* aquelas que mais contribuíram para a riqueza de táxons (34%, 24% e 21%, respectivamente). Todos os pontos de amostragem apresentaram ficolórula bastante semelhante.
- O maior número de táxons foi registrado no ponto 4 e no ponto 1 – profundidade de Secchi (68 táxons).
- Considerando-se todos os pontos de amostragem (distribuição espacial – horizontal) foram registradas elevadas densidades do fitoplâncton. De maneira geral foi pequena a variabilidade temporal da densidade total do fitoplâncton nos pontos 2, 3 e 4. No ponto 1, houve acentuada variação temporal e vertical, com picos de densidade nos meses de outubro e dezembro/2003 nas profundidades Secchi e fundo, devido ao domínio da cianobactéria unicelular *Synechococcus nidulans*. A anoxia e hipoxia registradas nos pontos 1, 2 e 3 devem favorecer a liberação de nutrientes acumulados no sedimento e propiciar o desenvolvimento de elevadas densidades do fitoplâncton nas camadas mais profundas da coluna d'água como registrado no ponto 1.
- Na análise quantitativa foi predominante a Classe *Cyanophyceae* em todos os pontos amostrais, profundidades e meses de coleta, seguida de *Zygnemaphyceae* e *Chlorophyceae*. As cianobactérias foram registradas em elevadas densidades em todo o reservatório, desde a zona fluvial até a zona lacustre
- Foram consideradas estatisticamente significativas as variações temporais da densidade de cianobactérias; pouco significativa foi a variabilidade temporal da densidade total fitoplanctônica, provavelmente devido ao fato de terem ocorridos picos isolados de fitoplâncton no ponto 1.
- Durante toda a pesquisa, foi registrada como dominante a espécie de cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii*, em diferentes meses de coleta em todos os pontos de amostragem. Como abundantes, foram registradas as espécies *Pseudoanabana moniliformis*, *Synechococcus nidulans*, *Synechococcus sp*, *Synechocystis sp* e *Limnothrix redeikei*. Todas estas espécies são citadas em literatura como potencialmente tóxicas. Foi considerada constante a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*.
- A densidade total de cianobactérias, expressa por células/mL, foi elevada, com maior valor obtido em dezembro/2003 no ponto 1 – Secchi (251.338 células/mL), explicado pela dominância de *Synechococcus nidulans* (187.958 ind/mL). Tal fato torna-se preocupante no sentido de proposta de mudança da profundidade de tomada de água no reservatório, a qual nos últimos anos se dá na subsuperfície. Destaca-se que nos demais pontos de amostragem, os maiores valores de células/mL foram registrados no mês de agosto/2003, em torno de 160.000 células/mL.

- Os índices usados para classificação do estado trófico do reservatório, baseados na composição do fitoplâncton, evidenciaram características mesotróficas a eutróficas, principalmente pela elevada riqueza de táxons de *Chlorococcales* e de *Cyanobacteria*, nos pontos 1, 2 e 3. Apenas no ponto 4, as características foram de oligotrófico a mesotrófico.
- Os três testes realizados na ETA piloto com diferentes oxidantes e coagulantes químicos + flotação por ar dissolvido + filtração mostraram que a combinação de pré-oxidação com cloro + coagulação com sulfato de alumínio + dosagem de carvão ativado + flotação + filtração lenta se mostrou mais eficiente na remoção de células e indivíduos de cianobactérias (remoção de 81%). No entanto, sugere-se que mais testes sejam realizados, inclusive avaliando a remoção de cianotoxinas para embasar a tomada de decisões em caso de toxicidade comprovada.
- Levando-se em consideração a densidade total de algas, os resultados mostram que a pré-oxidação com peróxido de hidrogênio + coagulação com Policloreto de Alumínio + flotação por ar dissolvido + filtração lenta consistiu na metodologia com o maior índice de remoção (aproximadamente 89%).
- É também de suma importância que futuros trabalhos dediquem-se ao estudo e à viabilização de fins adequados ao sobrenadante resultante do processo (lama ou lodo de flotação), a fim de que este não venha causar prejuízos ou danos ao meio ambiente e à saúde da população.

