

ADRIANA BARBOSA SALES DE MAGALHÃES

**OCORRÊNCIA DE CIANOBACTÉRIAS EM MANANCIAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO  
MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Botânica, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M188o  
2007

Magalhães, Adriana Barbosa Sales de, 1971-

Ocorrência de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água para consumo humano no município de Viçosa-MG / Adriana Barbosa Sales de Magalhães. – Viçosa, MG, 2007.

xvi, 127f. : il. col. ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Rosane Maria de Aguiar Euclides.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Cianobactéria. 2. Água - Qualidade - Viçosa (MG).  
3. Água - Análise. 4. Controle de qualidade da água.  
5. Abastecimento de água - Viçosa (MG). 6. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Viçosa (MG). I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

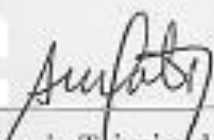
CDD 22. ed. 579.39

ADRIANA BARBOSA SALES DE MAGALHÃES

**OCORRÊNCIA DE CIANOBACTÉRIAS EM MANANCIAIS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO  
MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG**

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das exigências  
do Programa de Pós-Graduação em Botânica,  
para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 5 de março de 2007



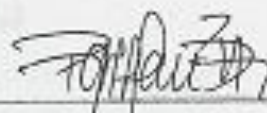
Prof. Antonio Teixeira de Matos  
(Co-Orientador)



Prof. Walter Yoshizo Okano



Prof. Valéria de Oliveira Fernandes



Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos



Prof. Rosane M. Aguiar Euclides  
(Orientadora)

*“Se pudesse deixar algum presente a você,  
deixaria aceso o sentimento  
de amar a vida dos seres humanos.  
A consciência de aprender  
tudo o que foi ensinado pelo tempo a fora...  
Lembraria os erros que foram cometidos  
para que não mais se repetissem.  
A capacidade de escolher novos rumos.  
Deixaria para você, se pudesse,  
o respeito àquilo que é indispensável:  
Além do pão, o trabalho.  
Além do trabalho, a ação.  
E, quando tudo mais faltasse, um segredo:  
O de buscar no interior de si mesmo  
a resposta e a força para encontrar a saída.”*

*(Mahatma Gandhi)*

Ao meu marido Marcos e minha filha Mariana, por compartilharem comigo momentos bons e difíceis, fornecendo-me suporte emocional para alcançar este objetivo.

Aos meus irmãos, e aos meus pais José Guimarães e Maria Vitória pelo incentivo dispensado durante os anos de estudos e pelo amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, razão maior da nossa existência, que nos deu vida como dom, fez-nos livres e dotados de capacidade para entender, pensar, descobrir, criar e até mesmo questionar tudo a nossa volta.

A professora Rosane Aguiar, pela orientação, incentivo e entusiasmo contagiante. Pelas sugestões, críticas, amizade sincera e confiança demonstrada ao longo da condução deste trabalho, minha profunda gratidão e admiração.

Ao Professor Antonio Teixeira de Matos, pelas contribuições e por fazer-me entender melhor o meio físico.

Aos Professores Walter Yoshizo Okano, Rafael Kopschitz Xavier Bastos e Valéria de Oliveira Fernandes, que participaram da banca de avaliação, pelas críticas e sugestões apresentadas.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Programa de Pós-graduação em Botânica pela oportunidade de realizar esse estudo e aprimorar minha formação. Aos professores e funcionários que contribuíram de maneira direta ou indireta, pelo convívio, ensinamentos e incentivo para a execução do presente trabalho.

Ao técnico da Unidade de Crescimento de Plantas (UCP/DBV) Rogério Gomide, pela disponibilidade em ajudar, amizade e, sobretudo pelo exemplo de profissional.

Aos amigos da UCP pela convivência fraterna, amizade e colaboração nos momentos que precisei. Elisa, Eliane, Débora, Maione, Cláudio (baiano), Dudu, Kacilda, Alan, Rogerinho, Carol e Rosiane pelos momentos de descontração, risadas e brincadeiras.

Aos estagiários Tetsu e Lara pela dedicação e auxílio no trabalho de campo e laboratório.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) na pessoa do técnico Fábio pelo auxílio no início das coletas.

Aos amigos que conquistei ao longo do curso, especialmente Gracineide e José Martins, pessoas iluminadas que Deus colocou em meu caminho. Por compartilharem comigo momentos agradáveis, e pelo incentivo nos momentos difíceis.

Ao colega de Pós-graduação Walnir pelo auxílio nas análises estatísticas, pela paciência e atenção dispensada.

A amiga Anelise, pelas sugestões, críticas e amizade. Mesmo distante esteve presente na torcida.

A amiga Vera Werner, pessoa que tenho profundo respeito e admiração. Pelo auxílio na identificação dos táxons encontrados, por disponibilizar sua bibliografia, pelas correções, críticas e sugestões. Pelos dias maravilhosos que tive o privilégio de compartilhar juntamente com sua mãe, um exemplo de vida. Pela presteza e disponibilidade em ajudar.

Aos colegas do colégio Anglo pela amizade, respeito e pelo incentivo. Aninha, Sandra, Sônia, Dorotéia, Cláudia, Ernesto e demais colegas, vocês também são responsáveis por essa conquista.

Ao desenhista Reinaldo pelas ilustrações, amizade e paciência.

Ao meu cunhado Murilo, por todas as contribuições que me fizeram chegar até aqui. Minha gratidão e respeito. Ao casal Evando e Terezinha que estiveram sempre na torcida. Evandro por ser meu fã número um e Terezinha pelas orações.

Às demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu agradecimento.

Aos meus pais e meus irmãos (Regis, Polinho, Polis e Fá) que mesmo distantes sempre torceram e acreditaram em mim. Todo meu amor, carinho e reconhecimento.

Ao meu marido Marcos e minha filha Mariana, por fazerem a minha vida mais feliz. Marcos por estar sempre presente, incentivando, criticando e contribuindo para o meu crescimento. Pela ajuda constante nas coletas, transporte, correções e sugestões. Pelo cuidado com Mariana nos momentos que estive ausente, principalmente pelo exemplo de ser humano, companheirismo, amor e respeito. Meu agradecimento especial por tudo que representa em minha vida.

## **BIOGRAFIA**

ADRIANA BARBOSA SALES DE MAGALHÃES, filha de José Guimarães Sales e Maria Vitória Barbosa Sales, nasceu a 29 de novembro de 1971, em Ilhéus, Estado da Bahia.

Fez o curso de Licenciatura em Biologia na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus – Bahia, concluindo-o em dezembro de 1995.

Em março de 2005 iniciou o Programa de Mestrado em Botânica, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, concluindo os requisitos para a obtenção do título de “*Magister Scientiae*” em março de 2007.

## SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xxiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
CAPITULO I: OCORRÊNCIA DE CIANOBACTÉRIAS EM MANANCIAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG .....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 Qualidade da água .....	4
3.2 Características gerais das cianobactérias .....	7
3.3 Florações de cianobactérias e produção de cianotoxinas .....	9
3.4 Evidências de intoxicação por cianotoxina .....	13
3.5 Legislação relacionada à cianobactérias .....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 Área de estudo .....	18
4.2 Descrição dos pontos de coleta de água .....	21
4.3 Coleta e preservação das amostras .....	23
4.4 Isolamento e obtenção de culturas unialgais .....	24
4.5 Manutenção de culturas em laboratório.....	25
4.6 Variáveis analisadas .....	26
4.6.1 Variável meteorológica .....	26
4.6.2 Variáveis limnológicas .....	26
4.6.2.1 Condutividade elétrica .....	27
4.6.2.2 pH .....	27
4.6.2.3 Temperatura da água .....	27
4.6.2.4 Oxigênio dissolvido.....	27
4.6.2.5 Alcalinidade Total .....	27
4.6.2.6 Fósforo Total .....	28
4.6.2.7 Nitrogênio Total Kjeldahl.....	28
4.6.2.8 Nitrato.....	28
4.6.2.9 Amônio .....	28
4.6.3 Avaliação da qualidade da água (Resolução CONAMA 357/05).....	28
4.6.4 Variáveis Biológicas.....	28
4.6.4.1 Análise qualitativa das populações de cianobactérias .....	28
4.6.4.2 Análise quantitativa das populações de cianobactérias .....	29
4.6.4.3 Índices biológicos .....	29
4.6.4.4 Espécies dominantes e abundantes .....	30
4.6.4.5 Detecção de Microcistina .....	30

4.7 Ilustrações dos táxons isolados.....	32
4.8 Análise Estatística.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5.1 Variável meteorológica.....	34
5.2 Variáveis limnológicas .....	35
5.2.1 pH .....	36
5.2.2 Oxigênio dissolvido.....	37
5.2.3 Temperatura da água .....	39
5.2.4 Condutividade elétrica (CE).....	40
5.2.5 Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	42
5.2.6 Amônio ( $\text{NH}_4^+$ ).....	43
5.2.7 Nitrogênio total ( $\text{N}_{\text{total}}$ ) .....	44
5.2.8 Fósforo total.....	46
5.2.9 Alcalinidade.....	49
5.3 Avaliação da qualidade da água (Resolução CONAMA 357/05).....	50
5.4 Variáveis biológicas .....	51
5.4.1 Análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica.....	51
5.4.1.1 Ilustrações dos táxons isolados.....	55
5.4.2 Análise quantitativa ( $\text{cel mL}^{-1}$ ).....	60
5.4.3 Índices biológicos.....	62
5.4.3.1 Índice de diversidade específica ( $H'$ ) .....	62
5.4.3.2 Índice de equitabilidade (E).....	65
5.4.4 Espécies dominantes e abundantes.....	65
5.4 Detecção de microcistina.....	68
5.7 Análise Estatística.....	69
5.7.1 Análise Canônica de Correspondência (CCA).....	69
5.7.3 Análise de agrupamento .....	70
6. CONCLUSÕES.....	74
7. RECOMENDAÇÕES.....	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
8. ANEXOS.....	92
ANEXO 1: Tabelas referentes aos parâmetros estudados nos mananciais de captação de água (período: setembro/05 a agosto /06) .....	93
ANEXO 2: Tabelas referentes as variações relativas ao número de células de cianobactérias nos mananciais de captação de água (período: setembro/05 a agosto /06) .....	98
ANEXO 3: Tabelas referentes a riqueza ( $n^\circ$ de táxon amostra <sup>-1</sup> ), diversidade média (bits) e equitabilidade dos pontos amostrados (período: setembro/05 a agosto/06) .....	102

CAPITULO II: Manual de Identificação e Caracterização de Cianobactérias Isoladas nos Mananciais de Abastecimento Público: Caso do Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo, Viçosa, MG .....		105
1	INTRODUÇÃO.....	105
2.	MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS .....	107
2.1	Coleta para análise qualitativa .....	107
2.2	Coleta para análise quantitativa .....	107
2.3	Transporte e preservação da amostra.....	108
2.4	Identificação .....	108
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	110
3.1	Sinopse das cianobactérias mais comuns nos mananciais de Viçosa (Ribeirão São Bartolomeu e Rio Turvo Sujo) .....	111
3.2	Chave para identificação dessas cianobactérias .....	113
3.3	Descrição de gêneros e espécies mais comuns .....	115
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	124

## LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

Símbolo	Definição	Unidade
CE	Condutividade elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente	-
CV	Coefficiente de variação de Pearson	%
E	Índice de equitabilidade	
ETA	Estação de Tratamento de Água	-
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde	-
H'	Índice de diversidade	bits ind <sup>-1</sup>
N <sub>total</sub>	Nitrogênio Total	mg L <sup>-1</sup>
OD	Oxigênio Dissolvido	mg L <sup>-1</sup>
P <sub>total</sub>	Fósforo Total	mg L <sup>-1</sup>
P1	Ponto amostral 1 - Lagoa do Campus da UFV, em frente ao Supermercado Escola – margem direita	-
P2	Ponto amostral 2 - Lagoa do Campus da UFV, em frente ao Supermercado Escola - margem esquerda, captação de água do SAAE - Viçosa	-
P3	Ponto amostral 3 - Ribeirão São Bartolomeu, entrada do condomínio Acamari	-
P4	Ponto amostral 4 - Rio Turvo Sujo – Violeira, captação de água do SAAE - Viçosa	-
R	Índice de riqueza	nº táxons amostra <sup>-1</sup>
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto	-

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Mapa das Bacias do Rio Turvo Sujo e do Ribeirão São Bartolomeu ....	19
Figura 2 Vista parcial da represa em frente ao Supermercado Escola, Campus da UFV, onde estão localizados P1 (margem direita) e P2 (margem esquerda) .....	22
Figura 3 Vista do Ribeirão São Bartolomeu, próximo de desaguar na primeira represa do Campus da UFV (P3). Local onde foram feitas as coletas (seta) .....	22
Figura 4 Local onde foi coletada água (setas), no Rio Turvo Sujo (P4) .....	23
Figura 5 (a) Rede de fitoplâncton; (b, c) arrastos horizontais .....	23
Figura 6 Coleta de água subsuperficial .....	24
Figura 7 Isolamento em meio sólido .....	25
Figura 8 Vista parcial da sala de crescimento de cianobactérias e microalgas do Laboratório de Ficologia – DBV/UFV .....	26
Figura 9 Cultura unialgal submetida ao rompimento celular .....	31
Figura 10 Vista geral dos tubos utilizados no Teste ELISA .....	31
Figura 11 Precipitação pluviométrica (mm mês <sup>-1</sup> ) ocorrida no município de Viçosa entre os meses de setembro/2005 a agosto/2006 .....	34
Figura 12 Variação temporal do pH nos pontos amostrados .....	36
Figura 13 Variação temporal do OD nos pontos amostrados .....	37
Figura 14 Variação da temperatura (°C) da água nos amostrados .....	39
Figura 15 Variação da condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nos pontos amostrados ...	41
Figura 16 Variação temporal da concentração de $\text{NO}_3^-$ nos pontos amostrados ....	42
Figura 17 Variação temporal da concentração de amônio nos pontos amostrados	44
Figura 18 Variação temporal da concentração de $\text{N}_{\text{total}}$ nos pontos amostrados .....	45
Figura 19 Variação temporal da concentração de $\text{P}_{\text{total}}$ nos pontos amostrados .....	46
Figura 20 Variação temporal da alcalinidade nos pontos amostrados .....	49
Figura 21 Diversidade morfológica de cianobactérias isoladas nos pontos amostrados .....	56
Figura 22 Diversidade morfológica de cianobactérias isoladas nos pontos amostrados .....	57
Figura 23 Ilustrações dos táxon isolados nos pontos amostrados.....	58
Figura 24 Ilustrações dos táxon isolados nos pontos amostrados.....	59
Figura 25 Densidade celular das cianobactérias nos pontos amostrados .....	60

Figura 26	Vista do P1 e P2, mostrando a superfície da água coberta de <i>Salvinia auriculata</i> .....	61
Figura 27	Intervenção do SAAE, no Rio Turvo Sujo, Viçosa .....	62
Figura 28	Aspecto visual do assoreamento do leito do Rio Turvo Sujo (entorno do P4) .....	62
Figura 29	Variação da diversidade (bits ind <sup>-1</sup> ), riqueza (Nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ) e equitabilidade encontrada em P1 .....	63
Figura 30	Variação da diversidade (bits ind <sup>-1</sup> ), riqueza (Nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ) e equitabilidade encontrada em P2 .....	63
Figura 31	Variação da diversidade (bits ind <sup>-1</sup> ), riqueza (Nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ) e equitabilidade encontrada em P3 .....	64
Figura 32	Variação da diversidade (bits ind <sup>-1</sup> ), riqueza (Nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ) e equitabilidade encontrada em P4 .....	64
Figura 33	(a) Tubo 3, a cor azul indica ausência de microcistina, e (b) tubo 3 coloração transparente indica presença de microcistina (+) .....	69
Figura 34	Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P1 .....	71
Figura 35	Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P2 .....	71
Figura 36	Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P3 .....	72
Figura 37	Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P4 .....	73

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1	Ocorrência de cianobactérias em P1 ..... 52
Tabela 2	Ocorrência de cianobactérias em P2 ..... 53
Tabela 3	Ocorrência de cianobactérias em P3 ..... 54
Tabela 4	Ocorrência de cianobactérias em P4 ..... 54
Tabela 5	Distribuição das espécies/gêneros de cianobactérias abundantes e dominantes, no período de setembro/05 a agosto/06 ..... 66
Tabela 6	Concentração de microcistina em culturas unialgais ..... 68
Tabela 7	Resultado do Teste de Monte Carlo correspondente ao período de setembro/05 a agosto/06 ..... 69

### ANEXO 1

Tabela 1A	Parâmetros estudados em P1 ..... 94
Tabela 2A	Parâmetros estudados em P2 ..... 95
Tabela 3A	Parâmetros estudados em P3 ..... 96
Tabela 4A	Parâmetros estudados em P4 ..... 97

### ANEXO 2

Tabela 5A	Variação do número de células mL <sup>-1</sup> , em P1 ..... 99
Tabela 6A	Variação do número de células mL <sup>-1</sup> , em P2 ..... 100
Tabela 7A	Variação do número de células mL <sup>-1</sup> , em P3 ..... 101
Tabela 8A	Variação do número de células mL <sup>-1</sup> , em P4 ..... 101

### ANEXO 3

Tabela 9A	Riqueza (nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ), diversidade média (bits) e equitabilidade do P1, no período: setembro/05 a agosto/06 ..... 103
Tabela 10A	Riqueza (nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ), diversidade média (bits) e equitabilidade do P2, no período: setembro/05 a agosto/06 ..... 103
Tabela 11A	Riqueza (nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ), diversidade média (bits) e equitabilidade do P3, no período: setembro/05 a agosto/06 ..... 104
Tabela 12A	Riqueza (nº de táxon amostra <sup>-1</sup> ), diversidade média (bits) e equitabilidade do P4, no período: setembro/05 a agosto/06 ..... 104

## RESUMO

MAGALHÃES, Adriana Barbosa Sales de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2007. **Ocorrência de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água para consumo humano no município de Viçosa – MG.** Orientadora: Rosane M. Aguiar Euclides, Co-Orientadores: Antonio Teixeira de Matos e Ann Honor Mounteer.

Considerando o aumento das florações tóxicas e o alto custo na remoção das toxinas pelos sistemas convencionais de tratamento de água, o monitoramento de cianobactérias nos mananciais de abastecimento público é fundamental para que possam ser avaliados os riscos de possível presença de cepa produtora de toxina. O presente trabalho teve como objetivos avaliar a ocorrência de cianobactérias em mananciais de abastecimento público do município de Viçosa; isolar, identificar e manter um banco de culturas com as espécies de cianobactérias encontradas nesses mananciais; correlacionar a densidade de células com os fatores ambientais; reconhecer os padrões temporais da comunidade de cianobactérias em função das estações do ano e detectar a produção de microcistina nas espécies potencialmente tóxicas por meio do Teste ELISA (Enzime-Linked Immuno Sorbent Assay). As amostras de água foram coletadas no Ribeirão São Bartolomeu e no Rio Turvo Sujo, principais redes de drenagem de águas fluviais no município, mananciais onde são feitas as captações de água para abastecimento público da cidade de Viçosa. Foram analisadas as seguintes variáveis físicas e químicas da água: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio total, fósforo total, nitrato, amônio e alcalinidade. Durante o período de setembro/05 a agosto/06, foram realizadas coletas mensais, em quatro pontos selecionados (P1, P2, P3 e P4). Para a análise qualitativa foi utilizada rede de fitoplâncton com abertura de malha de 20 µm, com a qual foram realizados arrastos horizontais na superfície da coluna d'água. Para a análise quantitativa, foram realizadas coletas

subsuperficiais através da passagem de frasco que permitiu coletar água bruta numa faixa de 20 cm de profundidade. As espécies isoladas foram mantidas em sala de crescimento, sob condições fotoautotróficas. Durante o período de estudo foram identificados 18 táxons, totalizando quatro ordens: Chroococcales (11,1%); Oscillatoriales (38,9%); Nostocales (44,4%) e Stigonematales (5,6%). Nostocales e Oscillatoriales foram as ordens mais representadas, com oito e sete táxons, respectivamente, seguida da ordem Chroococcales (2) e Stigonematales (1). Na ordem Nostocales, foram identificados três gêneros, representados pelos táxons: *Anabaena ambigua*, *A. inaequalis*, *Calothrix braunii*, *Nostoc* cf. *carneum*, *N. commune*, *N. microscopicum*, *N. cf. muscorum* e *Nostoc* sp. Para a ordem Oscillatoriales, foram identificados cinco gêneros representados pelos táxons: *Geitlerinema splendidum*, *Limnothrix* sp., *Oscillatoria subbrevis*, *Phormidium granulatum*, *P. cf. retzii*, *Pseudanabaena galeata* e *P. catenata*. A ordem Chroococcales, foi representada por dois gêneros com uma espécie em cada gênero *Synechococcus nidulans* e *Synechocystis* cf. *aquatilis*. Na ordem Stigonematales registrou-se apenas um gênero (*Stigonema*), com espécie não identificada. As densidades de células de cianobactérias encontradas nos quatro pontos amostrados ficaram abaixo do que determina a Portaria do Ministério da Saúde Nº 518, de 25 de março de 2004, que estabelece procedimentos para o monitoramento da qualidade da água para consumo humano. O resultado para microcistina foi positivo para a espécie *Nostoc* cf. *commune*, encontrada em P1, P2 e P3. O resultado da análise Canônica de Correspondência revelou por meio do teste de Monte Carlo, que estatisticamente, as variáveis analisadas não influenciaram na densidade de células de cianobactérias. Não foi observado um padrão regular na distribuição das cianobactérias nos pontos amostrados durante o período de estudo. Sugere-se que o monitoramento dos mananciais seja incluído na rotina das ETA's, como uma medida preventiva da ocorrência de cepas de cianobactérias potencialmente tóxicas. Como subsídio para os técnicos e profissionais responsáveis pela qualidade da água, foi elaborado um manual de identificação e caracterização das cianobactérias encontradas nos mananciais estudados. Isso certamente facilitará o reconhecimento das espécies presentes, possibilitando a tomada de medidas necessárias na operação do sistema de tratamento de água, caso ocorra um aumento na densidade de células de cianobactérias, principalmente espécies potencialmente tóxicas.