7. Recomendações para utilização dos resultados pela Funasa e indicativos de custos

É de fundamental importância o monitoramento dos corpos d'água utilizados como mananciais em diferentes cidades brasileiras, uma vez que, com dados históricos e periodicidade no mínimo mensal, é possível prever florações fitoplanctônicas, compreender os fatores que podem estar promovendo a elevação na densidade destes organismos e possibilita a tomada de decisões para o manejo adequado do ecossistema.

Nos últimos anos, em diversas cidades do Brasil tem-se implantado o sistema de flotação por ar dissolvido como um método para melhorar a qualidade da água a ser tratada e, principalmente, com a promulgação da Portaria nº 1.469/2000, hoje revista e instituída como a Portaria nº 518/2004, para remover algas fitoplanctônicas, especialmente cianobactérias, frequentes em mananciais de abastecimento com muitas linhagens tóxicas.

Este método foi escolhido para ser testado nesta pesquisa devido ao fato de já estar sendo implantado em muitas ETAs no estado do Espírito Santo e por ter se mostrado bastante eficiente na melhoria da qualidade da água de diferentes mananciais.

Aliado ao processo de flotação, associou-se duas substâncias químicas (sulfato de alumínio, já largamente utilizada como agente coagulante em ETAs) e PAC – policloreto de

alumínio associado ao peróxido de hidrogênio como agente oxidante. Os testes realizados com tais substâncias químicas nesta pesquisa mostraram elevada eficiência (até 89%) de remoção de algas fitoplanctônicas, incluindo as cianobactérias, podendo ser aplicadas em outras ETAs. As cianobactérias que não foram removidas são, em geral, de menor tamanho, passando facilmente pelos filtros, o que evidencia a necessidade de pesquisas futuras com outros testes.

A Flotação é a forma mais barata de ampliar uma estação de tratamento de água, uma vez que possibilita trabalhar com a metade do tempo da floculação (100% de ampliação). Se a ETA a ser ampliada já possuir decantador, é possível transformá-lo em flotor tendo como resultado quatro vezes mais eficiência, o que permite aumento da carreira dos filtros, sendo o valor gasto na ampliação cinco vezes menor. Com a flotação é possível remover o lodo contendo algas a qualquer tempo da operação ou até continuamente, se for mecanizado.

Em reservatórios que sofrem diminuição de seu volume em grandes proporções (variação do nível d'água) é aconselhável a utilização da etapa de flotação na ETA a ele associado porque estes são ecossistemas sujeitos a constantes florações de microalgas.

Um exemplo de estimativa de custo da implantação da flotação foi obtido por integrantes desta pesquisa na Estação de Tratamento de Água do município de Rio Novo do Sul (ES) gerenciada pela Companhia Espírito Santense de Saneamento. Em análise foi observado que com a ampliação de uma estação convencional de 20L/s para flotação com capacidade para 40L/s o custo aproximado foi de R\$50.000,00. Caso não fosse utilizada a flotação, mas sim, um sistema convencional (decantação) esta ampliação teria um custo aproximado de R\$180.000,00.



8. Referências bibliográficas

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standars methods:** for examination of water and wastewaters. 16. ed. Baltimore: APHA, 1995.

AZEVEDO, S. M. F. O. Toxinas de cianobactérias: causas e conseqüências para a saúde pública. **Medicine on line**, v. 1, n. 3, 1998.

BARBOSA, F. A. R. Programa brasileiro para a conservação e manejo de águas interiores: síntese das discussões. **Acta Limnologica Brasiliensia**, n. 5, p. 211-222, 1994.