## ABSTRACT

MAGALHÃES, Adriana Barbosa Sales de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2007. **Occurrence of cyanobacteria in water sources for public supply system in the municipal district of Viçosa - MG.** Adviser: Rosane M. Aguiar Euclides, Co-Advisers: Antonio Teixeira de Matos and Ann Honor Mounter.

Considering the increase in toxic cyanobacterial blooms and the high cost of toxin removal using conventional systems of water treatment, monitoring cyanobacteria in the public supply springs is fundamental to evaluate the risks of a possible toxin-producing strain. The objectives of the present work were to identify and quantify cyanobacteria found in springs of water sources for the public supply system in the municipal district of Viçosa-MG; associate cyanobacterial cell density with limnological variables; identify seasonal patterns of cyanobacteria populations; isolate genera and species of cyanobacteria and store in culture bank and investigate the microcystin production in potentially toxic species using the ELISA Test (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay). Water samples were collected from the rivers São Bartolomeu and Turvo Sujo, both being sources for capturing water used for public supply in the city of Viçosa. The following physical, chemical and physicochemical water variables were analyzed: temperature, pH, dissolved oxygen, total nitrogen, total phosphorus, nitrate, ammonium and alkalinity. Monthly sample collections were carried out in four selected sites (P1, P2, P3 and P4) from September/05 to August/06. The samples for qualitative phytoplankton analysis were collected by horizontal towing a 20 µm plankton net through the surface of the water column. Subsurface crude water samples (20-cm depth) were collected with a flask for the quantitative analysis. The isolated species were kept in growth chamber under photoautotrophic conditions. During the period of study, 18 taxa were identified, totaling

four orders: Chroococales (11.1%); Oscillatoriales (38.9%); Nostocales (44.4%) and Stigonematales (5.6%). Nostocales and Oscillatoriales were the orders with the largest numbers of representatives, with eight and seven taxa respectively, followed by the orders Chroococales (2) and Stigonematales (1). Three genera were identified in the order Nostocales, which were represented by the taxa *Anabaena ambigua*, *A. inaequalis*, *Calothrix braunii*, *Nostoc cf. carneum*, *N. commune*, *N. microscopicum*, *N. cf. muscorum* and *Nostoc sp.* The order Oscillatoriales had five genera identified, which were represented by the taxa: *Geitlerinema splendidum*, *Limnothrix sp.*, *Oscillatoria subbrevis*, *Phormidium granulatum*, *P. cf. retzii*, *Pseudanabaena galeata* and *P. catenata*. The order Chroococales was represented by two genera with a single species in each genus; *Synechococcus nidulans* and *Synechocystis cf. aquatilis*. The order Stigonematales included only one genus (*Stigonema*), with non-identified species. The cyanobacterial cell densities found in the four sampled sites were below the determination of the Brazilian Ministry of Health's Directive 518 of 25 March 2004 on the monitoring the quality of water intended for human consumption. The species *Nostoc cf. commune* had positive result for microcystin in the sites P1, P2 and P3. The Canonical Correspondence Analysis through the Monte Carlo test showed that the analyzed variables had no significant influence on cyanobacterial cell densities. No regular pattern of cyanobacteria distribution was observed in the sampled sites during the period of study. Routine water source monitoring is recommended as part of ETA's operations, as a preventive measure for the occurrence of potentially toxic cyanobacterium strains. A manual for the identification of the cyanobacteria found in the studied water sources was developed to aid the work of the technicians in charge of the quality of water, which certainly will facilitate species recognition, making it possible the necessary measures in the public water treatment operation, in case an increase in cell density occurs, particularly of potentially toxic species.

# **CAPITULO I: OCORRÊNCIA DE CIANOBACTÉRIAS EM MANANCIAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG**

## **1. INTRODUÇÃO**

A contaminação dos recursos hídricos e dos mananciais de abastecimento público por efluentes oriundos das atividades antrópicas tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde pública, especialmente em regiões com condições inadequadas de saneamento e suprimento de água, o que pode ser observado tanto em regiões brasileiras de alta concentração urbana como em áreas rurais. Outra consequência dos impactos antrópicos nos ecossistemas aquáticos é a ocorrência de acelerados processos de eutrofização, causando um enriquecimento artificial dos ecossistemas devido ao aumento das concentrações de nutrientes na água, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados, que resultam no aumento da produção biológica nos rios, lagos e reservatórios. As principais fontes de enriquecimento são as descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e das regiões agricultáveis (FUNASA, 2003)

O aumento do nível de eutrofização produz mudanças na qualidade da água, podendo ocorrer a redução de oxigênio dissolvido (OD), morte extensiva de peixes, a perda das qualidades cênicas do ambiente e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias (ARRUDA, 1997). Essas florações se caracterizam pelo intenso crescimento dos microrganismos na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade (FUNASA, 2003) produzindo, freqüentemente, colorações visíveis nos corpos d'água naturais (MATTHIENSEN *et al.*, 1999).

As empresas gerenciadoras de água têm revelado interesse particular no conhecimento dos fatores que estimulam as florações de cianobactérias (TUCCI e SANT'ANNA, 2003). Isto porque, além do crescimento excessivo desses organismos impedirem a penetração de luz, as florações alteram o sabor, o odor e a turbidez da água, levando a um desequilíbrio ecológico no ambiente aquático (CARMICHAEL, 1996). Podem, também, acarretar graves consequências para a saúde humana e o ambiente, em virtude da capacidade de muitas espécies de cianobactérias produzirem toxinas, metabólitos secundários, que podem afetar a saúde humana pelo seu efeito neurotóxico ou hepatotóxico

(AGUJARO e ISAAC, 2002), tanto por meio da ingestão de água, quanto pelo contato durante atividades de recreação, ou ainda, pelo consumo de pescado contaminado. Entretanto, a principal via de intoxicação é a ingestão de água, sem tratamento prévio adequado para a remoção das toxinas (FUNASA, 2003).

As Estações de Tratamento de Água (ETA's), que captam águas superficiais, podem expor populações humanas a sérios riscos de saúde, uma vez que, o projeto e a operação das ETA's, não contemplam procedimentos de rotina para a remoção de toxinas produzidas por cianobactérias.

No Brasil, a Portaria 518, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2005), estabelece procedimentos para o monitoramento da qualidade da água para consumo humano, exigindo de todas as ETA's a contagem mensal de células de cianobactérias na água bruta, quando o número de células não exceder 10.000 células mL<sup>-1</sup>, e semanal, quando o número de células exceder este valor. Acima de 20.000 células mL<sup>-1</sup>, foi exigido o controle semanal de toxicidade na água de saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que esta contagem pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta. No entanto, a implementação plena dessa portaria ainda representa um desafio, pois requer o envolvimento não apenas dos responsáveis pelo abastecimento de água para consumo humano, mas também do setor de vigilância em saúde, responsável pela fiscalização desse instrumento legal, e dos gestores públicos em geral (BRASIL, 2005a).

Considerando o aumento das florações tóxicas e o alto custo na remoção das toxinas pelos sistemas convencionais de tratamento de água, o monitoramento de cianobactérias nos mananciais de abastecimento público é fundamental para que possam ser avaliados os riscos de uma possível ocorrência de florações tóxicas.

No município de Viçosa não há registros de estudos sobre a dinâmica e a ocorrência de cianobactérias nos mananciais utilizados para abastecimento público. Diante destes fatos, é de fundamental importância que pesquisas sejam implementadas para monitorar a ocorrência de cianobactérias em mananciais de abastecimento, relacionando-as com os fatores ambientais que estimulam o aparecimento das florações. Os resultados destas pesquisas poderão contribuir, efetivamente, no monitoramento e prevenção das condições que propicie o desenvolvimento excessivo de cianobactérias, sobretudo, aquelas potencialmente tóxicas, evitando os desequilíbrios ecológicos, os riscos à saúde pública, além subsidiarem medidas para a recuperação dos corpos d'água.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a ocorrência de cianobactérias em mananciais de abastecimento público do município de Viçosa-MG.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar e quantificar as cianobactérias encontradas nos mananciais de abastecimento de água para consumo humano do município de Viçosa-MG.
- Associar a densidade de células de cianobactérias com as variáveis limnológicas.
- Identificar padrões sazonais de populações de cianobactérias.
- Isolar, e manter, em um banco de cultura, gêneros e espécies de cianobactérias encontradas.
- Detectar a produção de microcistina nas espécies potencialmente tóxicas.
- Avaliar a qualidade da água dos mananciais com base na Resolução CONAMA n° 357/2005, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais.
- Elaborar um manual para estudo e caracterização de cianobactérias dos mananciais estudados.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Qualidade da água**

A qualidade da água pode ser entendida como uma consequência dos processos atuantes na bacia hidrográfica, sendo a ação antrópica reguladora do equilíbrio entre sistemas. Esta ação pode definir ainda as condições de vida e de desenvolvimento das comunidades aquáticas, dentre elas o fitoplâncton, bem como seus mecanismos básicos de funcionamento. Além da classificação das algas, se faz necessário o monitoramento das condições físicas e químicas do corpo hídrico para a identificação das condições favoráveis ao intenso crescimento desses microrganismos, que podem ocasionar riscos à saúde pública, assim como suas flutuações no espaço e no tempo (TUNDISI, 2003).

A lei 9433 de 08/01/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece em seus fundamentos que a água é um recurso natural limitado e deve ser gerenciado a fim de proporcionar seus usos múltiplos (BRASIL, 2002). Entretanto, em situação de escassez o uso prioritário deve ser para a dessedentação humana e animal. As diretrizes gerais de ação da Política Nacional de Recursos Hídricos contam com a gestão sistemática dos recursos hídricos sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade e, com a adequação dessa gestão às diversidades regionais do país, integrada com a gestão ambiental.

A água é um bem imprescindível à vida, mas ao mesmo tempo, pode se transformar em um importante meio de transmissão de doenças. O modelo de desenvolvimento social e econômico no Brasil, com característica desordenada e sem planejamento estimulou a incidência de poluição e degradação ambiental, em níveis preocupantes, com alterações no ambiente interferindo diretamente na saúde humana (NETTO; CARNEIRO, 2002). Um

fator importante que contribui para a poluição e contaminação dos cursos d'água e que, conseqüentemente confere risco de agravo à saúde humana pela água, diz respeito à ocupação dos espaços rurais e urbanos que é realizada sem um adequado planejamento visando com o equilíbrio entre o ambiente e a sua utilização (MARQUES, 2006).

O estudo das inter-relações dos fatores físicos, químicos e biológicos do ambiente pode contribuir na tomada de decisões relacionadas ao controle, prevenção e preservação da qualidade da água, bem como na adoção de medidas relacionadas ao gerenciamento e usos múltiplos do reservatório e da saúde pública (SANT'ANNA e AZEVEDO, 2000).

Os estudos quantitativos do fitoplâncton abordam os padrões de distribuição espacial e temporal e podem ser uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água. As flutuações temporais e espaciais do fitoplâncton em suas respectivas composições e biomassa são indicadores eficientes das alterações sejam elas naturais ou antrópicas nos ecossistemas aquáticos. Pesquisas feitas em épocas diferentes revelam que a composição dos organismos fitoplanctônicos pode variar de acordo com as mudanças nas condições ambientais, físicas e químicas no corpo hídrico (BARBOSA, 2005).

Entre os fatores controladores do fitoplâncton podem ser ressaltados a temperatura e o pH, que determinam o modo pelo qual o mesmo é capaz de utilizar os fatores limitantes. A temperatura da água influencia os processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na coluna d'água. A solubilidade dos gases decresce e a dos minerais cresce com o aumento da temperatura da água e, a maior parte dos organismos possui faixas de temperaturas ótimas para sua reprodução. A temperatura da água apresenta pequena variação, de forma lenta durante o dia, e sua mudança pode resultar em modificações em outras propriedades como a redução da viscosidade da água por sua elevação, podendo ocorrer o afundamento de muitos microorganismos aquáticos, principalmente do fitoplâncton (MOTA, 1997).

O OD é um dos parâmetros mais importantes para exame da qualidade da água, pois revela a possibilidade de manutenção de vida dos organismos aeróbios. Além do OD em águas naturais ter origem na reeração atmosférica, também pode ser derivado de atividade fotossintética de algas. É uma importante medida no controle da poluição das águas. (TUNDISI, 2003). É geralmente medido em miligramas por litro ( $\text{mg L}^{-1}$ ) da água analisada. O oxigênio é um gás pouco solúvel em água e a sua solubilidade depende da pressão (altitude), temperatura e sais dissolvidos, normalmente a concentração de saturação está em torno de  $8 \text{ mg L}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  entre 0 e 1.000 m de altitude (VALENTE *et al.*, 1997).

Os valores de OD inferiores ao valor de saturação podem indicar a presença de matéria orgânica e, valores superiores, a existência de crescimento anormal de algas, uma vez que, elas liberam oxigênio durante o processo de fotossíntese. A escassez de OD pode levar ao desaparecimento da biota de um determinado corpo d'água, podendo também ocasionar mau cheiro (CETESB, 2005).

O crescimento do fitoplâncton é influenciado por fatores limitantes (nitrogênio e fósforo) e controladores. Nutriente limitante é aquele, que sendo essencial para uma determinada população, limita seu crescimento. Em baixas concentrações do nutriente limitante, o crescimento populacional é baixo. Com a elevação da concentração do nutriente limitante, o crescimento populacional também aumenta (Von SPERLING, 1996).

O enriquecimento dos corpos d'água, principalmente por nitrogênio e fósforo causa o fenômeno da eutrofização, que é um dos problemas ambientais mais difundidos das águas continentais (CHORUS e BARTRAM, 1999). O processo de eutrofização interfere nas características físicas e químicas da água e, conseqüentemente, ocorrem profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas (FERREIRA *et al.*, 2005). Uma importante conseqüência desse enriquecimento é o aumento do crescimento de algas (TUNDISI, 2003) e cianobactérias.

A natureza dos problemas de qualidade de água nos lagos e reservatórios (águas lânticas) difere dos problemas equivalentes nos rios e estuários (águas lóxicas). A escala temporal e espacial dos fenômenos que ocorrem em ambientes lânticos e lóxicos é bastante distinta. Como conseqüência, os processos físicos, químicos e biológicos apresentam características, intensidades e importâncias também bastante diferenciadas. (NOGUEIRA, 1991). Os rios apresentam um fluxo unidirecional temporário ou permanente de água e de materiais orgânicos ou inorgânicos, suspensos ou dissolvidos, correspondente às águas lóxicas. Os lagos, lagoas ou represas, não apresentam movimentos unidirecionais significativos, correspondentes às águas lânticas. A interrupção no ritmo natural do curso d'água acarreta variações no regime fluvial, transformando zonas de correntezas em ambientes lânticos, alterando o ambiente aquático e provocando o assoreamento (ESTEVEZ e BARBOSA, 1986).

O tempo de residência hidráulica constitui, em geral, o principal fator regulador do desenvolvimento das comunidades fitoplanctônicas. Rios suficientemente longos e de fluxo relativamente lento são os que melhor possibilitam o crescimento de algas planctônicas. Os fatores que regulam o desenvolvimento do fitoplâncton em rios são os

mesmos fatores considerados para lagos, diferindo, porém, quanto às respostas a esses fatores ambientais, devido ao fluxo unidirecional a que estão submetidos.

Os lagos, por geralmente apresentarem tempos de retenção da água mais elevados que os rios, são particularmente vulneráveis à eutrofização, pois tendem a acumular sedimentos e substâncias químicas a eles associadas. Nestas massas de água, os sedimentos atuam como depósitos de nutrientes e fontes dos mesmos, pois em determinadas condições, voltam a liberá-los e a torná-los novamente assimiláveis pelos organismos fitoplanctônicos (CHORUS e BARTRAM, 1999).

Para avaliar a qualidade de água no Brasil a Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005b) estabelece os padrões de turbidez, OD, pH,  $P_{total}$ ,  $NO_3^-$ , N amoniacal total, demanda biológica de oxigênio (DBO), clorofila “a” e densidade de células de cianobactérias. A Resolução também determinou as características para classes de qualidade de água. A Classe 2 inclui as águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, à aqüicultura e à atividade de pesca.

### **3.2 Características gerais das cianobactérias**

Cyanophyta, cianobactérias, cianofíceas ou, popularmente “algas azuis” são microrganismos procarióticos, aeróbicos e fotoautotróficos que ocupam posição intermediária entre algas eucarióticas e bactérias, possuindo clorofila a, porém, sem sistema interno de membranas (ROCHA, 2003). De acordo com KOMÁREK e KOMÁRKOVA (2002), as cianobactérias podem ser definidas como um grupo de populações que pertencem a um mesmo genótipo, com características fenotípicas estáveis (definidas e reconhecidas) e que apresentam as mesmas demandas ecológicas. Seus processos vitais requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz.

Dotadas de grande plasticidade fenotípica e ecológica, com possibilidade de adaptação aos mais diversos ambientes e regiões da Terra, as cianofíceas são encontradas em praticamente todas as partes do mundo. Resistem a variações ambientais drásticas, ocorrendo desde os pólos aos trópicos e, desde o nível do mar até as mais altas montanhas. São organismos dominantes em águas termais, sendo capazes de viver em temperaturas de

até 73° C. Ocorrem, também, sobre a neve, em geleiras, areias do deserto, solo, cimento, madeiras e troncos de árvores. Estão presentes ainda, nas turfeiras ou nos lodos ricos em hidrogênio sulfuroso. Em corpos de água doce e em ambientes terrestres estão ausentes onde o potencial hidrogeniônico é inferior a 4 e sua frequência e abundância tende a aumentar com o aumento do pH (WERNER, 2002).

A ausência de núcleo verdadeiro e de plastos constituem os principais caracteres que as aproximam das bactérias e, conseqüentemente, as diferenciam dos demais grupos de algas eucarióticas. Assemelham-se às bactérias ainda, pela ausência de formas de reprodução sexuada, pela composição da parede celular (glicopeptídeos) e pela ausência de mitocôndrias, de sistema de Golgi e de retículo endoplasmático. Por outro lado, assemelham-se às algas eucarióticas pela presença de clorofila “a” e de pigmentos acessórios hidrossolúveis e lipossolúveis, organizados em tilacóides (WERNER, 2002).

As cianobactérias são cosmopolitas e eficientes no deslocamento na coluna d'água pois possuem aerótopos ou “vacúolos” gasosos que permitem a otimização da absorção da luminosidade. Esses “vacúolos” gasosos diminuem a densidade das células para um valor inferior ao da água. Assim, as células são impelidas para a superfície, não dependendo apenas da turbulência para se manterem na zona fótica (PAERL e TUCKER, 1995). São também eficientes na obtenção de gás carbônico e algumas espécies são fixadoras de nitrogênio, contribuindo para a fertilidade das águas (CHORUS e BARTRAM, 1999).

As cianobactérias são seres bastante primitivos e sua origem é datada de cerca de 3,5 bilhões de anos. Isso foi comprovado através de nanofosséis sedimentados em estromatólitos descobertos na Austrália (HOECK, *et al.*, 1999). Estudos paleontológicos do período pré-cambriano documentaram o papel dominante das cianobactérias nos primeiros ecossistemas terrestres, exibindo extremas mudanças evolutivas. Por isso, frequentemente são consideradas como os organismos responsáveis pelo acúmulo de oxigênio na atmosfera primitiva, através da realização da fotossíntese.

A importância das cianobactérias não se restringe ao fato de serem produtores primários e desempenharem papel decisivo na produtividade dos ambientes aquáticos. As espécies fixadoras de nitrogênio contribuem globalmente para a fertilidade dos solos e das águas. Além disso, o uso de cianobactérias na produção de alimentos e produtos farmacológicos tem apresentado potencial para uso no futuro (KREITLOW *et al.*, 1999).

O sucesso da adaptação das cianofíceas numa ampla variedade de habitats e, presumivelmente, também nos primeiros períodos geológicos é, sem dúvida, conseqüência

de características fisiológicas peculiares do grupo, tais como tolerância à alta irradiação solar (ultravioleta B e C), à dessecação, a altas concentrações de gás sulfídrico e a capacidade de utilizar baixas concentrações de luz e de CO<sub>2</sub> (WHITTON, 1992; WHITTON e POTTS, 2000).

De acordo com OLIVER e GANF (2000), são fatores que favorecem o desenvolvimento das cianobactérias: temperatura da água acima de 20° C; ambientes com pouca luminosidade; ambientes com baixas razões N<sub>total</sub>/P<sub>total</sub>; presença de aerótopos nas células que auxiliam a flutuação e o deslocamento na coluna d'água; baixa taxa de herbivoria pelo zooplâncton; baixa concentração de CO<sub>2</sub> e elevada capacidade de armazenar fósforo intracelular. Este conjunto de fatores propicia às cianobactérias grande vantagem competitiva, sobre os demais organismos fitoplanctônicos.

### **3.3 Florações de cianobactérias e produção de cianotoxinas**

Sob certas circunstâncias, especialmente em águas ricas em nutrientes (eutrofizadas), com concentrações elevadas de fósforo e nitrogênio, e alta radiação solar, as cianobactérias e outras microalgas eucarióticas se multiplicam rapidamente, formando os chamados “blooms” ou florações, na superfície da água (CHORUS e BARTRAM, 1999). O aumento da eutrofização, com conseqüente queda na qualidade da água, tem sido, segundo CARMICHAEL (1992), a causa mais comum da dominância de cianobactérias em recursos naturais de água doce e salgada. As atividades humanas, incluindo resíduos da agricultura e a erosão, a descarga de esgotos em rios e represas, aumentam a probabilidade de multiplicação das cianobactérias devido à presença de nutrientes.

Os efeitos da eutrofização têm preocupado os cientistas desde a década de 50, sendo reconhecido como um grave problema de poluição em vários lagos da Europa, América do Norte, África, Austrália e Brasil (CODD, 2000; SANT'ANNA e AZEVEDO, 2000). Em ambientes eutrofizados, as cianobactérias geralmente dominam a população fitoplanctônica durante o verão e início do outono, sendo substituídas por diatomáceas à medida que o inverno se aproxima e à medida que aumenta a turbulência da massa de água, com diminuição da intensidade luminosa (CHORUS e BARTRAM, 1999).

As florações se caracterizam por um crescimento excessivo de células, o que impede a penetração de luz, podendo alterar o gosto, o odor e a turbidez da água. Conseqüentemente, mudanças na qualidade da água incluindo a redução do OD, perda das

qualidades cênicas e morte extensiva de peixes, têm sido freqüentemente observadas e relatadas (SANT'ANNA e AZEVEDO 2000). Este cenário, cada vez mais freqüente, tem causado sérios problemas nas estações de tratamento de água para consumo humano (CODD, 2000). Florações de cianobactérias têm sido monitoradas por meio de medidas de densidade de células. Entre os fatores que estimulam as florações estão incluídos: o aporte de nutrientes (nitrogênio e fósforo) devido à erosão do solo, descarga de esgoto sem tratamento prévio e efluente industriais; atividades agropecuárias; alto tempo de retenção da água, pois elevadas vazões podem carrear células de cianobactérias, interrompendo seu crescimento; temperatura elevada, luz e profundidade da zona fótica (CHORUS e BARTRAM, 1999).

Segundo DEBERDT (2004), em condições naturais, as cianobactérias convivem de forma equilibrada com os demais organismos presentes em lagos e reservatórios, não sendo comum à ocorrência da dominância de uma espécie sobre as demais. Porém, o aumento do aporte de nutrientes ou relação N:P, associado à outros fatores ambientais, pode resultar em um crescente aumento na dominância desses organismos.

As florações de cianobactérias em reservatórios de água para abastecimento público estão associadas ao desenvolvimento de odor e sabor desagradáveis na água (JARDIM e VIANA, 2003). Porém, o maior risco que as florações de cianobactérias apresentam para a saúde pública advém da capacidade de vários gêneros produzirem metabólitos tóxicos, conhecidos como cianotoxinas, presentes no interior das células, não sendo ainda clara a razão de sua produção, embora possa estar relacionada à proteção contra herbivoria e também à alelopatia, como ocorre nos vegetais superiores (CYBIS *et al.*, 2006).

As cianotoxinas são liberadas na água quando ocorre lise das células das cianobactérias, seja por processos naturais, por tratamento do reservatório de água com algicidas, ou por adição de oxidantes químicos durante as etapas de pré-oxidação e desinfecção na estação de tratamento de água (ETA) (CHORUS e BARTRAM, 1999). Uma espécie de cianobactéria pode produzir mais de um tipo de toxina e dentro da mesma espécie podem existir cepas produtoras ou não. Métodos de biologia molecular são usados atualmente para caracterizar espécies tóxicas e não tóxicas e subsidiar a classificação taxonômica desses organismos (SIVONEN e JONES, 1999).

Atualmente, o número de registros científicos descrevendo a ocorrência de gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas tem aumentado consideravelmente. Nos últimos anos, em várias partes do mundo, foram constatadas florações de cianobactérias tóxicas que

causaram sérios prejuízos ao ecossistema e danos à saúde humana e de outros animais (CHORUS e BARTRAM, 1999).

A exposição humana às cianotoxinas pode ocorrer de diferentes maneiras, a exemplo do contato primário com as águas contendo toxinas por ingestão oral, hemodiálise e ingestão de animais, tais como peixes e moluscos, que se alimentam continuamente de cianofíceas, acumulando as toxinas em seus tecidos (MAGALHÃES *et al.*, 2001).

De acordo com as estruturas químicas, as toxinas podem ser incluídas em três grandes grupos: os peptídeos cíclicos, os alcalóides e os lipossacarídeos. Entretanto, por sua ação farmacológica, as principais classes de cianotoxinas até agora caracterizadas são as hepatoxinas e as neurotoxinas, além de toxinas irritantes ao contato (SANT'ANNA e AZEVEDO, 2000).

A forma mais comum de intoxicação por cianobactérias é decorrente da hepatotoxinas, que apresentam efeito mais lento, podendo causar a morte por hemorragia intra-hepática e choque hipovolêmico (diminuição do volume sanguíneo). Os primeiros sinais de intoxicação são prostração, anorexia, vômitos, dor abdominal e diarreia. As principais hepatotoxinas são caracterizadas, estruturalmente, como heptapeptídeos cíclicos, são as microcistinas e os pentapeptídeos, as nodularinas (AZEVEDO, 1998). As cilindrospermopsinas são compostos alcalóides que inibem a síntese protéica, tendo efeito predominantemente hepatotóxico, mas também afetando células dos rins, baço, coração e outros órgãos. A exposição contínua a níveis baixos de microcistina também é considerada um risco para a saúde humana, uma vez que microcistinas (e nodularinas) são promotoras de tumores hepáticos (HUMPAGE e FALCONER, 1999).

As neurotoxinas estão agrupadas em três classes, segundo sua ação farmacológica: anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxinas. A anatoxina-a é um alcalóide de baixo peso molecular. Os sinais de envenenamento em animais domésticos e selvagens pela anatoxina-a são desequilíbrio, fasciculação muscular, respiração ofegante, convulsões e morte, que pode ocorrer em poucos minutos por parada respiratória. A anatoxina-a(s) é um organofosforado natural que atua inibindo a atividade da acetilcolinesterase. Apresenta os mesmos sinais de intoxicação da anatoxina-a associado a intensa salivação. As saxitoxinas são alcalóides carbamatos, produtores de efeitos neurotóxicos, por inibição da transmissão nervosa, que ocorre por meio de bloqueio dos canais de sódio das células, provocando paralisia e falência respiratória (AZEVEDO, 1998).

Problemas dermatológicos e irritação nos olhos também podem ocorrer. Pessoas expostas a florações de cianobactérias quando nadam em rios e lagos contaminados têm relatado irritações de pele, reações alérgicas, sintomas gastrointestinais e problemas respiratórios. As toxinas irritantes ou dermatotoxinas são componentes da membrana celular e pertencem ao grupo dos lipopolissacarídeos (LPS) constituintes da parede celular das cianobactérias, também comumente encontrados nas membranas celulares de bactérias Gram negativas (CHORUS e BARTHAM, 1999).

Nem todas as florações apresentam toxicidade, entretanto, cerca de 50% das florações testadas em diferentes países foram tóxicas, quando feitos os bioensaios. No Brasil, 82% das cepas isoladas apresentaram toxicidade, sendo 9,7% neurotóxicas e as demais hepatotóxicas (BRASIL, 2003).

A avaliação da toxicidade pode ser feita por meio de métodos químicos e bioensaios (AZEVEDO, 2003; SHAW *et al.*, 1999). O ensaio de toxicidade em camundongos é realizado aplicando-se uma injeção intraperitoneal de 0,1 a 1,0 mL de uma solução obtida com a lise de células de cianobactérias (obtida a partir de amostras de floração), em animais padronizados (camundongo albino suíço, macho, de 20 g). Para a quantificação e determinação de cianotoxinas, o método químico mais utilizado é a Cromatografia Líquida de Alta Resolução (HPLC), técnica dispendiosa, que detecta níveis muito pequenos de toxinas presentes na água, permitindo a identificação e quantificação individual de microcistinas e nodularinas. O imunoensaio mais empregado é o Enzime-Linked Immuno Sorbent Assay (ELISA), cuja sensibilidade permite a detecção destas hepatotoxinas a partir de  $0,2 \mu\text{g L}^{-1}$  (HARADA *et al.*, 1999).

Em muitos casos as florações tóxicas desaparecem do corpo d'água antes que se identifique o agente de risco. Várias toxinas, quando em solução, não podem ser retiradas por processos convencionais de tratamento da água, sendo, inclusive, resistentes à fervura. Além disso, há evidências de que populações abastecidas por reservatórios, que apresentaram florações tóxicas ou que consumiram organismos contaminados, podem estar expostas a baixos níveis de toxinas por longos períodos. Tal situação, aparentemente inócua, deve ser considerada como sério risco à saúde pública, visto que a exposição prolongada às microcistinas (hepatotoxina) pode determinar maior incidência de câncer hepático nas populações expostas, pelo fato de que certas toxinas constituem potentes promotores de tumores (AZEVEDO, 1999).

### 3.4 Evidências de intoxicação por cianotoxina

Um crescente aumento no número de registros de danos causados à saúde da população e do ambiente, devido a florações de cianobactérias tem sido relatado ao longo dos anos, dentre eles, casos graves de intoxicação humana ocorridos no Canadá, Austrália e Reino Unido (KUIPER-GOODMAN *et al.*, 1999), Inglaterra, China e África do Sul (FALCONER, 1994). Inúmeros são os casos de intoxicação seguida de morte de animais silvestres e domésticos, sendo que o caso mais antigo encontrado na literatura data de 1878, que relata envenenamento em lago australiano (FRANCIS, 1878).

No Brasil, o trabalho de TEIXEIRA *et al.* (1993) descreve uma forte evidência de correlação entre a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Itaparica (Bahia) e a morte de 88 pessoas, entre 200 intoxicadas pelo consumo de água do reservatório, entre março e abril de 1988.

Entretanto, o primeiro caso confirmado de mortes humanas causadas por cianotoxinas ocorreu no início de 1996, quando 130 pacientes renais crônicos, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE), passaram a apresentar um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose. Desses, 60 pacientes vieram a falecer até 10 meses após o início dos sintomas. As análises confirmaram a presença de microcistinas e cilindrospermopsinas no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica e de microcistinas em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados (CARMICHAEL, 1996; JOCHIMSEN *et al.*, 1998; POURIA *et al.*, 1998). Além disso, as contagens de células, em amostras do fitoplâncton do reservatório que abastecia a cidade mostraram a dominância de gêneros de cianobactérias comumente relacionados com a produção de cianotoxinas.

Em termos globais, os relatos clínicos e danos à população humana pela ingestão de cianotoxinas em águas de abastecimento indicam que esses problemas acontecem como consequência de acidentes, desconhecimento ou deficiência na operação dos sistemas de tratamento de água. Esses relatos são parcialmente estimados e as circunstâncias originais são freqüentemente, de difícil definição (FUNASA, 2003).

Na Inglaterra em 1989, dez soldados ficaram doentes logo após nadar e praticar canoagem em águas com uma floração de *Microcystis* sp. Na Austrália, várias pessoas apresentaram náusea, vômito e danos no fígado após o consumo de água tratada contendo *Cylindrospermopsis raciborskii* (SANT'ANNA e AZEVEDO, 2000).

No Brasil, os gêneros mais comuns em reservatórios e fontes de água doce são *Microcystis*, *Anabaena* e *Cylindrospermopsis* (TUNDISI *et al.*, 1993). SANT'ANNA e AZEVEDO (2000) registram a ocorrência de pelo menos vinte espécies potencialmente tóxicas, incluídas em quatorze gêneros, em diferentes ambientes aquáticos brasileiros. A espécie *Microcystis aeruginosa* tem ampla distribuição geográfica, e tem sido registradas florações nas águas do estuário da Lagoa dos Patos (RS) provocando irritações na pele de pescadores nativos (YUNES *et al.*, 1996). Segundo PILOTTO *et al.* (1997), estudos sobre os efeitos da exposição da população as cianobactérias em áreas de recreação, demonstraram que a irritação de pele é um sintoma freqüente.

Em regiões agricultáveis, ou áreas densamente povoadas, é freqüente o aparecimento de florações de cianobactérias em reservatórios de abastecimento. Geralmente, tentam-se controlar as florações com aplicação de sulfato de cobre ou outros algicidas. De acordo com LAMBERT *et al.* (1994), este método provoca a lise celular, liberando as toxinas presentes nas células para a água bruta do manancial. Tais ações podem causar exposições agudas às toxinas. No entanto, é importante que os efeitos crônicos de exposições prolongadas, por ingestão oral, de baixas concentrações de cianotoxinas, sejam cuidadosamente avaliados, tanto sob o ponto de vista epidemiológico como toxicológico (LAMBERT *et al.*, 1994).

Em algumas regiões do Brasil, a situação é bastante alarmante, pois vários reservatórios e açudes utilizados para o abastecimento público apresentam frequentemente florações de cianobactérias. O consumo de pescado, também pode ser um fator de risco, uma vez que peixes podem bioacumular as cianotoxinas em seus tecidos (MAGALHÃES *et al.*, 2001). No Estado de Minas Gerais, JARDIM *et al.* (2000), verificaram a ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas em vários mananciais operados pela COPASA, ficando evidente a necessidade de se manter um programa de monitoramento para os ambientes aquáticos a fim de evitar danos a saúde humana, animal e ao ecossistema como um todo.

### **3.5 Legislação relacionada à cianobactérias**

O modelo de desenvolvimento social e econômico no Brasil, com característica desordenada e sem planejamento, estimulou a incidência de poluição e degradação

ambiental, em níveis preocupantes, com alterações no ambiente interferindo diretamente na saúde humana (NETTO e CARNEIRO, 2002).

Nos ecossistemas aquáticos, uma das conseqüências dos impactos antrópicos é a ocorrência de acelerados processos de eutrofização, devido ao aumento das concentrações de nutrientes na água. Esse processo pode provocar o aumento da abundância de espécies de cianobactérias, dando origem a florações, que se caracterizam pelo intenso crescimento desses organismos na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade.

As florações de cianobactérias causam impactos sociais, econômicos e ambientais. O aumento da biomassa altera a coloração da água, provoca odor desagradável, além de alterar o sabor da água tratada para abastecimento. A decomposição das florações leva a desoxigenação, alterando as propriedades da água e afetando a capacidade de sobrevivência de organismos aquáticos. A produção de metabólitos secundários bioativos, com muitas propriedades tóxicas, pode afetar direta ou indiretamente a saúde de muitos animais, inclusive do homem (CARMICHAEL, 1996).

Diante do risco potencial à saúde, vários países incluíram na Legislação, normas e recomendações relativas a florações de cianobactérias e concentrações de cianotoxinas. A Organização Mundial da Saúde, por meio da terceira edição do “Guidelines for drinking-water quality” (WHO, 2003) recomenda o valor limite máximo para microcistina-LR total de  $1\mu\text{g L}^{-1}$  considerando a exposição através da água de consumo humano.

O guia “Australian Drinking Water Guidelines” (ADWG, 1996) apresenta valor de referência para microcistina-LR total de  $1,3\mu\text{g L}^{-1}$ , diferente do recomendado pela Organização Mundial da Saúde para a água de consumo humano. A Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), criou uma lista alvo de cianotoxinas com provável potencial de risco a saúde em águas superficiais e águas finais de sistemas de tratamento de água. A seleção destas toxinas foi baseada em quatro critérios: efeitos na saúde; ocorrência nos Estados Unidos; suscetibilidade ao sistema de tratamento de água; e estabilidade da toxina (USEPA, 2001).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução 357/05, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, define valores de densidade de cianobactérias: Classe 1:  $20.000\text{ cel mL}^{-1}$ , considerando como uso mais restritivo o abastecimento após tratamento mais simplificado; Classe 2:  $50.000\text{ cel mL}^{-1}$ , considerando

como uso mais restritivo a recreação de contato primário e a dessedentação de animais; Classe 3: 100.000 cel mL<sup>-1</sup>, considerando como uso mais restritivo o abastecimento após tratamento convencional.

A Portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/05 (BRASIL, 2005) determina os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade de água, assim como padrões de potabilidade. Essa portaria contempla a problemática das cianobactérias exigindo monitoramento da ocorrência e densidade de cianobactérias na água bruta e tratada e análise de concentrações de cianotoxinas, estabelecendo limites máximos de concentração aceitáveis.

Para atendimento ao padrão de potabilidade exige-se apenas a análise das microcistinas, por serem as mais comumente encontradas e apresentarem alternativas metodológicas mais simplificadas, com o VMP (valor máximo permitido) de 1,0 µg L<sup>-1</sup>. Para as demais cianotoxinas, recomenda-se que as análises incluam a determinação de cilindrospermopsina e saxitoxinas (STX), observando, respectivamente, os valores-limite de 15,0 µg L<sup>-1</sup> e 3,0 µg L<sup>-1</sup>.

O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer a frequência mensal quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 cel mL<sup>-1</sup>, ou semanal, quando o número de cianobactérias exceder esse valor e quando exceder 20.000 cel mL<sup>-1</sup> durante o monitoramento, será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água de saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis), sendo que essa análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos (BRASIL, 2005).

A avaliação da toxicidade pode ser feita através de métodos químicos e bioensaios (AZEVEDO, 2003). Os bioensaios com camundongos são métodos muito rápidos, dando uma resposta mais expedita da toxicidade e refletem o efeito das toxinas nos ecossistemas, embora exijam a manutenção de um biotério (CORREIA *et al.*, 2001). Para a quantificação e determinação de cianotoxinas o método químico mais utilizado é a Cromatografia Líquida de Alta Resolução (HPLC), técnica mais dispendiosa, que detecta níveis muito pequenos de toxinas presentes na água. Utiliza-se também *kits* para a identificação colorimétrica de microcistinas solúveis e particuladas na água bruta.

A implementação plena da Portaria do MS 518/05 ainda representa um desafio, pois requer o envolvimento não apenas dos responsáveis pelo abastecimento de água para

consumo humano, mas também do setor de vigilância em saúde, responsável pela fiscalização desse instrumento legal, e dos gestores públicos em geral (BRASIL, 2005).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado no município de Viçosa, na região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, cujo clima enquadra-se no tipo Cwa (clima de inverno seco e verão chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen. A região possui estações bem definidas, isto é, período das águas e período seco. O período das águas ocorre entre os meses de outubro e março e as precipitações mais intensas ocorrem em geral entre os meses de novembro e fevereiro. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18° C e, no mês mais quente, superior a 22° C (BARUQUI, 1982).

As coletas das amostras de água foram feitas no Ribeirão São Bartolomeu e no Rio Turvo Sujo, mananciais de abastecimento de água para consumo humano no município (FIGURA 1).

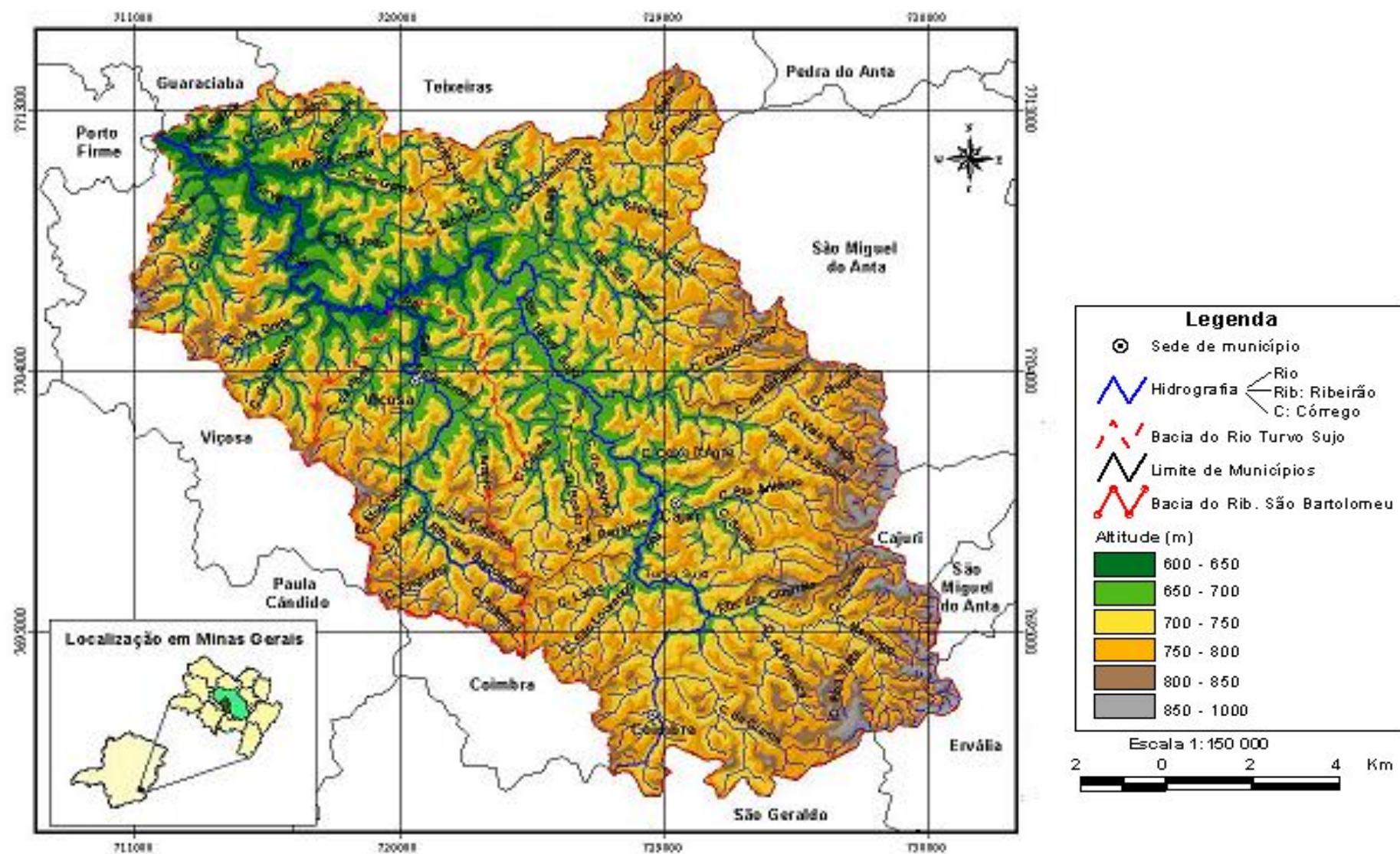


FIGURA 1: Mapa das Bacias do Rio Turvo Sujo e do Ribeirão São Bartolomeu (FONTES *et al.*, 2006)

A bacia de captação do Ribeirão São Bartolomeu, parte integrante da bacia hidrográfica do Rio Doce está totalmente inserida no município de Viçosa, delimitada entre as coordenadas 20°43'S, 42°50'O e 20°51'S, 42°56'. Ocupa uma área de 5.057,4 ha o que corresponde a 18,48% da superfície do município de Viçosa. O Ribeirão São Bartolomeu é formado pelos córregos Santa Catarina, Engenho, Paraíso, Posse, Palmital e Araújo, (ARRUDA, 1997). A região caracteriza-se por uma topografia fortemente acidentada, apresentando porções reduzidas de área plana e a altimetria varia de 600 a 970 metros. O uso da terra é constituído, principalmente, por pecuária, agricultura, escassos remanescentes florestais nativos e reflorestamento com eucaliptos (RESENDE, 1971; SCHAEFER *et al.*, 1990; FERNANDES, 1996; QUINTEIRO, 1997).