BARTRAM, J.; BURCH, M.; FALCONER, I. R.; JONES, G.; KUIPER-GOODMAN, T. Situation assessment, planning and management. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water:** a guide to their public health consequences, monitoring and management. New York: Ed. London and New York E & FN Spon, 1999. p. 179-209.

BICUDO, D. C. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 3, p. 459-475, 1990.

BOURRELLY, P. **Les Algues d'eau douce:** initiation à la systématique. Tome I: Les algues vertes. Paris: Ed. N. Boubée, 1966.

BOURRELLY, P. **Les Algues d'eau douce:** initiation à la systématique. Tome II: Les algues jaunes et brunes. Paris: Ed. N. Boubée, 1968.

BOURRELLY, P. **Les Algues d'eau douce:** initiation à la systématique. Tome III: Les algues blues et rouges. Paris: Ed. N. Boubée, 1970.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à Engenharia Sanitária.** São Paulo: CETESB-ASCETESB, 1986.

CAMPINAS, M.; TEIXEIRA, M. R.; LUCAS, H.; ROSA, M. J. Previsão da capacidade de remoção de cianobactérias e cianotoxinas na ETA de Alcantarilha. Acta do 10º Encontro Nacional de Saneamento Básico. Universidade do Minho, 2002. p. 1-14.

CARMICHAEL, W. W. The toxins of cyanobacteria. **Scientific American**, v. 270, n. 1, p. 78-96, 1992.

CENTURIONE FILHO, P. L.; Di BERNARDO, L. Procedimento para execução de ensaios de flotação/filtração em equipamento de bancada. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2003.

CETRANGOLO, C. **Variação temporal e espacial da comunidade ficoperifítica em um reservatório de abastecimento doméstico no estado do Espírito Santo** (Reservatório Duas Bocas, Cariacica). 2004. 77f. Monografia (Bacharelado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Eds.). **Toxic cyanobacteria in water:** a guide to their public health consequences, monitoring and management. New York: Ed. London and New York E & FN Spon, 1999..

COLE, G. **Textbook of Limnology.** Sainte Louis: The C. V. Mosby, 1994.

DEBERDT, G. L. B. Cianobactérias: eutrofização, usos da água e saúde pública. **Sepronews**, n. 2, 2003.

DELAZARI, A.; BARROSO, G. F. Variáveis físico-químicas do reservatório da Reserva Biológica de Duas Bocas: estudo preliminar. **Cadernos de Pesquisa da UFES**, n. 8, p. 81-92, 1998.

DELAZARI-BARROSO, A. **Comunidade fitoplanctônica do reservatório Duas Bocas (Reserva Biológica de Duas Bocas) – ES: variação vertical e temporal em duas épocas distintas**. 2000. 201f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

DELAZARI-BARROSO, A.; SANT' ANNA, C. L.; SENA, P. A. **Phytoplankton from Duas Bocas Reservoir, Espírito Santo, Brazil (except diatoms)**. Hoehnea. In press.

DIAS-JUNIOR, C. Caracterização do fitoplâncton e possibilidade de seu uso como indicador das condições ambientais da Lagoa Jacunem (Serra - ES). **Cadernos de Pesquisa da UFES**, n. 4, p. 27-35, 1995.

DIAS-JUNIOR, C. **Estudo do fitoplâncton em um reservatório de águas ácidas na região litorânea do Espírito Santo (Reservatório Águas Claras, Aracruz, ES)**. 1998. 150f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998.

DIAS-JUNIOR, C.; BARROSO, G. F. Limnological studies of coastal lagoons in the south of Espírito Santo State (Brazil). **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, n. 26, p. 1433-1437, 1998.

DONATI, C.; DRIKAS, M.; HAYES, K. R.; NEWCOMBE, G. Microcystin-LR adsorption by powdered activated carbon. **Water Research**, v. 28, n. 8, p. 1735-1742, 1994.