No campus universitário, o Ribeirão São Bartolomeu recebe cinco barramentos consecutivos, constituindo as “lagoas da UFV”. Na segunda lagoa encontra-se o ponto de captação de água para abastecimento de uma das estações de tratamento do município de Viçosa (ETA I) e da ETA da universidade (ETA UFV), que atende com água tratado o campus universitário. Portanto, as duas primeiras lagoas cumprem a função de reservatórios de acumulação de água para fins de abastecimento para consumo humano.

A água captada do ribeirão São Bartolomeu atende 65 % da população de Viçosa (ETA I) e 100% do campus universitário (ETA-UFV) (SAAE, 2003). A ETA I possui uma capacidade de adução da ordem de 100L s<sup>-1</sup>.

A bacia hidrográfica do São Bartolomeu é caracterizada por uma topografia fortemente acidentada, apresentando porções reduzidas de áreas planas (VILELA, 1998). A altimetria varia de 800 a 970 m nas partes mais elevadas e, de 600 a 800 m, junto à rede de drenagem (ARRUDA, 1997). A situação fundiária é caracterizada por pequenas propriedades, em áreas predominantemente não planas. Como normalmente observado na Zona da Mata Mineira, essa área rural é formada por pequenos agricultores, que desenvolvem em sua maioria, atividades de subsistência (FONTES *et al.*, 2006).

A bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo possui uma área total de 406,44 km<sup>2</sup>, sendo este rio um dos afluentes da bacia hidrográfica do Rio Doce. Está compreendida entre as coordenadas geográficas 42° 40' e 43° 00' de longitude Oeste e 20° 39' e 20° 55' de latitude Sul, abrangendo parte dos municípios de Viçosa, Cajuri, Coimbra, Teixeiras e Guaraciaba, no Estado de Minas Gerais (SANTOS 2001). Os principais afluentes do Rio Turvo Sujo são, dentre outros: o Ribeirão dos Quartéis, Córrego Latão, Córrego Sertão, Ribeirão São

Joaquim, Ribeirão Santa Teresa, Córrego dos Nobres, Rio São João e Ribeirão São Bartolomeu (FONTES *et al.*, 2006).

O Rio Turvo é o manancial de abastecimento de outra estação de tratamento de água do município (ETA II), operada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE Viçosa), sendo a captação de água realizada de forma direta, por meio apenas de uma barragem de nível.

A vegetação original da bacia era floresta tropical subperenifolia, que deu lugar, após intenso desmatamento, à lavoura cafeeira, responsável pela colonização inicial da região. Atualmente, além do café, a exploração agrícola na bacia é composta pelas culturas de milho, feijão, arroz e olerícolas, sendo concentrada nos terraços e leitos maiores, onde também é intensificada a atividade urbana (FERNANDES, 1996).

#### **4.2 Descrição dos pontos de coleta de água**

As coletas de amostras de água foram realizadas em quatro pontos distintos:

- Ponto 1 (P1) – Localizado nas coordenadas UTM 721.803.2788E e 7.702.316.6034N, na represa em frente ao Supermercado Escola, Campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), margem direita. Esse ponto foi selecionado por sua localização distando, aproximadamente, 10 m dos pontos de captação de água do SAAE e da UFV e por estar a montante do vertedouro da barragem.

- Ponto 2 (P2) – Localizado nas coordenadas UTM 721.760.9567E e 7.702.352.7990N, na represa em frente ao Supermercado Escola, Campus da UFV, margem esquerda. O P2 está próximo da Estação Elevatório do SAAE, que bombeia água para a ETA I. Esse ponto foi selecionado pelo fato de estar em um local de remanso (FIGURA 2).



FIGURA 2: Vista parcial da represa em frente ao Supermercado Escola, Campus da UFV, onde estão localizados P1 (margem direita) e P2 (margem esquerda)

• Ponto 3 (P3) – Localizado nas coordenadas UTM 720.909.7875E e 7.701.143.1686N, próximo ao Condomínio Bosque Acamari, perímetro urbano da cidade de Viçosa. Nesse ponto, o Ribeirão São Bartolomeu está próximo de desaguar na primeira represa do Campus da UFV (FIGURA 3). Nesse ponto pretendeu-se avaliar a contribuição da qualidade da água do Ribeirão São Bartolomeu afluente às represas da UFV, considerando que esse manancial recebe resíduos urbanos e de atividades agropecuárias, a montante de P3.



FIGURA 3: Vista do Ribeirão São Bartolomeu, próximo de desaguar na primeira represa do Campus da UFV (P3). Local onde foram feitas as coletas (seta).

- Ponto 4 (P4) – Localizado nas coordenadas UTM 723.801.6940E e 7.707.048.1253N, no Rio Turvo Sujo, na localidade denominada Violeira. Esse ponto de coleta foi selecionado pelo fato de ser o ponto de captação de água do SAAE que abastece a ETA II (FIGURA 4).



FIGURA 4: Local onde foi coletada água (setas), no Rio Turvo Sujo (P4).

### 4.3 Coleta e preservação das amostras

As coletas de fitoplâncton foram realizadas, mensalmente, durante 12 meses, de acordo com a metodologia descrita por AGUIAR (2000). Para a análise qualitativa foi utilizada uma rede de fitoplâncton (FIGURA 5a), abertura de malha = 20  $\mu\text{m}$ , com a qual foram realizados arrastos horizontais na subsuperfície (FIGURA 5b e 5c), cujo objetivo foi concentrar o fitoplâncton e levantar a biodiversidade fitoplanctônica presente.

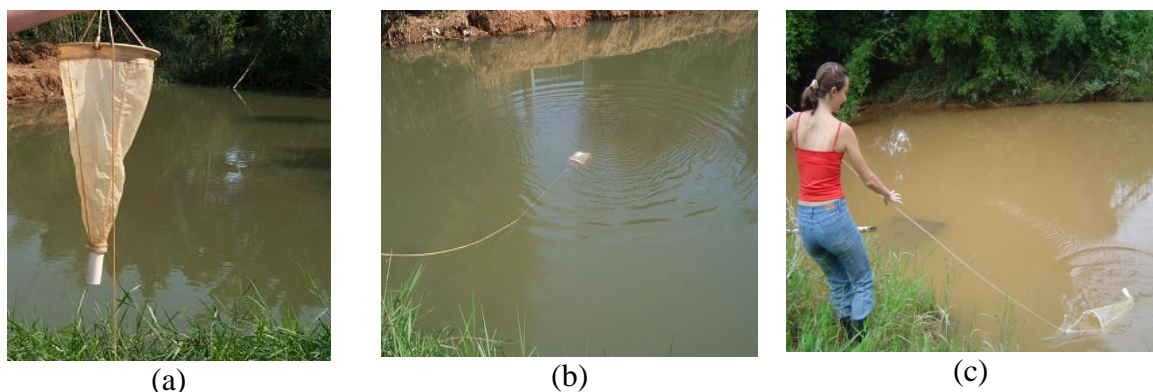


FIGURA 5: (a) rede de fitoplâncton; (b, c) arrastos horizontais

Para a análise quantitativa foram efetuadas coletas de água subsuperficial nos pontos já descritos. Para isso foi utilizado um frasco (com a parte superior aberta) fixado na extremidade de uma haste de madeira, o que permitiu coletar água bruta numa faixa de 0 a 20 cm de profundidade (FIGURA 6).



FIGURA 6: Coleta de água subsuperficial

As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro limpos, transparentes, com capacidade para 500 mL, hermeticamente fechados e devidamente identificados. Em seguida, foram transportadas para a Unidade de Crescimento de Plantas (UCP)/Laboratório de Ficologia do Departamento de Biologia Vegetal (DBV)/UFV.

Parte das amostras foi preservada em lugol, para análise quantitativa, e parte foi enriquecida com meio de cultura BG-11 líquido, suplementado ou não, com fontes de nitrogênio (N) (AGUIAR, 1992), para o isolamento de cianobactérias heterocitadas ou não.

#### **4.4 Isolamento e obtenção de culturas unialgais**

O enriquecimento das amostras foi realizado imediatamente após as coletas, a fim de estimular a germinação das formas de resistência presentes, tais como acinetos e hormogônios.

Para o isolamento das espécies de cianobactérias foram utilizados os métodos de micropipetagem e plaqueamento (FIGURA 7), proposto por KUGRENS *et al.* (2000). O isolamento foi mais eficiente quando alternado com as técnicas de diluição em série e micropipetagem, seguida de plaqueamento em meio BG-11 sólido suplementado ou não.

Para o meio sólido, foi acrescentado de 1,5% de ágar. Após sucessivas repicagens foram obtidas culturas unialgais.



FIGURA 7: Isolamento em meio sólido

#### 4.5 Manutenção de culturas em laboratório

As culturas unialgais foram mantidas em sala de crescimento do Laboratório de Ficologia da UFV (FIGURA 8), sob condições fotoautotróficas de crescimento, ou seja, à temperatura de  $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ , iluminação constante de  $30 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , provenientes de luz fria fluorescente e fotoperíodo de 16/8 horas de luz/escuro (AGUIAR, 2000). No laboratório as culturas foram mantidas em frascos Erlenmeyer, com capacidade para 125 mL, em meio BG-11 líquido.



FIGURA 8: Vista parcial da sala de crescimento de cianobactérias e microalgas do Laboratório de Ficologia – DBV/UFV

## 4.6 Variáveis analisadas

### 4.6.1 Variável meteorológica

A variável meteorológica analisada durante o período de estudo foi a pluviosidade. Essa variável pode interferir na ocorrência de cianobactérias em cursos d'água. Os dados mensais sobre pluviosidade foram obtidos no Departamento de Engenharia Agrícola (DEA)/UFV, que opera a Estação Meteorológica de Viçosa.

### 4.6.2 Variáveis limnológicas

Para o monitoramento da qualidade da água, em cada ponto de coleta, foram determinados mensalmente o pH, OD e temperatura. Além dessas variáveis, também foram medidos com frequência trimestral, nos meses de outubro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06 a condutividade elétrica (CE) e quantificadas as concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrogênio total ( $\text{N}_{\text{total}}$ ), fósforo total ( $\text{P}_{\text{total}}$ ) e alcalinidade. Todos esses parâmetros foram medidos no Laboratório de Qualidade da Água, do DEA/UFV, cuja

metodologia seguiu o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1995).

As variáveis físicas e químicas das amostras de água coletadas para análise, nos pontos amostrados, quanto aos aspectos metodológicos e os equipamentos utilizados estão descritos nos itens a seguir.

#### 4.6.2.1 Condutividade elétrica

A CE foi determinada através do método eletrométrico, por meio de aparelho medidor da marca TecnoPON. A unidade usada para medir CE das amostras de água foi  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

#### 4.6.2.2 pH

O pH foi obtido por meio do equipamento pHmetro, modelo pHTestr 20.

#### 4.6.2.3 Temperatura da água

A temperatura da água foi feita com aparelho medidor de OD e temperatura, marca Handylab OX. A unidade usada para medir as temperaturas das amostras de água foi em  $^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.6.2.4 Oxigênio dissolvido

A concentração de oxigênio foi obtida por intermédio de um aparelho medidor de OD e temperatura, marca Handylab OX. A unidade usada para medir as concentrações de oxigênio das amostras de água foi  $\text{mg L}^{-1}$ .

#### 4.6.2.5 Alcalinidade Total

A alcalinidade foi determinada através do método titulométrico usando a solução indicadora fenolftaleína (APHA, 1995). A alcalinidade das amostras de água foi determinada em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ .

#### 4.6.2.6 Fósforo Total

O fósforo foi determinado através do método espectrofotométrico (APHA, 1995). A concentração de fósforo presente nas amostras de água foi determinada em  $\text{mg L}^{-1}$  de P.

#### 4.6.2.7 Nitrogênio Total Kjeldahl

O nitrogênio total foi determinado através do método Kjeldahl (APHA, 1995). A concentração de nitrogênio total Kjeldahl presente nas amostras de água foi determinada em  $\text{mg L}^{-1}$  de N.

#### 4.6.2.8 Nitrato

O nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) foi determinado através do método de redução do nitrato a nitrito através de uma coluna de cádmio (APHA, 1995). A concentração de Nitrogênio-Nitrato presente nas amostras de água foi determinada em  $\text{mg L}^{-1}$ .

#### 4.6.2.9 Amônio

O amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) foi determinado através da formação do composto azul intenso de indofenol pela reação da amônia com hipoclorito e fenol que é lido em espectrofotômetro (APHA, 1995). A concentração de amônio presente nas amostras de água foi determinada em  $\text{mg L}^{-1}$ .

### 4.6.3 Avaliação da qualidade da água (Resolução CONAMA 357/05)

A avaliação da condição da qualidade das águas dos mananciais de abastecimento de Viçosa quanto às variáveis analisadas, foram comparados com aqueles estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05.

#### 4.6.4 Variáveis Biológicas

##### 4.6.4.1 Análise qualitativa das populações de cianobactérias

A análise qualitativa das cianobactérias nos pontos amostrados foi realizada com a finalidade de identificar as espécies presentes nos ambientes estudados. Foi utilizado um microscópio binocular AXIOSTAR – PLUS, ZEISS, com ocular de medição acoplada, do laboratório de Ficologia da UCP/DBV/UFV. Todas as características morfológicas e morfométricas da vida vegetativa e reprodutiva de valor taxonômico para as espécies foram analisadas, de acordo com bibliografia especializada. O sistema de classificação utilizado foi o de KOMÁREK e ANAGNOSTIDIS (1986, 1989, 1998) para a ordem Chroococcales, o de ANAGNOSTIDIS e KOMÁREK (1988) para a ordem Oscillatoriales, KOMÁREK e ANAGNOSTIDIS (1989) para a ordem Nostocales e ANAGNOSTIDIS e KOMÁREK (1990) para a ordem Stigonematales.

A identificação taxonômica foi feita, quando possível, ao nível específico, sendo adotado o sistema de classificação proposto pelos autores supracitados.

#### 4.6.4.2 Análise quantitativa das populações de cianobactérias

A análise quantitativa da composição da comunidade de cianobactérias foi realizada por meio de contagens de células, em câmara Sedgwick-Rafter, de acordo com a Norma Técnica CETESB (1991). Foram contadas todas as células presentes na amostra. Os resultados foram expressos em número de células por mililitro ( $\text{cel mL}^{-1}$ ).

#### 4.6.4.3 Índices biológicos

Os índices biológicos foram utilizados para avaliar as possíveis variações na composição da comunidade fitoplanctônica dos reservatórios estudados.

- Índices de diversidade específica ( $H'$ )

A diversidade específica foi calculada através do índice de diversidade de SHANNON-WEAVER (1963) e expressa em bits/ind., segundo a expressão:

$$H' = \sum_{i=1}^n p_i \text{Log}_e p_i$$

onde:

$$p_i = n_i n^{-1}$$

$n_i$  = densidade da espécie

$n$  = densidade total da amostra.

- Índice de equitabilidade (E)

Calculado com a fórmula proposta por Pielou (1996) apud LEGENDRE e LEGENDRE (1983):

$$E = H/H_{\max}$$

$$H_{\max} = \text{Log}_2 (S)$$

onde:

H = diversidade da amostra

$H_{\max}$  = diversidade máxima da amostra

S = número de espécies da amostra

#### 4.6.4.4 Espécies dominantes e abundantes

A avaliação das espécies dominantes e abundantes foi realizada de acordo com LOBO e LEIGHTON (1986), que considera espécies dominantes como aquelas cuja ocorrência numérica supera 50% do número total de indivíduos, em cada amostra, e espécies abundantes aquelas cuja densidade encontra-se acima da densidade média da amostra.

#### 4.6.4.5 Detecção de Microcistina

Para a determinação de microcistina nas cepas potencialmente tóxicas foram utilizadas amostras de culturas unialgais. Inicialmente, as culturas foram centrifugadas por 10 min (5.000 rpm) para concentrar a biomassa e, em seguida, procedeu-se com o rompimento das células com auxílio de equipamento homogeneizador tipo POTTER (FIGURA 9).



FIGURA 9: Cultura unialgal submetida ao rompimento celular

A detecção de microcistina foi realizada pelo Método de Imunoensaio ELISA (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay), o qual permite a detecção imediata da presença ou ausência de microcistina em amostras de água e culturas. A detecção de microcistina seguiu a metodologia proposta por CHU e WEI (1990) (FIGURA 10).

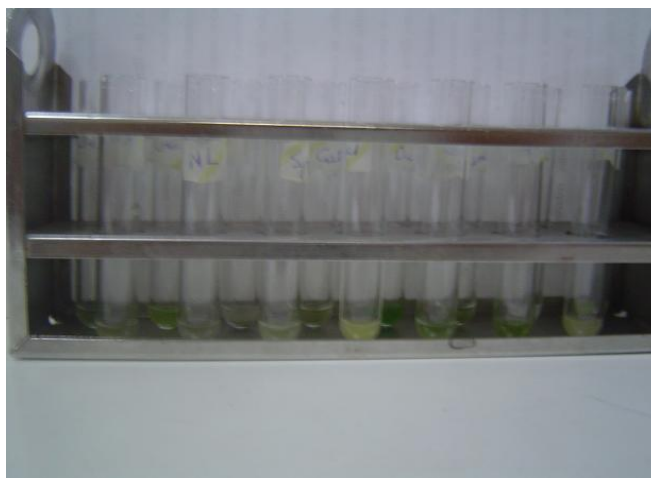


FIGURA 10: Vista geral dos tubos utilizados no Teste ELISA

A presença ou ausência de microcistina em amostras de culturas unialgais no Teste ELISA é detectada pela diferença de coloração. No método são usados dois tubos padrões para interpretação visual dos resultados. Como em todo imunoensaio competitivo, a concentração da amostra é inversamente proporcional ao desenvolvimento de cor. Para interpretação dos resultados, amostras com intensidade de cor maior que a cor azul do padrão  $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ , contém menos que  $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$  de microcistina, indicando ausência da toxina (resultado negativo); a cor azul expressa entre o padrão  $0,5$  e  $3,0 \mu\text{g L}^{-1}$  indica

ausência da toxina (resultado negativo) e nas amostras com coloração menor que a cor azul do padrão  $3,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , indica a presença da toxina (resultado positivo).

#### **4.7 Ilustrações dos táxons isolados**

As ilustrações e registros fotográficos das espécies isoladas foram feitos com auxílio de um microscópio de luz, AXIOSTAR – PLUS, ZEISS, acoplado com câmara digital, Cannon A 620, no laboratório de Ficologia da UCP/DBV/UFV. As ilustrações foram feitas com o auxílio de câmara-clara, acoplada ao sistema óptico.

#### **4.8 Análise Estatística**

Na tentativa de explicar as possíveis relações entre o padrão de distribuição das cianobactérias e os fatores ambientais nos mananciais durante o período estudado foi utilizada a Análise de Correspondência Canônica (CCA) (TER BRAAK, 1986), uma análise multivariada de gradiente direto que ordena os eixos por combinações lineares com as variáveis ambientais. Os eixos extraídos são combinações lineares das variáveis ambientais, significativas, adicionadas ao modelo de ordenação canônica. A interação entre as espécies e o ambiente para cada eixo é dada pela medida de correlação espécies – ambiente. Para a interpretação dos eixos de ordenação foram calculados coeficientes de correlação entre cada variável ambiental e cada eixo.

Para testar o nível de significância dos dois primeiros eixos da CCA foi utilizado o teste de Monte Carlo (99 permutações;  $p \leq 0,05$ ) para determinar se os autovalores apresentavam ou não distribuição ao acaso.

As análises multivariadas foram realizadas pelo programa PC-ORD, versão 3.1 para Windows.

Os valores de densidade de células de cianobactérias foram correlacionados com as variáveis limnológicas analisadas por meio do coeficiente de Pearson ( $p < 0,05\%$ ).

A similaridade entre as espécies de cianobactérias nos pontos amostrados durante o período de estudo foi verificada através de análise de agrupamento utilizando o índice de similaridade de Sorensen (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974) e a interpretação foi realizada pelos métodos de médias não ponderadas (Unweighted Pair

Group Method With Arithmetic Mean - UPGMA), expressas na forma de dendrograma, obtido através do programa Multivariate Statistical Package (MVSP).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Variável meteorológica

A variável meteorológica considerada nesse estudo foi a pluviosidade. Em Viçosa há dois períodos distintos de precipitação, o período das águas que ocorre entre os meses de novembro a março, caracterizando a estação das chuvas e o período seco, estação em que as precipitações são menos intensas, o qual estende-se entre os meses de abril a outubro. A pluviosidade acumulada entre setembro/05 a agosto/06 foi 1114,6 mm, ocorrendo a maior precipitação no mês de dezembro (291,2 mm) e a menor no mês de julho (6,3 mm). A precipitação registrada no período de estudo está representada na FIGURA 11.

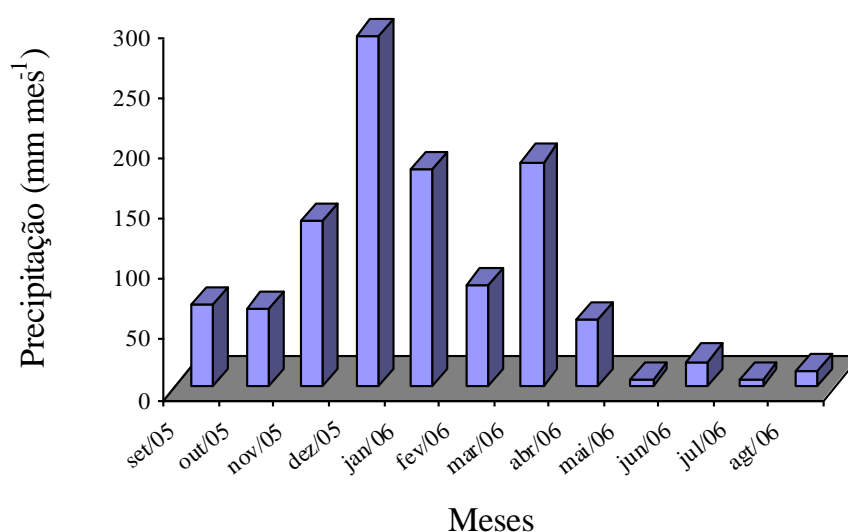


FIGURA 11: Precipitação pluviométrica (mm mês<sup>-1</sup>) ocorrida no município de Viçosa entre os meses de setembro/2005 a agosto/2006

No presente estudo, as menores densidade de células de cianobactérias foram encontradas no período de maior precipitação. Em P1 e P2 as menores densidades ocorreram em dezembro/05, mês de maior precipitação no período estudado (291,2 mm). No entanto, em P3 e P4 as menores densidades ocorreram em novembro/06 (136,9 mm). Nesse mês, em P3 e P4 foi encontrada apenas uma espécie de cianobactéria e baixas densidades de células. Isso pode ter ocorrido devido a elevada pluviosidade no período da coleta das amostras, favorecendo o aumento da velocidade da água nesses pontos.