DRIKAS, M.; CHOW, W. K.; HOUSE, J.; BURCH, M. D. Using coagulation, flocculation and settling to remove toxic cyanobactéria. **Journal of American Water Works Association**, n. 2, p. 100-111, 2001.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FALCONER, I. R.; RUNNEGAR, M. T.; BUCKLEY, T.; HUYN, V. L.; BRADSHAW, P. Using activated carbon to remove toxicity from drinking water containing cyanobacterial blooms. **Journal of American Water Works Association**, n. 2, p. 102-105, 1989.

FLOTAÇÃO. Disponível em: <http://www.tratamentodeagua.com.br/sispal/flotação>. Acesso em: 10 janeiro 2005.

GORHAM, P. R.; MILACHLAV, J. R.; HAMMER, V. T.; KIM, W. K. Isolation and culture of toxic strains of *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) de Bréb. **Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.**, n. 15, p. 796-804, 1964.

HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. São Paulo: Fapesp/FundBio, 1999.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; ESTEVES, F. A. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, n. 3, p. 585-598, 1990.

HUSZAR, V. L. M.; WERNECK, A. M.; ESTEVES, F. A. Dinâmica nictemeral (48h) da comunidade fitoplanctônica em relação aos principais fatores abióticos na lagoa Juparanã, Linhares, Espírito Santo, Brasil: fevereiro de 1987. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 54, p. 111-134, 1994.

JARDIM, F. A.; VIANA, T. H. Análise de algas – Cianobactérias e cianotoxinas como parâmetros de controle do tratamento da água para abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville, SC. **Anais...** Joinville, 2003.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Chroococcales. In: Ettl, A.; Gerloff, J.; Heynig, H.; Mollenhauer, D. (Eds.). **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. Bd. 19. Stuttgart: G. Fischer Verlag, 1999.

LISTON, G. S. **Variação temporal e espacial da comunidade fitoplanctônica em uma lagoa costeira utilizada para o abastecimento doméstico no estado do Espírito Santo (Lagoa Maimbá, Guarapari)**. [S.l.: s.n.], 2004.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estruturas comunitarias de las fitoconosis planctonicas de las sistemas de desembocaduras y esteros de rios de la zona central de Chile. **Rev. Biol. Mar.**, v. 22, n. 1, p. 1–29, 1986.

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

LUCAS, P. S. **Influência de uma Estação de Tratamento de Esgotos sobre um subsistema estuarino (Canal da Passagem, Vitória, ES): comunidade fitoplanctônica e nutrientes**. 2002. 120f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2002.

MARCHIORO, E. **Avaliação de sólidos transportados, parâmetros de morfometria e solos de seções fluviais do córrego Naiaçú, na Reserva Biológica de Duas Bocas - ES**. 1996. Monografia (Bacharelado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1996.

MARTINS, F. C. O. **Estrutura da comunidade perifítica (em substrato natural) e fitoplanctônica na Lagoa da UFES (Vitória – ES) e utilização destas como bioindicadoras da qualidade da água**. 2002. 65f. Monografia (Bacharelado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

MORELATO, S. L. **Variação da concentração de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio total no sedimento em função da zonação longitudinal da represa de Duas Bocas (Cariacica, ES)**. 2003. 49f. Monografia (Bacharelado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

NOGUEIRA, I. S. **Chlorococcales sensu lato (Chlorophyceae) do Município do Rio de Janeiro e arredores, Brasil: inventário e considerações taxonômicas**. 1991. 355f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

PERRONE, A. **Estudos preliminares sobre a carga de sólidos transportados, parâmetros morfométricos e pluviométricos da bacia do Córrego Pau Amarelo - Reserva Biológica de Duas Bocas - ES**. 1996. Monografia (Bacharelado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1996.

- REYNOLDS, C. S. **The ecology of freshwater phytoplankton.** (Cambridge studies in ecology). Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- RICHTER, C. A. **Clarificação de água por flotação a ar dissolvido.** Natal: ABES, 2001.
- Round, F. E. **Biologia das algas.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.
- SÁ, F. S. **Levantamento preliminar da comunidade do macrozoobentos do reservatório da Reserva Biológica de Duas Bocas (Cariacica, ES).** 1997. 46p. Relatório (Iniciação Científica) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1997.
- SANT'ANNA, C. L. Cyanophyceae/Cyanobacteria diversity in Brazil. In: BICUDO, C. E. M.; MENEZES, N. A. **Biodiversity in Brazil: a first approach.** São Paulo: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1999. p. 1-4.
- SENNA, P. A. C.; DELAZARI, A.; SANT'ANNA, C. L. A new planktic cyanoprokaryotic species, *Cyanodictyon tropicalis* (Cyanophyceae) from Espírito Santo State (Southeastern), Brazil. **Arquiv für Hydrobiologie/Algological Studies**, v. 94, p. 293-303, 1999.
- SENNA, P. A. C.; MAGRIN, A. G. E. A importância da "boa" identificação dos organismos fitoplanctônicos para os estudos ecológicos. In: POMPÊO, M. L. M. (Ed.). **Perspectivas da limnologia no Brasil.** São Luís: União, 1999. p. 131-146.
- SIVONEN, K. E.; JONES, G. Cyanobacterial toxins. In: CHORUS, I. E.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.** New York: Ed. London and New York E & FN Spon, 1999. p. 41-91.
- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas.** Diretrizes para o gerenciamento de lagos. São Carlos: ILEC/IIE, 2000.
- TUNDISI, J. G. A importância do controle limnológico para o abastecimento de água. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE EUTROFIZAÇÃO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 1991, Brasília. **Anais...** Brasília: Caesb, 1991. p. 73-81.
- TUNDISI, J. G. Distribuição espacial, sequência temporal e ciclos sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, n. 4, p. 937-955, 1990.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Theoretical basis for reservoirs management. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Eds.). **Theoretical reservoir ecology and its applications.** Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology, Backhuys Publishers, 1999. p. 505-528.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton - methodik. **Mitt. Int. Verein. Theor. Angeu. Limnol.**, v. 9, p. 1-38, 1958.
- VAN DEN HOEK, C.; MANN, D. G.; JAHNS, H. M. **Algae: an introduction to phycology.** Cambridge University Press, 1995.
- WEBER, C. I. Plankton. In: National Environmental Research Center Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati (Ed.). **Biological field and laboratory methods for measuring the quality surface water and effluents.** USA, 1973. p. 1-17.

Wetzel, R. G. **Limnologia**. Barcelona: Ediciones Omega, 1981.

YUNES, J. S. Ecotoxicologia em lagoas costeiras – florações de cianobactérias tóxicas na Laguna dos Patos. In: ESTEVES, F. E.; LACERDA, L. D. (Eds.). **Ecologia de restingas e lagoas costeiras**. Macaé: NUPEM/UFRJ, 2000. p. 231-260.





Apêndice



Fitoplâncton na desembocadura dos córregos Naiçu e Pau Amarelo: um inóculo de cianobactérias para o reservatório Duas Bocas (Cariacica – ES)

Bruna d'Ângela de Souza¹, Gilberto Fonseca Barroso¹, Alessandra Delazari-Barroso¹ & Valéria de Oliveira Fernandes¹

¹ Lab. de Taxonomia e Ecologia de Algas Continentais. Universidade Federal do Espírito Santo, Depto. de Ciências Biológicas/Botânica, Av. Marechal Campos, nº 1468, Maruípe – Vitória (ES) e-mail: brunadangela@bol.com.br

Palavras-chaves: reservatório – fitoplâncton – variáveis limnológicas - cianobactérias

Introdução

Reservatórios, ambientes lênticos criados artificialmente, têm apresentado nas últimas décadas, aumento da densidade de algas fitoplanctônicas, especialmente cianobactérias, podendo trazer inúmeras conseqüências negativas sob o ponto de vista ecológico e sanitário.