A precipitação e a vazão são fatores essenciais na determinação da densidade e da composição taxonômica das microalgas e cianobactérias. A pluviosidade atua como função de força pela introdução de nutrientes para o reservatório (TUNDISI *et al.*, 1993), e também, contribui com o aumento do volume de água, aumentando também a velocidade da correnteza de rios e riachos.

De acordo com SCHAFER (1985), rios com forte correnteza, não mantêm comunidades densas de fitoplâncton, porque esses organismos são levados pelo fluxo da água. As cianobactérias, geralmente, não se desenvolvem em reservatórios que possuem curto tempo de retenção. A taxa de crescimento das cianobactérias, normalmente, é muito mais baixa do que a de muitas outras espécies de microalgas. Taxas lentas de crescimento requerem longo tempo de retenção de águas, a fim de possibilitar a ocorrência das florações. (CHORUS e BARTRAM, 1999).

## **5.2 Variáveis limnológicas**

A análise de parâmetros físicos e químicos da água constitui importante ferramenta utilizada no monitoramento da qualidade das águas. Os fatores físicos e químicos podem determinar gêneros e espécies que irão se estabelecer e dominar ecossistemas específicos.

Em lagos de regiões tropicais têm-se observado que existem poucas evidências para a ocorrência e as flutuações do fitoplâncton ligadas às estações do ano (flutuações sazonais). Assim, a variação da composição específica ou da densidade do fitoplâncton nesses lagos está associada, geralmente, a fatores locais (ESTEVES, 1988).

### 5.2.1 pH

A FIGURA 12 apresenta a variação do pH nos quatro pontos amostrados entre os meses de setembro/05 e agosto/06.

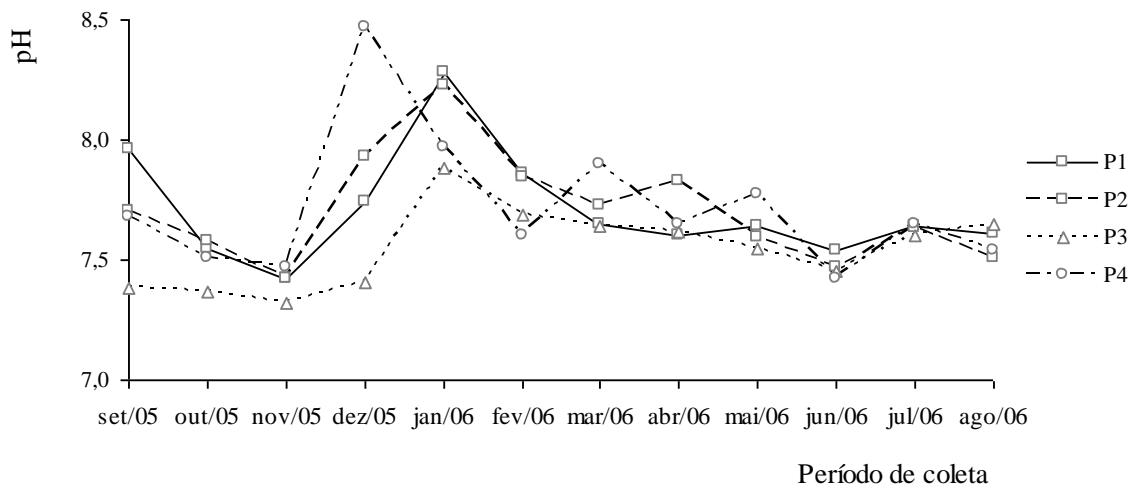


FIGURA 12: Variação temporal do pH nos pontos amostrados

De acordo com MATSUZAKI *et al.* (2004), as comunidades aquáticas podem interferir nos valores de pH do meio. O aumento da taxa fotossintética contribui para a elevação do pH, já que o consumo de  $\text{CO}_2$  propicia a liberação de  $\text{OH}^-$  no meio. PINTO-COELHO e GIANI (1985), no Lago Paranoá em Brasília e MATSUMURA-TUNSIDI *et al.* (1986), na Lagoa do Taquaral em Campinas, associaram o elevado pH com o intenso processo fotossintético. Em P1 e P2 o menor valor do pH registrado foi 7,42 em novembro/05. O pH máximo encontrado nesses pontos foi no mês de janeiro/06 (8,28 em P1 e 8,23 em P2) e coincidem com as maiores densidades registradas de cianobactérias. No entanto essas densidades ainda são baixas para explicar o aumento do pH.

O pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade. Assim sendo, alterações bruscas no pH da água podem acarretar o desaparecimento dos organismos presentes na mesma.

Em P3 o máximo encontrado foi de 7,88 (janeiro/05) e o mínimo de 7,32 (novembro/05). Nesse ponto foram registrados os menores valores de pH, durante o

período amostrado, ficando abaixo de 7,6 entre os meses de agosto e dezembro/2005, e nos meses de maio, junho e julho/06.

Em P4 o menor valor foi em junho/06 (7,42) e o maior em dezembro/05 (8,47). A elevação do pH em P4 no mês de dezembro/05 não esteve associada com aumento da densidade de células de cianobactérias

Nos quatro pontos amostrados houve um aumento no pH, nos meses de dezembro/06 e janeiro/06, e queda em fevereiro/06. Segundo ESTEVES (1988), o pH dos sistemas aquáticos é influenciado pela concentração de íons  $H^+$  provenientes da dissociação do dióxido de carbono gerando valores baixos de pH, e das reações entre íons carbonato e bicarbonato com a água, elevando os valores de pH para uma faixa alcalina.

### 5.2.2 Oxigênio dissolvido

As concentrações de OD nos pontos amostrados estão representadas na FIGURA 13.

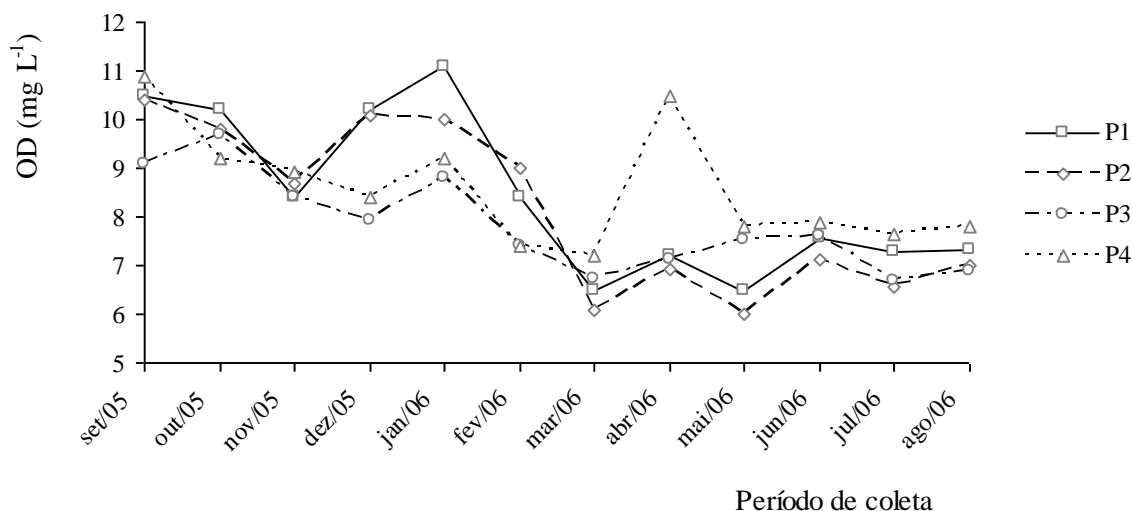


FIGURA 13: Variação temporal do OD nos pontos amostrados

O oxigênio dissolvido é uma variável muito importante na qualidade da água, uma vez que sua presença no meio líquido é fundamental na oxidação de poluentes dissolvidos, para sobrevivência de organismos aeróbios e a autodepuração de cursos d'água (MATOS, 2007).

O oxigênio é um gás pouco solúvel em água e a sua solubilidade depende da pressão (altitude), temperatura e sais dissolvidos; a concentração de saturação está em torno de  $8 \text{ mg L}^{-1}$  a  $25^{\circ}\text{C}$  entre 0 e 1.000 m de altitude (VALENTE *et al.*, 1997). Todos os pontos amostrados dos mananciais de captação de água do município de Viçosa estão localizados em altitude inferior a 650m e as concentrações de OD variaram numa faixa próxima ao valor encontrado por VALENTE *et al.*, 1997. Em P1 a concentração de OD variou entre  $6,5$  a  $11,1 \text{ mg L}^{-1}$ , em P2 entre  $6,0$  a  $10,4 \text{ mg L}^{-1}$ , em P3 entre  $6,7$  a  $9,7 \text{ mg L}^{-1}$  e em P4 a variação foi de  $7,2$  a  $10,9 \text{ mg L}^{-1}$ .

De setembro/05 a janeiro/06 o OD manteve-se mais elevado nos quatro pontos amostrados, coincidindo com o período de maior precipitação. GUERESCHI e MELÃO (1997) realizaram estudo na bacia hidrográfica do rio Monjolinho, São Carlos-SP, e também obtiveram maiores concentrações de OD no período de maior precipitação.

Os valores de OD inferiores ao valor de saturação indicam a presença de matéria orgânica e valores superiores, a existência de crescimento anormal de microalgas, uma vez que, as mesmas liberam oxigênio durante o processo de fotossíntese. A escassez de OD pode levar ao desaparecimento da biota de um determinado corpo d'água, podendo também ocasionar mau cheiro (CETESB, 2005).

Nos meses de março, abril e maio houve uma redução nas concentrações de OD em P1, P2 e P3. A presença de macrófitas aquáticas (*Salvinia auriculata*) em P1 e P2, nos meses de março, abril e maio/06, pode ter contribuído para a redução do oxigênio nesses pontos amostrais. Segundo ESTEVES (1988), em lagos rasos, a concentração de matéria orgânica, aliada a altas temperaturas, contribui decisivamente para a diminuição do oxigênio na água, muitas vezes em função da aceleração do processo de decomposição. No estudo realizado na bacia do rio Monjolinho, São Carlos, SP, GUERESCHI e MELÃO (1997), também observaram um declínio acentuado na concentração do OD, na presença de macrófitas, sugerindo que a decomposição natural dessas plantas aquáticas pode ter provocando um consumo de OD pelo processo de oxidação. Além disso, a presença de macrófitas aquáticas reduz a penetração de luz na água. No estudo realizado no Lago das Garças, CARMO (2000), observou que a presença de macrófitas aquáticas interferiu na penetração de luz na água e na competição com a comunidade fitoplanctônica por nutrientes. No entanto outros fatores devem ser considerados tendo em vista que as cianobactérias necessitam de pouca luz devido a presença de ficobilinas, pigmentos acessórios que permitem ampliar a faixa de luz que pode ser utilizada na fotossíntese.

Em P4, verificaram-se maiores concentrações de OD no mês de abril. A densidade de células de cianobactérias nesse período passou de 140 cel mL<sup>-1</sup> no mês de março/06, para 578 cel mL<sup>-1</sup> em abril/06 (TABELA 8A - ANEXO 2). Entretanto essas densidades são baixas, sugerindo interferência de outros fatores que devem ser considerados como a velocidade da correnteza e temperatura. A temperatura da água influencia na maioria dos processos físicos, químicos e biológicos, além de outros processos tais como a solubilidade dos gases dissolvidos, podendo influenciar tanto no desenvolvimento de organismos aquáticos, como na quantidade de OD na água.

### 5.2.3 Temperatura da água

A FIGURA 14 apresenta a variação térmica da água ocorrida nos pontos de amostragens, entre os meses de setembro/05 a agosto/06.

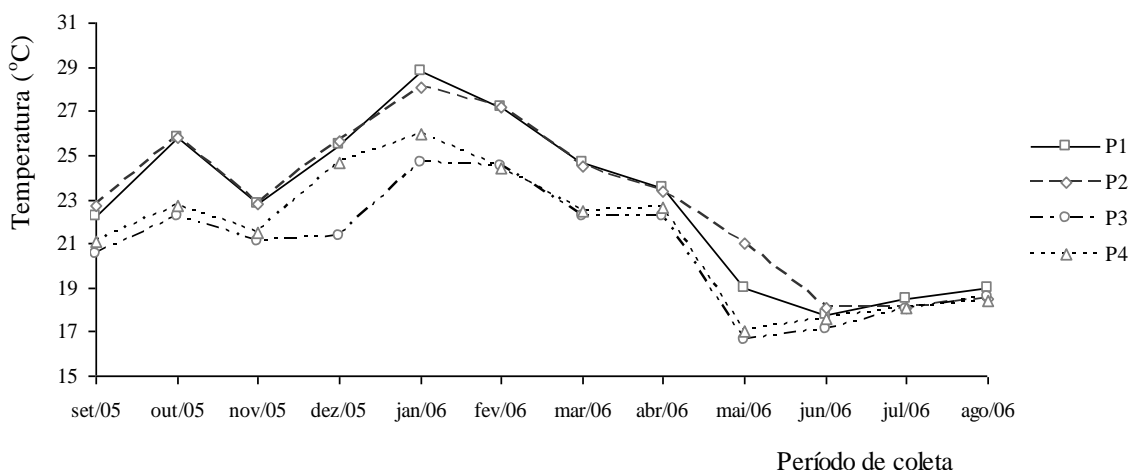


FIGURA 14: Variação da temperatura (°C) da água nos pontos amostrados

Em P1 e P2, as variações de temperatura foram muito semelhantes. O mesmo ocorreu entre P3 e P4. Isso pode ser explicado devido às características distintas desses ambientes. Em P1 e P2 o tempo de retenção da água é mais elevado, ou seja, apresentam características lênticas, P3 e P4 apresentam fluxo contínuo de água, característica de ambientes lóticos.

Durante o inverno, a temperatura manteve-se abaixo de 20°C, nos quatro pontos amostrados, permanecendo mais elevada na primavera e o verão, chegando a alcançar

28,8°C em P1 (janeiro/06). O P3 apresentou comparativamente aos demais pontos avaliados, a temperatura mais baixa (16,6°C) no inverno/2006.

A temperatura máxima registrada em P1 e P2 foi em janeiro/06. Esse período coincidiu com a maior densidade de células de cianobactérias (421 cel mL<sup>-1</sup>) encontradas em P1. MARQUES (2006) verificou aumento na densidade de células de cianobactérias no reservatório da UHE, no médio Tocantins - TO, no período onde a temperatura da água foi mais elevada. MATSUZAKI *et al.* (2004) estudando a comunidade fitoplanctônica em um lago recreacional de São Paulo também observaram que nos períodos de temperaturas elevadas a densidade de células foi maior do que a encontrada em outros períodos. Em P3 e P4 as maiores densidades de células de cianobactérias, também foram encontradas no período de temperaturas elevadas (outubro/05).

Em P2 não houve um padrão que explique a relação entre a densidade de células de cianobactérias em função da variação da temperatura, visto que a densidade de células oscilou mesmo em meses que ocorreram temperaturas semelhantes. Possivelmente outros fatores devem ter influenciado na densidade de células. Segundo MARGALEF (1983), a temperatura, aliada a fatores tais como disponibilidade de nutrientes, aumentaria a taxa de crescimento do fitoplâncton.

De acordo com YUNES (2002), a temperatura mínima para o surgimento das florações de cianobactérias é de 20°C; porém, o surgimento desses organismos depende mais da radiação solar do que da temperatura do ambiente, uma vez que existem espécies que mesmo em épocas de baixas temperaturas, associadas a altas incidências luminosas, são capazes de se desenvolver.

A maioria das cianobactérias apresenta maior crescimento em temperaturas entre 15 a 30°C e atinge sua taxa de crescimento máxima em temperaturas acima dos 25°C (CHORUS e BARTHAM, 1999). A temperatura dos mananciais no período estudado está dentro dessa faixa.

#### 5.2.4 Condutividade elétrica (CE)

A CE apresentou pequena variação nos quatro pontos amostrados (FIGURA 15).

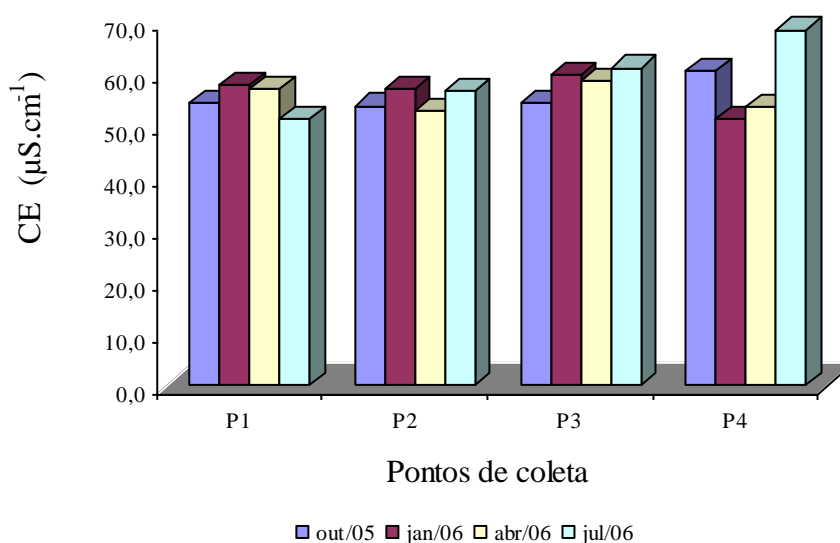


FIGURA 15: Variação da CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nos pontos amostrados

MATSUZAKI *et al.* (2004) relata que os valores elevados de CE da água estão relacionados à ressuspensão de material do fundo e aumento da taxa de decomposição que tende a liberar maior quantidade de íons na coluna d' água. O maior valor da CE em P4, no mês de julho/06, pode estar relacionado à ressuspensão do material do fundo do Rio Turvo Sujo, no local da coleta, devido à pouca profundidade do local.

A CE pode ser utilizada como um indicador de contaminação de rios, por descarga de esgotos domésticos ou industriais, devido as concentrações de sais minerais presentes. Esse fator está, principalmente, relacionado com cargas orgânicas presentes nos despejos de efluentes (BOLLMANN, 2003).

Segundo BRANCO e SENNA (1996), a precipitação tem influência direta nas concentrações de íons, e o aumento no volume de água da chuva leva a um aumento da CE, visto que a água de chuva carrega uma grande quantidade de íons. Este aumento é mais pronunciado no final do período chuvoso, quando o volume de água diminui e, conseqüentemente, aumenta concentração de íons. Este padrão, entretanto, não foi observado nos pontos amostrados, durante o período de estudo. Em dois dos três pontos amostrados (P3 e P4) os maiores valores de CE foram registrados no mês de julho/06, período de menor índice pluviométrico na região.

Os padrões de variação da CE, geralmente, estão relacionados com fatores locais, tais como tipo de substrato, relevo, composição do solo e vegetação marginal. KRUPEK (2006), em estudo realizado em riachos pertencentes a Bacia do Rio das Pedras, encontrou

elevados valores de CE, associados aos solos que circundam os corpos d'água e ao relevo acidentado, o que provocou maior aporte de sedimentos para a água.

### 5.2.5 Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

A FIGURA 16 apresenta a variação da concentração de  $\text{NO}_3^-$  nos pontos de coleta entre os meses de maio/05 a julho/06.

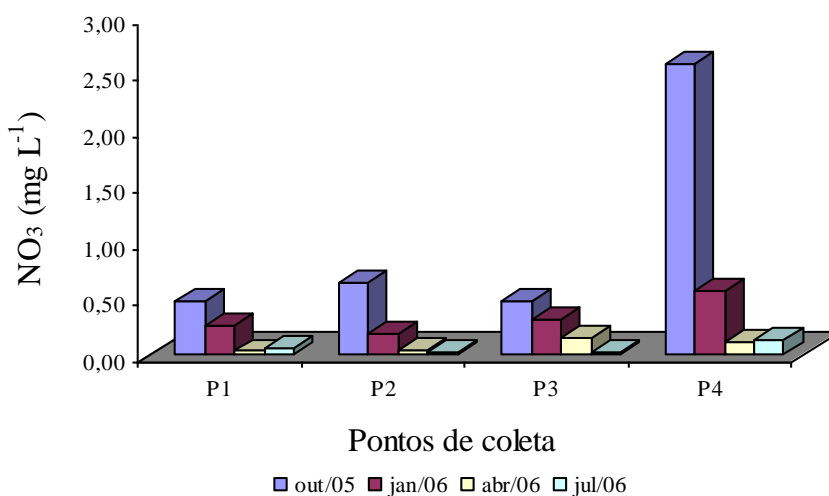


FIGURA 16: Variação temporal da concentração de  $\text{NO}_3^-$  nos pontos amostrados

O nível máximo de  $\text{NO}_3^-$  foi de  $2,57 \text{ mg L}^{-1}$ , registrado em P4, em outubro/2006. Nos demais pontos, durante o período de estudo, as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  mantiveram-se abaixo de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ .

Em geral, águas pouco impactadas tendem a apresentar baixo teor de  $\text{N}_{\text{total}}$  e as formas predominantes de nitrogênio ajudam a fornecer informações sobre o grau de poluição.

O  $\text{NO}_3^-$  é a principal forma de nitrogênio encontrado nas águas. Concentrações de  $\text{NO}_3^-$  superiores a  $5 \text{ mg L}^{-1}$  demonstram condições sanitárias inadequadas, pois as principais fontes são os dejetos humanos e animais. De acordo com MATOS (2001), em águas superficiais, a menos que haja poluição excessiva, raramente a concentração de nitrato excede  $5 \text{ mg L}^{-1}$ .

Segundo PRADA e OLIVEIRA (2006), nutrientes orgânicos e inorgânicos estão em formas e quantidades variáveis no ambiente, sendo transportados para fundo de rios e lagos por sedimentação e devido a vários processos mecânicos, físicos, químicos e biológicos, os nutrientes podem retornar à coluna d'água.