O Reservatório Duas Bocas, que localiza-se na Reserva Biológica Duas Bocas possui área de 50 ha e destina-se ao abastecimento do Município de Cariacica (ES). Os principais tributários são os córregos Pau Amarelo e Naiçu, além do córrego Pannels. Apesar de se localizar em uma área preservada, tem apresentado crescente elevação na densidade de cianobactérias nos últimos anos.

Objetivos

Analisar quali e quantitativamente a comunidade fitoplanctônica e sua relação com as principais variáveis limnológicas na desembocadura dos córregos Naiçu e Pau Amarelo e verificar se estes córregos representariam um “inóculo” de cianobactérias no reservatório.

Material & métodos

Foram realizadas 10 coletas mensais, em dois pontos de amostragem (desembocadura dos córregos Naiáçu e Pau Amarelo). Para análise qualitativa usou-se rede de malha de 20mm. Parte das amostras foi mantida viva e parte fixada com formalina 4%. Utilizou-se garrafa de van Dorn (análise quantitativa), para coletar amostras na subsuperfície da água, as quais foram fixadas com solução de lugol acético. Foram determinadas: transparência, temperatura (água/ar), pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e turbidez. O método de contagem foi o de Utermöhl (1958) através de campos sistematizados. Os Coeficientes Simples e Múltiplo foram utilizados para caracterizar o grau de trofia dos córregos (Nygaard, 1949 apud Delazari-Barroso, 2000).

Resultados/principais respostas

Ambos os córregos apresentaram elevada transparência e baixos valores de condutividade elétrica (média: 38.6 μ S/cm) e turbidez (média: 3.10 UNT). O pH oscilou entre 6,22 e 7,97 e o oxigênio dissolvido manteve uma média de 8,14 mg/L. No córrego Naiáçu foi registrado um total de 73 táxons, sendo 27 *Chlorophyceae*, 14 *Zygnemaphyceae*, 15 *Cyanophyceae*, 9 *Bacillariophyceae*, 3 *Dynophyceae*, 2 *Euglenophyceae*, 2 *Crysophyceae* e 1 *Cryptophyceae*. A densidade total de organismos variou de 9.814 a 34.419 indivíduos/mL. As espécies abundantes nas amostras foram: *Staurodesmus* cf *quiriferus*, *Staurostrum tetracerum*, *Pseudoanabaena* sp3, *Cosmarium* sp1, *Cyanophyceae* 2 e *Cyanophyceae* 3. Já no córrego Pau Amarelo foi registrado um total de 66 táxons, sendo 20 *Chlorophyceae*, 18 *Zygnemaphyceae*, 17 *Cyanophyceae*, 5 *Bacillariophyceae*, 3 *Dynophyceae*, 2 *Euglenophyceae* e 1 *Cryptophyceae*. A densidade total de organismos variou de 10.667 a 41.193 indivíduos/mL, sendo que as espécies abundantes foram *Limnothrix redekei*, *Staurodesmus* cf *quiriferus*, *Pseudoanabaena* sp1, *Chlamydomonas* sp e *Cyanophyceae* 2. De acordo com os coeficientes de Nygaard, os córregos foram classificados como eutróficos.

Conclusão

Tanto no córrego Naiáçu, quanto no Pau Amarelo houve predomínio da Classe *Chlorophyceae*. Entretanto, em todas as coletas, algas da Classe *Cyanophyceae* foram abundantes em ambos os córregos, sugerindo que estes podem ser inóculos de cianobactérias para o Reservatório Duas Bocas.

Variação temporal das algas perifíticas em um reservatório de abastecimento doméstico no Espírito Santo (Reservatório Duas Bocas).

Geovane Sartori¹ & Valéria O. Fernandes¹

¹ Lab. de Taxonomia e Ecologia de Algas Continentais. Universidade Federal do Espírito Santo, Depto. de Ciências Biológicas/Botânica, Av. Marechal Campos, nº 1468, Maruípe – Vitória (ES) e-mail: geovannealgaes@hotmail.com

Palavras-chave: perifíton, reservatório, variação temporal, substrato artificial.