Verificou-se que nos quatro pontos amostrados, a concentração de  $\text{NO}_3^-$  foi maior nos meses de setembro/outubro/novembro/06, podendo estar relacionado com o início do período chuvoso, pois de acordo com OVERBECK (1989), compostos de nitrogênio podem ser carreados direto de áreas terrestres para ecossistemas aquáticos, aumentando suas concentrações na água dependendo das condições meteorológicas do local, principalmente, das precipitações. Em P4, a elevada concentração de nitrato encontrada em outubro pode ter contribuído para o aumento da densidade de células de cianobactérias durante o período de estudo. No entanto, o mesmo não foi observado para P3 e P4, visto que no mês de novembro as densidades de células foram baixas nesses pontos, podendo ser atribuída a elevada precipitação ocorrida nesse período.

De acordo com ESTEVES (1988), os teores de OD exercem uma influência direta nas formas de nitrogênio predominantes na água. Uma maior oxigenação da coluna d'água promove a oxidação do nitrogênio amoniacal em nitrito, que posteriormente é oxidado em nitrato. Em dezembro e janeiro/05, apesar dos elevados teores de OD, as concentrações de nitrato foram menores; isto pode ter como causa tanto a menor disponibilidade de nitrito a ser oxidado, quanto um possível aumento na assimilação deste nutriente pelo fitoplâncton.

#### 5.2.6 Amônio ( $\text{NH}_4^+$ )

A FIGURA 17 apresenta a variação da concentração de  $\text{NH}_4^+$  presente nos pontos amostrados, entre os meses de maio/05 a julho/06.

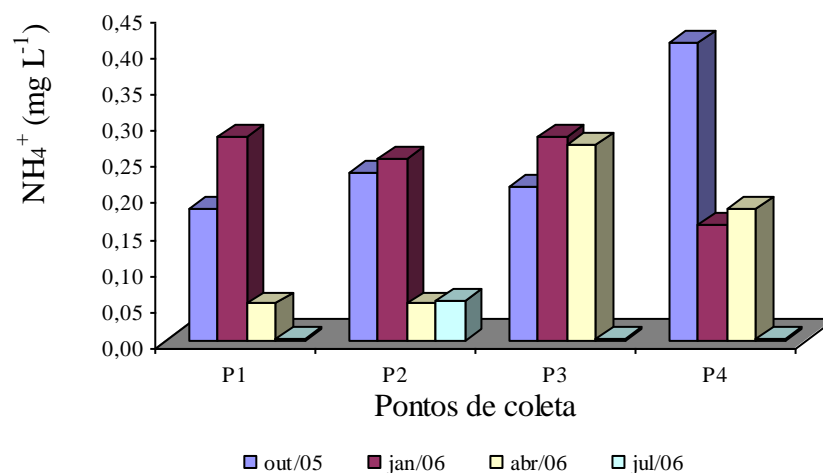


FIGURA 17: Variação temporal da concentração de amônio nos pontos amostrados

As concentrações de  $\text{NH}_4^+$  nos pontos de coleta foram inferiores a de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  durante todos os meses estudados. Em P1, P2 e P3 as maiores concentrações de amônio ocorreram durante o período chuvoso. A maior concentração registrada foi em outubro/2005 em P4 ( $0,41 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Segundo WETZEL (2001), o amônio é rapidamente assimilado, o que o torna fonte mais importante de nitrogênio para o fitoplâncton, visto que o nitrato tem que ser reduzido a amônio antes de ser assimilado pelos produtores primários, com gasto de energia maior do que a necessária para assimilar o amônio. Em P2, a menor concentração de amônio ocorreu no mês de julho, possivelmente devido ao aumento na assimilação de  $\text{NH}_4^+$  pelo fitoplâncton, pois nesse mês, foi registrada a maior densidade de células de cianobactérias ( $842 \text{ cel mL}^{-1}$ ).

#### 5.2.7 Nitrogênio total ( $\text{N}_{\text{total}}$ )

A FIGURA 18 apresenta a variação da concentração de  $\text{N}_{\text{total}}$  nos pontos amostrados, entre os meses de maio/05 a julho/06.

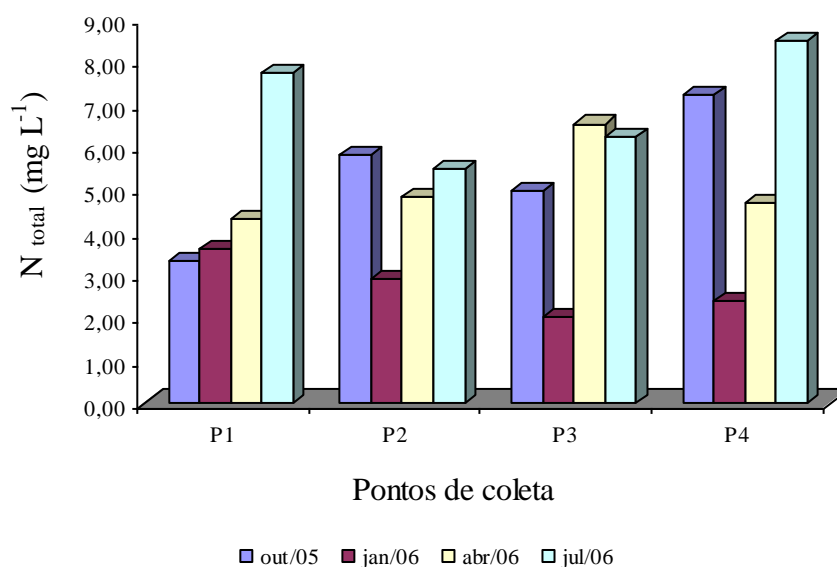


FIGURA 18: Variação temporal da concentração de  $N_{\text{total}}$  nos pontos amostrados

O aumento das concentrações de nutrientes na água, principalmente os compostos nitrogenados e fosfatados, resultam no aumento da produção biológica em rios, lagos e reservatórios, contribuindo para a incidência de florações de cianobactérias e microalgas (ARRUDA, 1997).

Trabalhos realizados em ambientes continentais de regiões temperadas e tropicais mostraram que tanto o nitrogênio quanto o fósforo limitam o crescimento do fitoplâncton (MOSS 1969; ELSER *et al.*, 1990). Outros trabalhos têm evidenciado que as cianobactérias são mais eficientes na competição por nitrogênio, inclusive as espécies não fixadoras de nitrogênio, do que por fósforo (SMITH, 1983) e, que fatores como temperatura e luz podem influenciar a eficiência das cianobactérias na assimilação destes nutrientes (TILMAN *et al.*, 1981).

Nos quatro pontos amostrados, verificou-se aumento na concentração do  $N_{\text{total}}$  nos meses de menor precipitação. A menor concentração de  $N_{\text{total}}$  foi registrada em fevereiro/06 em P3 (2,03  $\text{mg L}^{-1}$ ) e a concentração mais elevada foi registrada em julho/06, em P4 (8,47  $\text{mg L}^{-1}$ ). A dinâmica de nutrientes difere nos ambientes lênticos e lóticos. P1 e P2 são considerados ambientes lênticos, pois nesses pontos, a água não apresenta movimentos unidirecionais significativos. Os pontos P3 e P4 apresentam características de ambientes lóticos, por apresentarem fluxo de água permanente. A escala temporal e espacial dos fenômenos que ocorrem em ambientes lênticos e lóticos é bastante distinta. Como

consequência, os processos físicos, químicos e biológicos apresentam características, intensidades e importâncias também bastante diferenciadas. (NOGUEIRA, 1991).

### 5.2.8 Fósforo total

A FIGURA 19 apresenta as variações da concentração do  $P_{total}$  nos pontos amostrados entre os meses de outubro/2005 a julho/06.

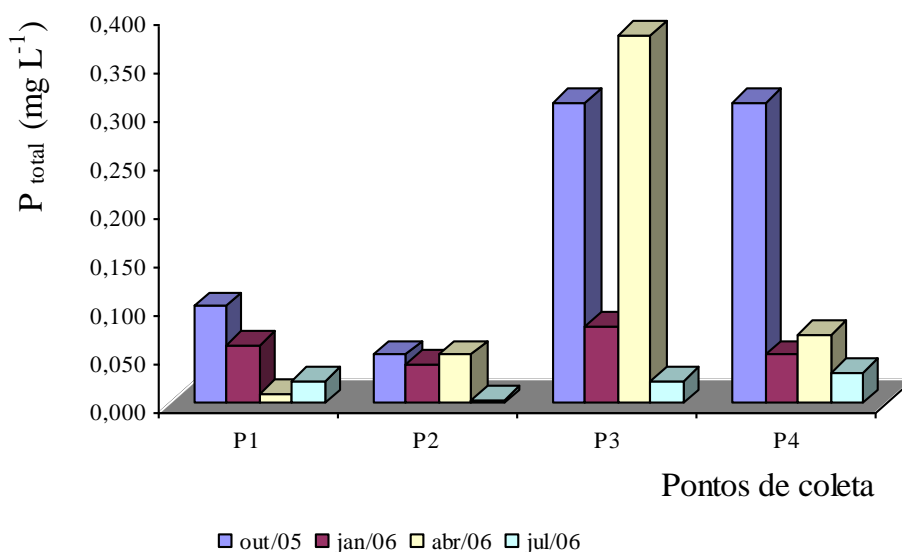


FIGURA 19: Variação temporal da concentração de  $P_{total}$  nos pontos amostrados

Nos pontos P2, P3 e P4, a menor concentração de  $P_{total}$  registrada foi no mês de julho/06. Em P1, a menor concentração foi observada no mês de abril/06 ( $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ ). Foi observada grande variação temporal nas concentrações de  $P_{total}$  em P3 e P4. A maior concentração em P3 alcançou  $0,38 \text{ mg L}^{-1}$  (abril/06) e a menor  $0,022 \text{ mg L}^{-1}$  de  $P_{total}$  (julho/06). Em P4 a concentração máxima foi de  $0,31 \text{ mg L}^{-1}$  (outubro/06) e a mínima de  $0,032 \text{ mg L}^{-1}$  de  $P_{total}$  (julho/06).

Na maioria dos meses estudados a concentração de  $P_{total}$  estava acima do recomendado pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), que estabelece até  $0,030 \text{ mg L}^{-1}$  em ambientes lênticos e até  $0,050 \text{ mg L}^{-1}$  em ambientes intermediários, com tempo de residência entre dois e 40 dias para o enquadramento na classe II.

Esses resultados podem ser decorrentes de diversos fatores, tais como o revolvimento do sedimento que contribui para o retorno dos nutrientes à coluna d'água.

Fatores ambientais como a temperatura, pH, condições redox e atividades biológicas, influenciam fortemente o ciclo do fósforo entre o sedimento e a coluna d'água. Organismos vivos, principalmente as bactérias, algas bentônicas, macrófitas e invertebrados bentônicos exercem influência nos processos do ciclo de nutrientes (BORGES, 1998).

O fósforo é originado naturalmente da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica. A origem antrópica deve-se a despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. O fósforo desempenha importante papel no processo de eutrofização dos rios e lagos e sua concentração em excesso pode levar a uma alta produção de fitoplâncton na água (MACEDO, 2001).

A concentração do fosfato solúvel reativo ou ortofosfato tem sido determinada e relacionada com o crescimento do fitoplâncton, uma vez que essa fração do fósforo total está diretamente disponível para ser absorvida. Entretanto, já foi demonstrado que a reciclagem das moléculas de fosfato, dentro da comunidade fitoplantônica, é extremamente rápida e que o fosfato liberado pela degradação de substâncias orgânicas é reabsorvido por bactérias e microalgas mais rapidamente do que a capacidade analítica de detectá-lo (CHORUS e BARTRAM, 1999). Várias espécies de cianobactérias são capazes de armazenar nutrientes, como o fósforo, além de suas necessidades imediatas quando estes são abundantes no meio. O nutriente armazenado é utilizado, posteriormente, quando a disponibilidade no ambiente não for adequada. Assim, são capazes de manter a multiplicação de celular e o crescimento por algumas gerações, mesmo em baixas concentrações de fósforo (CHORUS e BARTRAM, 1999).

De acordo com MARQUES (2006), uma das principais fontes de fósforo no ambiente aquático é a entrada desse nutriente devido ao escoamento superficial da bacia de drenagem. O autor relata que no reservatório da usina hidroelétrica Luis Eduardo Magalhães, no médio Tocantins – TO foi constatado a elevação da concentração de fósforo no ápice do período chuvoso. No presente estudo, não houve correlação entre a concentração de fósforo e o período chuvoso. Nos mananciais estudados a concentração mais elevada de fósforo foi registrada em outubro/05 em P4 (FIGURA 19) e essa concentração pode estar associada a intervenção do manancial realizado pelo SAAE de Viçosa, que com o objetivo de desassorear trecho do Rio Turvo Sujo amostrado, onde é feita a captação de água, provocou um aporte de sedimentos para o leito do rio e a solubilização de nutrientes, dentre eles o P.

O fósforo aplicado na agricultura, na forma de ortofosfato, pode ser encontrado no solo, devido ao uso de fertilizantes (SILVA, 1997). Particularmente, na bacia do rio Turvo Sujo, os solos são ocupados predominantemente por pastagens e, em menor escala, com lavouras de café, milho e feijão que demandam o uso de fertilizantes. Contribuições de fosfatos também podem ocorrer devido a descarga de esgotos sanitários e restos de comida lançados dentro dos corpos hídricos. O fosfato também pode ser encontrado em sedimentos de fundo e em lodos, ambos na forma inorgânica precipitada e/ou incorporada à matéria orgânica (APHA, 1995).

Vários fatores estão associados à disponibilidade de fósforo nos ambientes, como as presenças de íons de ferro, alumínio, sulfeto, entre outros, que são capazes de imobilizá-los por meio de precipitação. Esses processos dependem ainda de outros fatores físicos e químicos como a concentração de OD e o pH (ESTEVEZ, 1988).

Segundo ESTEVES (1988), baixas concentrações de oxigênio, devido à forte estratificação térmica, permite que o hipolímnio torne-se reduzido, favorecendo a liberação de fósforo para a coluna d'água. De acordo com RAMIREZ (1996), o aumento das concentrações de fósforo no fundo de rios e lagos podem ser explicado pela sedimentação de partículas "algais" e pela sedimentação do fósforo particulado.

JACOBY *et al.* (1982) estudaram a influência das macrófitas como fonte de nutrientes em lagos. A retenção e a decomposição destas plantas no sedimento e a posterior liberação do fósforo em condições de pH mais elevado confirmam a contribuição destas plantas, como fonte de nutrientes para a coluna d'água, acelerando o processo de eutrofização. No presente estudo, mesmo tendo sido verificado a presença de macrófitas aquáticas em P1 e P2, durante os meses de março, abril e maio/05, não foi verificado aumento nas concentrações de fósforo. É possível que no estágio de desenvolvimento em que se encontravam, essas macrófitas estavam consumindo nutrientes presentes no meio e como a Universidade Federal de Viçosa realiza remoções periódicas dessas macrófitas não ocorre a decomposição dessas plantas, procedimento que evita a liberação de nutrientes para a água.

### 5.2.9 Alcalinidade

Em águas naturais, onde há abundante florescimento da comunidade fitoplanctônica e, em conseqüência, uma intensa atividade fotossintética, podem ocorrer valores elevados de alcalinidade na água.

Foi observado que as variações ocorridas na alcalinidade nos pontos amostrados apresentaram pequenas oscilações (FIGURA 20).

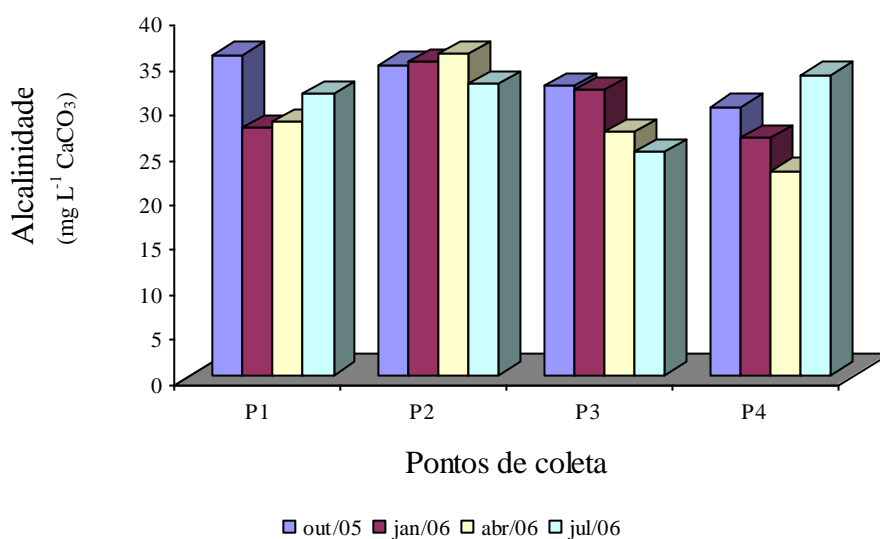


FIGURA 20: Variação temporal da alcalinidade nos pontos amostrados

A alcalinidade mais elevada registrada foi de 35,9 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, em abril/06, em P2, e a mínima de 22,8 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, em abril/06, em P4. Essa elevação pode estar associada a ressuspensão de sedimentos com maior valor de alcalinidade. Com a chegada das chuvas, a matéria orgânica é carregada, elevando a concentração iônica. ESTEVES (1988) relata que em períodos de elevação do nível da água, há aumento da concentração de matéria orgânica dissolvida e particulada, provenientes da entrada de águas superficiais, de águas de tributários e da ressuspensão do sedimento. No presente estudo não houve muita variação nessa variável. Em P4, no mês de julho, a ressuspensão de sedimento no fundo, no momento da coleta das amostras de água pode ter sido uma das razões para a obtenção de maiores valores do que os obtidos no presente ponto em outros períodos do ano.

### 5.3 Avaliação da qualidade da água (Resolução CONAMA 357/05)

Os resultados das variáveis utilizadas para avaliar a condição da qualidade das águas dos mananciais do município de Viçosa, foram comparados com os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

Os requisitos para Classe 2, comparados com os valores obtidos no presente trabalho resultaram na seguinte análise:

#### ➤ pH

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, em qualquer amostra, o pH deve estar entre 6,0 a 9,0. Os pontos amostrados apresentaram valores dentro dos limites propostos pela Resolução (TABELAS 1A, 2A, 3A e 4A - ANEXO 1).

#### ➤ Oxigênio dissolvido (OD)

Segundo a Resolução CONAMA 357/05, em qualquer amostra, o OD não deve ser inferior a 5,0 mg L<sup>-1</sup>. Em todos os pontos amostrados, no período estudado, as concentrações de OD (TABELAS 1A, 2A, 3A e 4A - ANEXO 1) apresentaram-se com valores abaixo dos padrões apresentados na Resolução.

#### ➤ Fósforo total

Na Resolução CONAMA 357/05 está estabelecido que, para cursos d'água classe 2, de no máximo, a concentração de P<sub>total</sub> seja até 0,020 mg L<sup>-1</sup>, para ambiente lântico e 0,100 mg L<sup>-1</sup> para ambiente lótico. Em P1 e P2, considerados ambientes lânticos, apresentaram valores acima do limite estabelecido nesta Resolução. Em P1, a concentração de P<sub>total</sub> na água esteve acima do limite, nos meses de setembro, outubro e novembro/05 (0,10 mg L<sup>-1</sup>), em dezembro/05, janeiro e fevereiro/06 (0,06 mg L<sup>-1</sup>) e nos meses de junho, julho e agosto/06 (0,22 mg L<sup>-1</sup>). Em P2, a concentração de P<sub>total</sub> na água esteve acima do limite, nos meses de setembro, outubro e novembro/05 (0,05 mg L<sup>-1</sup>), em dezembro/05, janeiro e fevereiro/06 (0,04 mg L<sup>-1</sup>) e nos meses de março, abril e maio/06 (0,05 mg L<sup>-1</sup>).

Em P3 e P4 (ambientes lóuticos), as concentrações de  $P_{total}$  na água estiverem, durante todo o período de monitoramento, acima do estabelecido na Resolução. Em P3, a concentração de  $P_{total}$  variou entre 0,022 e 0,38  $mg L^{-1}$  e, em P4, variou entre 0,05 a 0,31  $mg L^{-1}$ .

As concentrações de  $P_{total}$  em todos os pontos amostrados durante o período estão apresentadas TABELAS 1A, 2A, 3A e 4A (ANEXO 1).

#### ➤ **Nitrato**

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, a concentração de  $NO_3^-$  na água não deve exceder a 10  $mg L^{-1}$ . Em todos os pontos amostrados, as concentrações de  $NO_3^-$  foram abaixo do valor estabelecido pela Resolução (TABELAS 1A, 2A, 3A e 4A - ANEXO 1), ou seja, menores que 10  $mg L^{-1}$ .

#### ➤ **Densidade de células de cianobactérias**

A densidade de cianobactérias deve ser até 50.000  $cel mL^{-1}$ , segundo a Resolução CONAMA 357/05. Os valores registrados, em todos os pontos amostrados, foram abaixo do valor estabelecido pela Resolução.

### **5.4 Variáveis biológicas**

#### 5.4.1 Análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica

Durante o período de estudo foram identificados 18 táxons, totalizando quatro ordens: Chroococcales (11,1%); Oscillatoriales (38,9%); Nostocales (44,4%) e Stigonematales (5,6%). Nostocales e Oscillatoriales foram as ordens mais representadas, com 8 e 7 táxons, respectivamente, seguida da ordem Chroococcales (2) e Stigonematales (1). Na ordem Nostocales foram identificados três gêneros, representados pelas seguintes espécies: *Anabaena ambigua*, *Anabaena inaequalis*, *Nostoc* cf. *muscorum*, *Nostoc* cf. *carneum*, *Nostoc microscopicum*, *Nostoc commune*, *Nostoc* sp. e *Calothrix braunii*. Para a ordem Oscillatoriales foram identificados cinco gêneros representados pelas espécies *Geitlerinema splendidum*, *Oscillatoria subbrevis*, *Limnothrix* sp., *Phormidium granulatum*,

*Phormidium* cf. *retzii*, *Pseudanabaena galeata* e *Pseudanabaena catenata*. A ordem Chroococcales foi representada por dois gêneros com uma espécie em cada gênero. A ordem Stigonematales registrou apenas uma espécie não identificada do gênero *Stigonema* sp.

A composição das comunidades fitoplanctônicas é muito variada nos ambientes aquáticos e, tem como característica refletir toda e qualquer alteração ambiental sofrida (MARQUES, 2006). Segundo REYNOLDS (1987), a composição do fitoplâncton é influenciada por inúmeros fatores bióticos e abióticos, como por exemplo, a mistura da coluna d'água, luz, temperatura, macro e micronutrientes, substâncias tóxicas e microrganismos parasitas e herbívoros.

De acordo com CALIJURI (1999), alterações na composição e na abundância da comunidade fitoplanctônica podem ser provocadas pela variabilidade ambiental que, atuando com frequências e intensidades variáveis, podem apresentar-se como perturbação que poderão modificar o caráter qualitativo e quantitativo da biota, selecionando espécies através de mecanismos competitivos.

A TABELA 1 apresenta a relação dos táxons identificados em P1 durante o período de monitoramento (setembro/05 a agosto/06).

TABELA 1: Ocorrência de cianobactérias em P1

	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
<b>CHROOCOCCALES</b>												
<i>Synechococcus nidulans</i>		x	x		x		x		x			x
<b>OSCILLATORIALES</b>												
<i>Geitlerinema splendidum</i>	x				x			x				x
<i>Phormidium granulatum</i>	x	x	x		x	x	x			x	x	x
<i>Phormidium</i> cf. <i>retzii</i>					x						x	x
<i>Pseudanabaena catenata</i>		x	x		x	x	x	x		x	x	x
<b>NOSTOCALES</b>												
<i>Anabaena ambigua</i>	x	x			x	x	x	x				
<i>Anabaena inaequalis</i>		x	x	x	x		x	x				
<i>Nostoc</i> cf. <i>muscorum</i>	x			x	x					x	x	x
<i>Nostoc</i> cf. <i>carneum</i>		x	x			x			x		x	
<i>Nostoc microscopicum</i>				x	x				x			
<b>STIGONEMATALES</b>												
<i>Stigonema</i> sp.						x						

Em P1 foi registrada a ocorrência de 11 espécies, sendo as de maior frequência *Phormidium granulatum* e *Pseudanabaena catenata*. O gênero *Nostoc* foi o mais representativo, com três espécies. A maior riqueza da comunidade de cianobactérias nesse ponto foi encontrada em janeiro/06, onde foi registrado um total de 9 espécies.

A TABELA 2 apresenta a relação dos táxons identificados em P2, ao longo do período de monitoramento (setembro/05 a agosto/06).

TABELA 2: Ocorrência de cianobactérias em P2

	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
<b>CHROOCOCCALES</b>												
<i>Synechococcus nidulans</i>		x	x			x	x	x	x		x	
<i>Synechocystis cf. aquatilis</i>			x				x					
<b>OSCILLATORIALES</b>												
<i>Geitlerinema splendidum</i>	x				x							
<i>Oscillatoria subbrevis</i>							x				x	x
<i>Phormidium granulatum</i>	x	x	x		x	x				x	x	x
<i>Phormidium cf. retzii</i>				x	x		x					
<i>Pseudanabaena galeata</i>					x	x	x			x	x	x
<i>Pseudanabaena catenata</i>		x	x	x			x	x		x	x	x
<b>NOSTOCALES</b>												
<i>Anabaena ambigua</i>	x	x			x						x	
<i>Anabaena inaequalis</i>						x	x					
<i>Calothrix braunii</i>			x									
<i>Nostoc cf. muscorum</i>		x			x		x	x	x		x	
<i>Nostoc cf. carneum</i>	x	x			x	x						
<i>Nostoc microscopicum</i>						x						
<b>STIGONEMATALES</b>												
<i>Stigonema sp.</i>					x	x			x			

Apesar da proximidade de P2 com P1, foram observadas diferenças na comunidade de cianobactérias dos dois pontos. Em P2 houve maior diversidade taxonômica, sendo encontrado um total de 15 espécies, durante o período de estudo. As espécies de *Synechocystis cf. aquatilis*, *Oscillatoria subbrevis*, *Pseudanabaena galeata*, *Limnothrix sp.*, *Calothrix braunii*, *Nostoc sp.* e *Nostoc commune* estiveram presentes em P2, porém, esses organismos não foram registrados em P1. As espécies que ocorreram com maior frequência em P2 foram as mesmas que ocorreram em P1 (*Phormidium granulatum* e *Pseudanabaena*

*catenata*). O maior número de espécies foi encontrado no verão/06 e o menor no inverno/06.

A TABELA 3 apresenta a relação dos táxons identificados em P3, no período de monitoramento (setembro/05 a agosto/06).

TABELA 3: Ocorrência de cianobactérias em P3

	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
OSCILLATORIALES												
<i>Geitlerinema splendidum</i>	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
<i>Oscillatoria subbrevis</i>					x	x	x	x			x	x
NOSTOCALES												
<i>Calothrix brauni</i>		x		x			x	x				
<i>Nostoc cf. carneum</i>	x			x	x	x		x	x	x	x	x
<i>Nostoc microscopicum</i>		x				x			x	x		x
<i>Nostoc sp.</i>		x					x					
STIGONEMATALES												
<i>Stigonema sp.</i>		x			x	x						

Em P3 houve menor diversidade taxonômica, totalizando 7 espécies filamentosas, duas dessas pertencentes a ordem Oscillatoriales e 5 a ordem Nostocales. A espécie que ocorreu com maior frequência nesse ponto foi *Geitlerinema splendidum*.

A TABELA 4 apresenta a relação dos táxons identificados em P4, no período de monitoramento (setembro/05 a agosto/06).

TABELA 4: Ocorrência de cianobactérias em P4

	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
CHROOCOCCALES												
<i>Synechococcus nidulans</i>		x	x		x			x				
OSCILLATORIALES												
<i>Phormidium granulatum</i>									x	x	x	x
<i>Pseudanabaena galeata</i>	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Limnothrix sp.</i>					x		x	x			x	x
NOSTOCALES												
<i>Anabaena ambigua</i>		x		x	x			x	x	x		
<i>Calothrix braunii</i>		x							x			
<i>Nostoc commune</i>	x			x	x	x			x	x	x	
STIGONEMATALES												
<i>Stigonema sp.</i>								x	x			

Em P4 foram identificadas 8 espécies, sendo que *Pseudanabaena galeata* foi a espécie que ocorreu com maior frequência.

Em P3 e P4 houve menor diversidade taxonômica. Isso pode ter ocorrido devido a velocidade da água. Segundo LAMPARELLI (2004), ambientes com menor velocidade de água tendem a apresentar menor produtividade fitoplanctônica. O gênero *Stigonema*, cuja espécie não foi identificada foi encontrado nos quatro pontos amostrados.

No mês de novembro/05 ocorreu apenas um táxon em P3 (*Geitlerinema splendidum*) e em P4 (*Synechoccus nidulans*)

Numa análise sobre a diversidade fitoplanctônica de um reservatório de usina hidroelétrica no médio Tocantins- TO, MARQUES (2006) verificou um maior número de taxa nos meses de agosto e outubro, reduzindo o número em dezembro, em função da chegada do período chuvoso. No presente estudo observou-se que no mês com maior índice pluviométrico (dezembro/05), o número de táxons por amostra foi baixo. Porém, em janeiro, que a pluviosidade também foi elevada, o número de taxa aumentou. Isso pode está associado a temperaturas mais elevadas ocorridas nesse período. MATSUZAKI *et al.* (2004), estudando um pesqueiro da Região Metropolitana de São Paulo, observaram que nos períodos de temperaturas mais elevadas, principalmente em dezembro, o número de espécies encontradas foi maior do que nos outros períodos. De acordo com CALJURI (1999), variáveis ambientais podem provocar alterações qualitativas e quantitativas na comunidade fitoplanctônica, selecionando espécies através de mecanismos competitivos.

#### 5.4.1.1 Ilustrações dos táxons isolados

As FIGURAS 21, 22, 23 e 24 apresentam as ilustrações referentes aos gêneros/espécies de cianobactérias isoladas e identificadas, nos pontos amostrados.

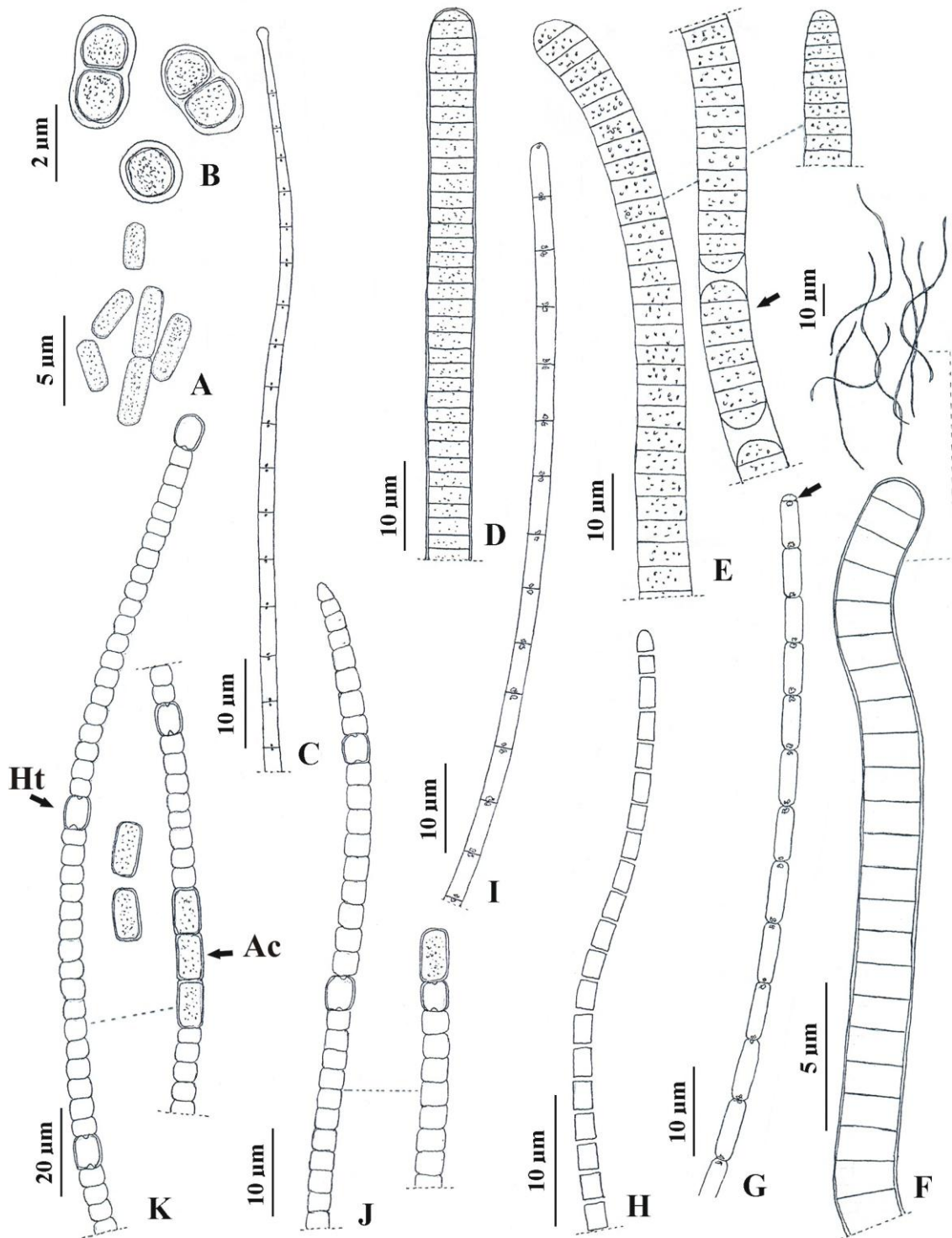


FIGURA 21: Diversidade morfológica de cianobactérias isoladas nos pontos amostrados  
 A - *Synechococcus nidulans*; B - *Synechocystis* cf. *aquatilis*; C - *Geitlerinema splendidum*; D - *Oscillatoria subbrevis*; E - *Phormidium granulatum* – Tricoma com necrídio (seta); F - *Phormidium* cf. *retzii*; G - *Pseudanabaena galeata* – Tricoma com aerótopo polar (seta); H - *Pseudanabaena catenata*; I - *Limnothrix* sp; J - *Anabaena ambigua*; K - *Anabaena inaequalis* – Tricoma com acineto (Ac) e heterocito (Ht).

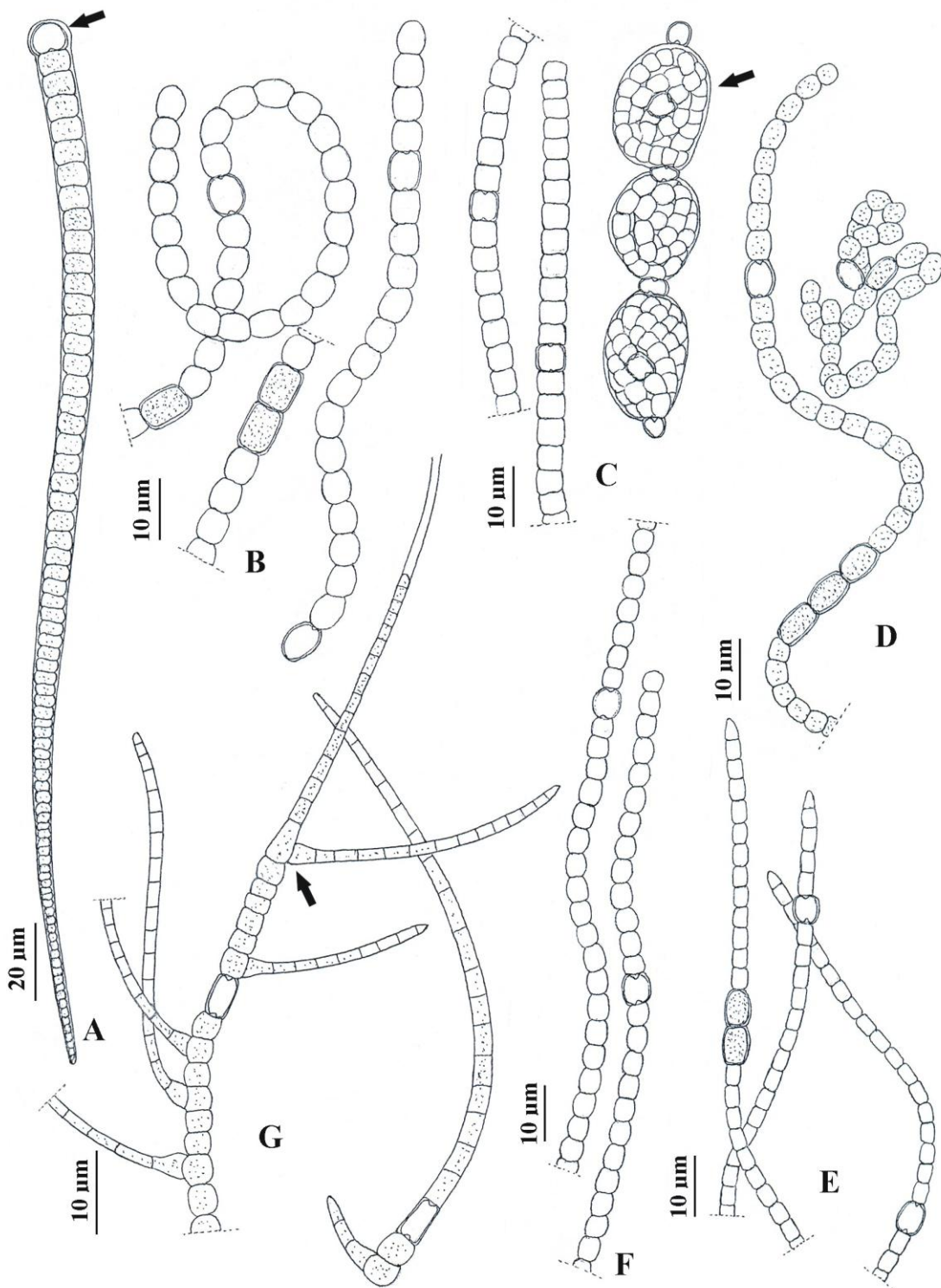


FIGURA 22: Diversidade morfológica de cianobactérias isoladas nos pontos amostrados. A - *Calothrix braunii* – Tricoma com heterocito basal (seta); B - *Nostoc* cf. *muscorum*; C - *Nostoc* cf. *carneum* – Tricomas envolvidos por bainha mucilaginosa (seta); D - *Nostoc microscopicum*; E - *Nostoc* sp.– Tricoma com heterocito intercalar (seta); F - *Nostoc commune*; G - *Stigonema* sp. – Tricoma com ramificação verdadeira (seta).

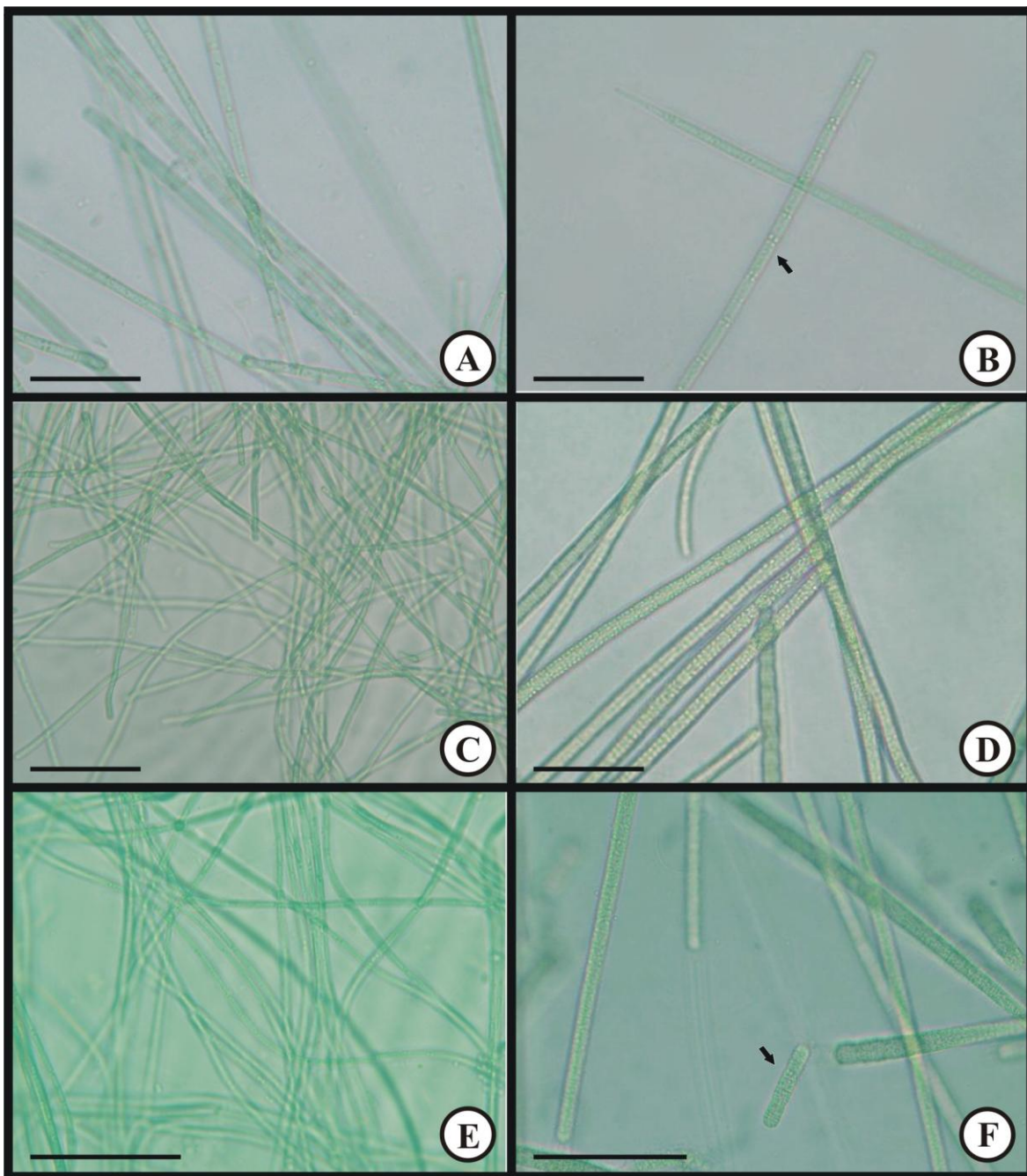


FIGURA 23: Ilustrações dos táxons isolados. A e B - *Geitlerinema splendidum* A – Visão geral dos tricomas; B – Tricomas com grânulos nos septos (seta); C - *Limnothrix* sp.; D - *Phormidium granulatum*; E - *Pseudanabaena galeata* – Visão geral dos tricomas; F - *Phormidium* cf. *retzii* - Tricoma com necrídio (seta). Escalas: Figs. A, B e C = 10  $\mu$ m; Figs. D e E = 20  $\mu$ m; Fig. F = 30  $\mu$ m.