Introdução

As algas compõem cerca de 90% do perifíton e são excelentes bioindicadores da qualidade da água e de seu estado trófico; isto se deve, em grande parte, por estes organismos serem em sua maioria sésseis e, assim, mostrarem muito melhor as mudanças que ocorrem no ambiente em determinado período de tempo. Além disto, representam importantes produtores primários destes ecossistemas. Variações nas condições ambientais podem influenciar a estrutura desta comunidade. O ecossistema estudado é um reservatório localizado em uma reserva biológica (Reserva Biológica de Duas Bocas), no Município de Cariacica (ES). Apresenta uma área de 50 ha, tem como tributários os córregos Pannels, Naiacu e Pau Amarelo e é utilizado para o abastecimento doméstico. Trata-se de um estudo pioneiro no reservatório, o qual vem apresentando elevadas concentrações de cianobactérias no fitoplâncton por meio de diferentes pesquisas já realizadas. Sendo este utilizado para abastecimento público.

Objetivos

Avaliar qualitativamente e quantitativamente o perifíton que se desenvolve em substrato artificial, durante 10 meses e caracterizar o ponto de amostragem pela determinação das principais variáveis limnológicas,

Material & métodos

Foram realizadas 10 coletas mensais, de setembro/2002 a maio/2003 em 1 ponto de amostragem, próximo à barragem do reservatório e da torre de captação. Foram utilizadas lâminas de vidro como substrato artificial presas a um suporte na subsuperfície da coluna d'água. Em cada coleta foram retiradas seis lâminas, as quais foram acondicionadas de dois em dois em frascos de vidro contendo água do local. Para a análise qualitativa do perifíton parte das amostras foi mantida viva e parte foi fixada com solução de formol 4%. Os táxons foram esquematizados, medidos e identificados por bibliografia especializada. Para análise quantitativa, outras amostras foram fixadas com solução de lugol acético. O método de contagem foi o de Utermöhl (1958), sendo os táxons contados em campos sistematizados. Foram determinadas: temperatura (água e ar), O.D. salinidade, condutividade elétrica, pH, transparência da água, turbidez, velocidade do vento e profundidade máxima.

Resultados/principais respostas/conclusão

Foi registrado um total de 60 táxons, sendo sete da Classe *Cyanophyceae*, 2 da Classe *Dinophyceae*, 11 da Classe *Bacillariophyceae*, 23 da Classe *Chlorophyceae*, 1 da Classe *Euglenophyceae*, 1 da classe *Xanthophyceae* e 15 da Classe *Zygnemaphyceae*. A densidade total de organismos variou de x a y ind/cm², sendo que foram abundantes as Classes a, b, c e d, durante o período estudado.

Nas fases iniciais de colonização predominaram táxons da Classe *Chlorophyceae*, os quais foram substituídos pela Classe *bacillariophyceae* e *Cyanophyceae*, com espécies citadas em literatura como produtora de toxinas. De maneira geral, o ambiente se caracterizou como doce, com águas neutras a levemente ácidas, baixa condutividade elétrica e turbidez e elevada concentração de O.D.

Apesar das cianobactérias terem se tornado freqüentes e se apresentado em elevadas densidades, as variáveis limnológicas não mostraram sinais de eutrofização no ambiente. Tais resultados, aliados aos de outras pesquisas já realizadas no reservatório, evidenciam a necessidade de estudos mais aprofundados, principalmente de ciclagem de nutrientes, para compreender os fatores que estimulam o desenvolvimento destas algas.

Algas perifíticas em um reservatório de abastecimento no Estado do Espírito Santo (Reservatório Duas Bocas): Resultados preliminares.

Cetrangolo, C.¹; fernandes, V. O.¹

¹ Laboratório de Taxonomia e Ecologia de algas Continentais. UFES. Depto. de Ciências Biológicas/ Botânica, Vitória/ES, Av. Marechal Campos, 1468 – Maruípe – Vitória (ES). CEP 29.060-900. (crisbio@terra.com.br)

Palavras-chave: algas perifíticas, substrato natural, reservatório.

Introdução

Estudos sobre a comunidade perifítica têm sido crescentes nas últimas décadas principalmente por serem importantes nas cadeias alimentares aquáticas e serem excelentes indicadores da qualidade da água e do seu estado trófico. Diversas pesquisas têm mostrado que o processo de colonização do substrato é influenciado pelas condições ambientais, competição e herbivoria e que esta comunidade pode sofrer flutuações sazonais e anuais causadas pela eutrofização, oferta de nutrientes, variações na disponibilidade de luz e tipo de substrato (ROOS, 1983),

O presente estudo iniciou-se em fevereiro/2003 no Reservatório Duas Bocas (Município de Cariacica, ES), o qual apresenta área de 50ha, é utilizado para abastecimento e vem apresentando aumento na densidade de algas fitoplanctônicas, especialmente cianobactérias potencialmente tóxicas. Trata-se de um estudo pioneiro com relação à comunidade perifítica em substrato natural neste ambiente.

Objetivos

Analisar a variação temporal da comunidade perifítica em substrato natural (*Hedychium coronarium*), com base em sua estrutura e dinâmica, além de relacioná-la às principais variáveis limnológicas no reservatório.

Material & métodos

Foram selecionados dois pontos de amostragem: ponto 1 – próximo à barragem e à torre de captação da água para posterior tratamento e ponto 2 – na desembocadura do córrego Pau Amarelo, no outro extremo (longitudinalmente) do reservatório. Folhas submersas de *Hedychium coronarium* foram coletadas manualmente; parte das amostras foi mantida viva e parte foi fixada com formol a 4% (análise qualitativa); outra parte foi fixada com solução de lugol acético (análise quantitativa). O perífiton foi separado do substrato por raspagem. Foram avaliadas as seguintes variáveis limnológicas: temperatura (ar e água), salinidade, condutividade elétrica, pH, transparência, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez. Os táxons foram analisados, medidos e esquematizados com o microscópio óptico e identificados com bibliografia especializada. A análise quantitativa foi realizada de acordo com Utermöhl (1958) e a contagem foi feita em campos sistematizados. Foram calculadas as espécies dominantes e abundantes (Lobo & Leigton, 1986).

Resultados/principais respostas

De maneira geral, ambos os pontos no reservatório apresentaram pH levemente básico, água doce, baixa condutividade elétrica (média de 45 μ S/cm) e elevadas concentrações de O D. A turbidez foi mais elevada no ponto 2 (córrego Pau Amarelo) devido à maior quantidade de matéria orgânica em decomposição.

A densidade total variou de 128.509 a 180.952 ind./cm₃ no ponto 1 e de 98.331 a 195.429 ind./cm₃ no ponto 2, sendo atribuída principalmente a espécies de *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae* e *Bacillariophyceae*.

Conclusão

Embora aos resultados obtidos com as variáveis limnológicas não demonstrem claros sinais de eutrofização, a comunidade perifítica vêm mostrando elevada densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas e clorófitas em ambos os pontos de amostragem, o que evidencia grande preocupação por este ecossistema ser utilizado para o abastecimento e pela observação de densa colonização nos tanques da Estação de Tratamento da Água.

Capa e projeto gráfico do miolo

Gláucia Elisabeth de Oliveira – Nemir/Codec/Ascom/Presi/**Funasa**/MS

Diagramação

Maria Célia de Souza– Nemir/Codec/Ascom/Presi/**Funasa**/MS

Revisão ortográfica e gramatical

Olinda Myrtes Bayma Sousa Melo - Nemir/Codec/Ascom/Presi/**Funasa**