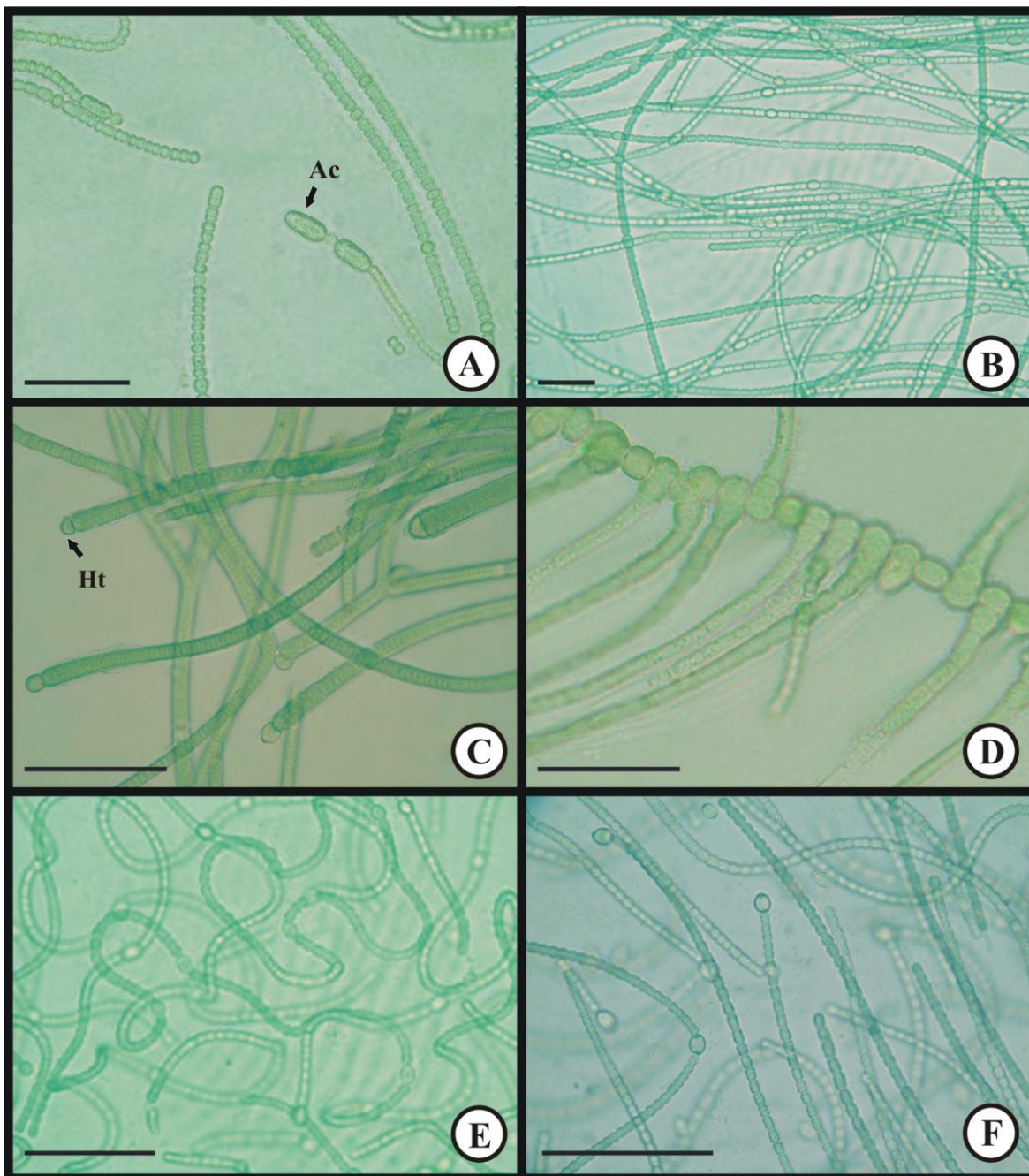


FIGURA 24: Ilustrações dos táxons isolados. A - *Anabaena ambigua* – Tricoma evidenciando acinetos (Ac); B - *Anabaena inaequalis*; C - *Calothrix braunii* – Tricoma com heterocito basal (Ht); D - *Stigonema sp.* – Tricoma com ramificações verdadeiras; E - *Nostoc cf. muscorum*; F – *Nostoc sp.* Ecalas: Figs. A = 30  $\mu\text{m}$ ; B, C e F = 50  $\mu\text{m}$ ; D = 20  $\mu\text{m}$ ; E e F= 100  $\mu\text{m}$ .

#### 5.4.2 Análise quantitativa (cel mL<sup>-1</sup>)

O resultado da análise quantitativa mostrou baixa densidade de células de cianobactérias nos pontos amostrados durante o período. A FIGURA 25 mostra em cada ponto de coleta, a variação do número de células, ao longo do período. A densidade de células nos pontos amostrados foi expressa em número de células por mililitro (cel mL<sup>-1</sup>), conforme estabelecida na Portaria 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2005).

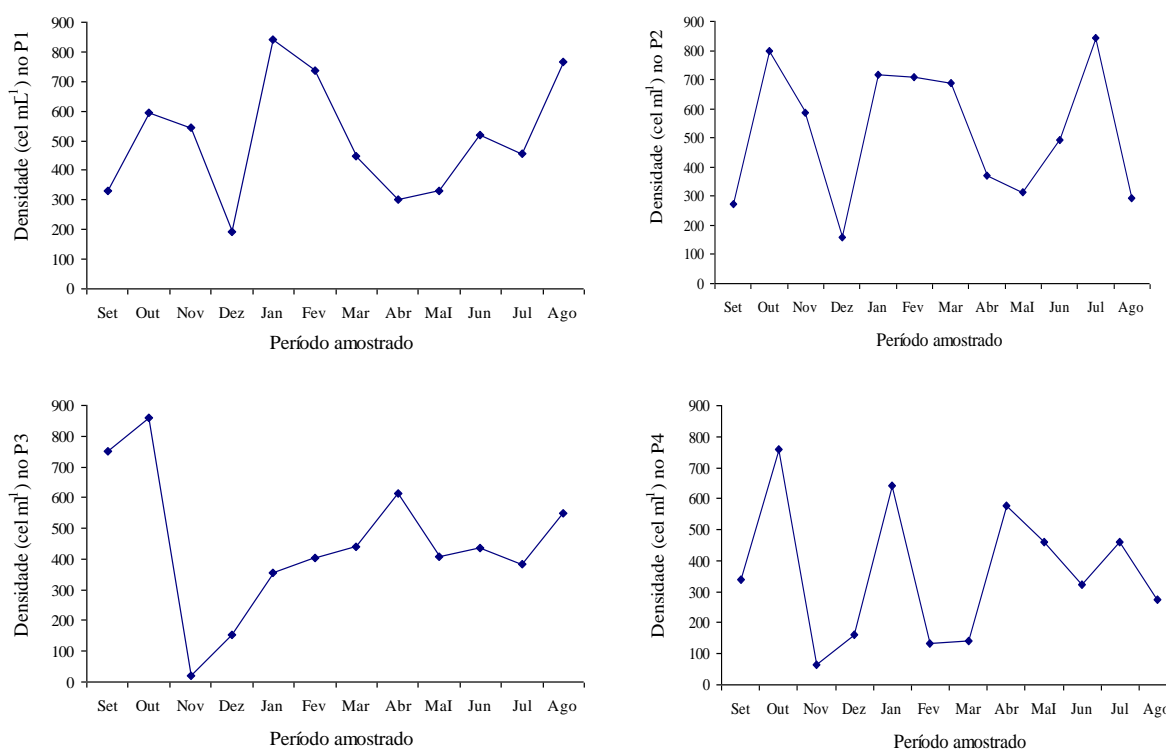


FIGURA 25: Densidade celular das cianobactérias nos pontos amostrados

De acordo com os valores encontrados, observou-se que o número de células de cianobactérias ficou bem abaixo do que estabelece a Resolução CONAMA nº 357/2005 (50.000 cel mL<sup>-1</sup>). Também esteve em conformidade com a Portaria 518/2004, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2005), que estabelece procedimentos para o monitoramento da qualidade da água para consumo humano.

Em P1, a densidade máxima de células ocorreu no mês de janeiro/06, alcançando 842 cel mL<sup>-1</sup> e a menor densidade em dezembro/05 (192 cel mL<sup>-1</sup>). Em P2 a maior densidade de células encontrada ocorreu nos meses de outubro/05 (798 cel mL<sup>-1</sup>) e julho/06

(842 cel mL<sup>-1</sup>). Nesse ponto, também foi observado que em dezembro/06 foi o mês de menor número de células (160 cel mL<sup>-1</sup>). Nos meses de março, abril e maio, em P1 e P2, verificou-se um crescimento excessivo de macrófitas aquáticas (*Salvinia auriculata*) (FIGURA 26).



FIGURA 26: Vista do P1 e P2, mostrando a superfície da água coberta de *Salvinia auriculata*

Este fato pode ter ocasionado a redução do número de células de cianobactérias, visto que essas plantas limitam a entrada da luz solar no ambiente aquático. De acordo com REYNOLDS (1988), a competição por luz é, provavelmente, o fator mais importante para as comunidades fototróficas. No entanto, as cianobactérias possuem pigmentos acessórios necessários à absorção mais eficiente da luz em qualquer habitat.

Em P3, comparativamente aos demais pontos amostrados, verificou-se menores densidades de células. Isso pode ter ocorrido em razão da velocidade da água ser maior nesse ponto.

As maiores oscilações ocorreram em P4, onde a maior densidade ocorreu em outubro/05 e a menor densidade em novembro/05. No mês de outubro, houve uma intervenção do SAAE de Viçosa, durante o desassoreamento do Rio Turvo Sujo, no trecho onde é feita a captação de água para abastecimento (FIGURA 27).



FIGURA27: Intervenção do SAAE, no Rio Turvo Sujo, Viçosa

O aumento na densidade de células pode estar associado a considerável quantidade de sedimentos transportados para o leito do rio pelas chuvas, que ocorreram no período posterior a dragagem (FIGURA 28).



(a)



(b)

FIGURA 28: Aspecto visual do assoreamento do leito do Rio Turvo Sujo (entorno do P4)

De modo geral, durante o período de estudo não foi verificado um padrão regular na distribuição das densidades de células de cianobactérias nos quatro pontos amostrados.

Os valores das contagens de células de cianobactérias ( $\text{cel mL}^{-1}$ ), por espécie e a variação ocorrida no período estudado, em cada ponto, estão disponíveis nas TABELAS 5A, 6A, 7A e 8A (ANEXO 2).

### 5.4.3 Índices biológicos

#### 5.4.3.1 Índice de diversidade específica ( $H'$ )

A diversidade específica foi estimada segundo o Índice de Shannon-Weaver, a partir dos dados de densidade específica. O índice de Diversidade de Shannon prevê que a

diversidade de organismos diminui à medida que diminui a qualidade da água. As variações da diversidade específica ( $\text{bits ind}^{-1}$ ), equitabilidade e riqueza taxonômica em P1, P2, P3 e P4, entre o período de setembro/05 a agosto/06 estão representadas nas FIGURAS 29 a 32. A riqueza taxonômica corresponde ao número de táxon amostra<sup>-1</sup>.

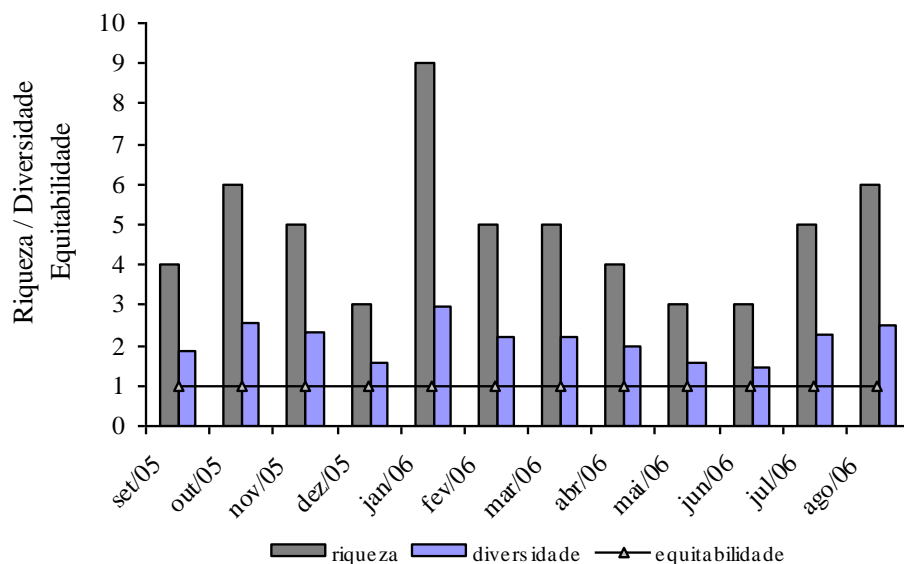


FIGURA 29: Variação da diversidade ( $\text{bits ind}^{-1}$ ), riqueza ( $\text{N}^\circ$  de táxon amostra<sup>-1</sup>) e equitabilidade encontrada em P1

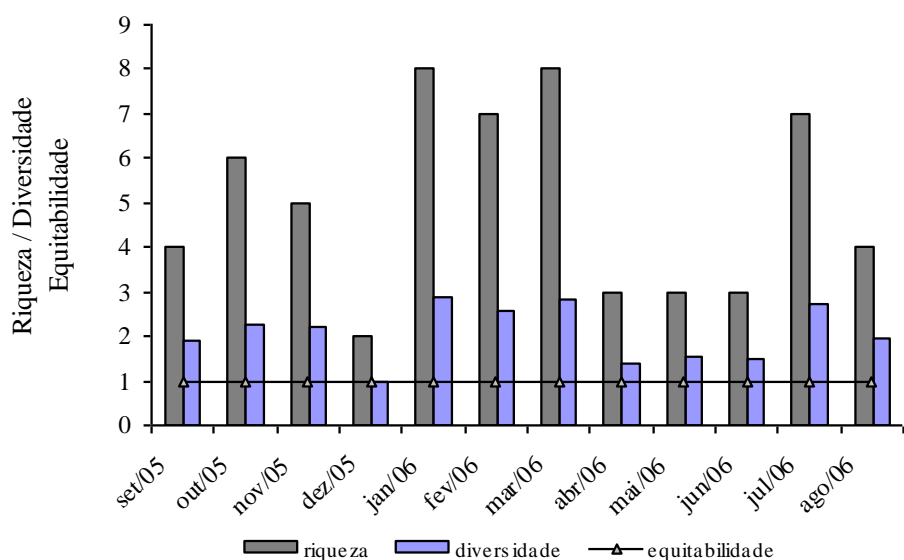


FIGURA 30: Variação da diversidade ( $\text{bits ind}^{-1}$ ), riqueza ( $\text{N}^\circ$  de táxon amostra<sup>-1</sup>) e equitabilidade encontrada em P2

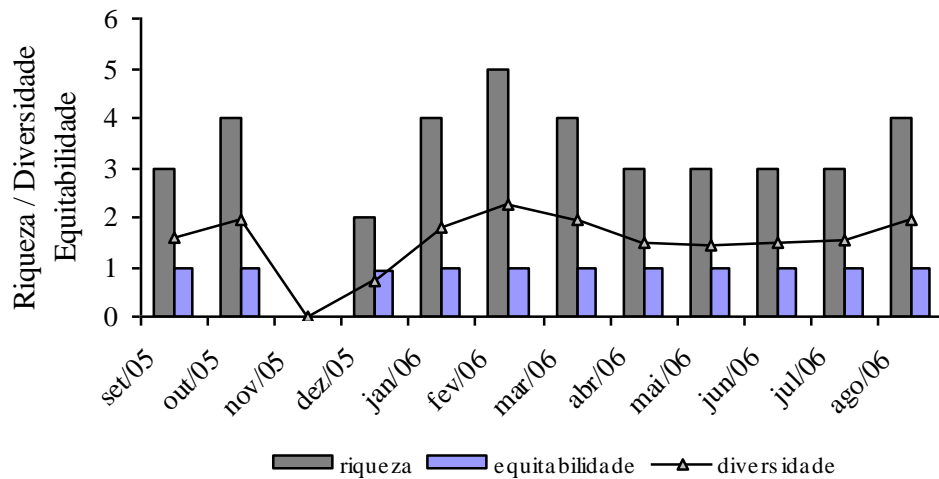


FIGURA 31: Variação da diversidade ( $\text{bits ind}^{-1}$ ), riqueza ( $\text{N}^\circ$  de táxon amostra $^{-1}$ ) e equitabilidade encontrada em P3

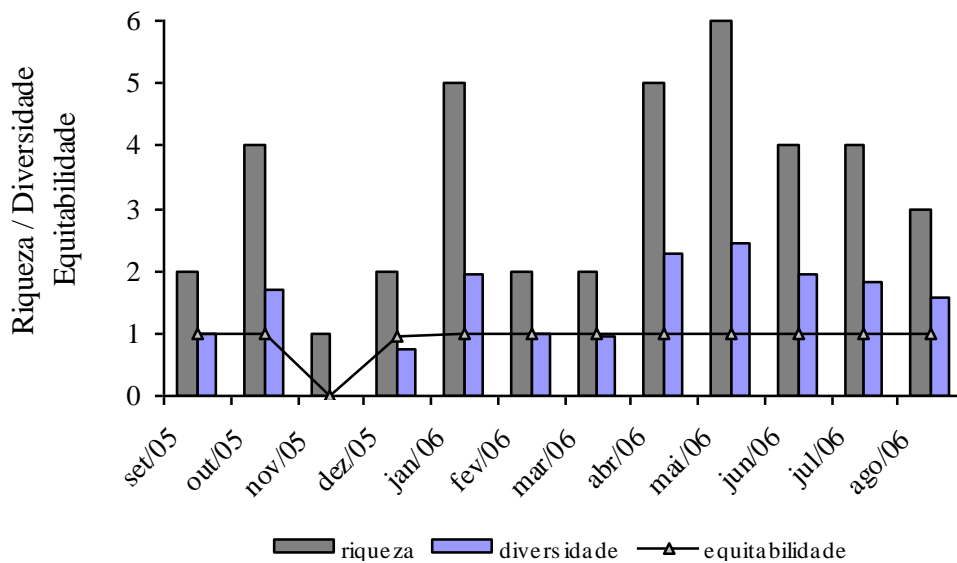


FIGURA 32: Variação da diversidade ( $\text{bits ind}^{-1}$ ), riqueza ( $\text{N}^\circ$  de táxon amostra $^{-1}$ ) e equitabilidade encontrada em P4

Os dados referentes à riqueza, diversidade média e equitabilidade nos pontos amostrados estão disponíveis nas TABELAS 9A, 10A, 11A e 12A (ANEXO 3).

A diversidade variou de 0,71 a 2,98  $\text{bits indivíduo}^{-1}$ . Segundo MARGALEF (1983), em ambientes oligotróficos e turbulentos a diversidade máxima é de 5  $\text{bits/indivíduo}$ .

No estudo realizado na represa Samambaia (GO), NOGUEIRA (1999) encontrou valores baixos de diversidade específica, associado à dominância de algumas espécies. SOUZA e BARBOSA (2005) identificaram a presença da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* no lago Dom Helvécio, no trecho médio do Rio Doce e constataram que, devido ao amplo espectro adaptativo e competitivo, esta espécie pode exercer alterações locais importantes onde ocorre, além de reduzir a diversidade do fitoplâncton, ameaçando inclusive a biodiversidade regional.

A menor oscilação da diversidade ocorreu em P1 (entre 1,43 e 2,98), o que pode indicar que a estrutura da comunidade de cianobactérias é diversificada, caracterizando a ausência de espécies dominantes no sistema, na maior parte do período avaliado, de maneira similar aos estudos realizados por MARQUES, 2006 no reservatório da UHE Lajeado - TO, e por NOGUEIRA (1999), na Represa Samambaia (GO).

#### 5.4.3.2 Índice de equitabilidade (E)

O índice de equitabilidade reflete o grau de organização da comunidade, a variação percentual de seus componentes e o distanciamento dessa comunidade de outra com espécies equitativamente representadas (MARQUES, 2006). Quando as espécies encontram-se uniformemente distribuídas, a equitabilidade aproxima-se de 1. Isso ocorreu em quase todos os pontos amostrados, onde a equitabilidade variou entre 0,94 e 1, possivelmente devido a ausência de espécies dominantes com elevadas densidades.

O índice de equitabilidade de Pielou prevê que ambientes naturais tenham maior equilíbrio, entre as espécies e suas densidades, enquanto em ambientes impactados o equilíbrio, geralmente não ocorre, pois existe abundância de um número pequeno de espécies.

As variações da diversidade específica ( $\text{bits ind}^{-1}$ ), equitabilidade e riqueza taxonômica em P1, P2, P3 e P4, entre o período de setembro/05 a agosto/06 estão representadas nas FIGURAS 29 a 32.

#### 5.4.4 Espécies dominantes e abundantes

Na TABELA 5 são apresentadas as espécies e gêneros de cianobactérias identificadas como abundantes e dominantes, nos pontos amostrados.

TABELA 5: Distribuição das espécies/gêneros de cianobactérias abundantes e dominantes, no período de setembro/05 a agosto/06

	P1	P2	P3	P4
Setembro/05	<i>Anabaena ambigua</i>	<i>Phormidium granulatum</i>	<i>Geitlerinema splendidum</i> <i>Calothrix braunii</i>	<i>Nostoc commune</i> *
Outubro/05	<i>Anabaena ambigua</i> <i>Anabaena inaequalis</i>	<i>Phormidium granulatum</i> , <i>Pseudanabaena catenata</i>	<i>Nostoc microscopicum</i> , <i>Nostoc sp.</i>	<i>Pseudanabaena galeata</i> *
Novembro/05	<i>Anabaena inaequalis</i>	<i>Phormidium granulatum</i> <i>Pseudanabaena catenata</i>	-	-
Dezembro/05	<i>Nostoc microscopicum</i>	<i>Phormidium granulatum</i> *	<i>Calothrix braunii</i> *	<i>Anabaena ambigua</i> *
Janeiro/06	<i>Anabaena inaequalis</i> , <i>Pseudanabaena catenata</i> <i>Nostoc cf. muscorum</i> <i>Nostoc microscopicum</i>	<i>Anabaena ambigua</i> , <i>Phormidium granulatum</i> <i>Stigonema sp.</i>	<i>Stigonema sp.</i> , <i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Anabaena ambigua</i> *
Fevereiro/05	<i>Anabaena ambigua</i> , <i>Nostoc cf. carneum</i> , <i>Pseudanabaena catenata</i>	<i>Anabaena inaequalis</i> <i>Stigonema sp.</i> <i>Pseudanabaena catenata</i>	<i>Stigonema sp.</i> , <i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Nostoc commune</i> *
Março/05	<i>Phormidium granulatum</i> , <i>Synechococcus nidulans</i>	<i>Nostoc cf. muscorum</i> <i>Pseudanabaena catenata</i> <i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Geitlerinema splendidum</i> <i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Pseudanabaena galeata</i> *
Abril/05	<i>Pseudanabaena catenata</i>	<i>Pseudanabaena catenata</i> *	<i>Calothrix braunii</i> , <i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Stigonema sp.</i> , <i>Pseudanabaena galeata</i>
Mai/05	<i>Nostoc microscopicum</i> <i>Synechococcus nidulans</i>	<i>Synechococcus nidulans</i>	<i>Geitlerinema splendidum</i> *	<i>Pseudanabaena galeata</i> , <i>Phormidium granulatum</i>
Junho/05	<i>Phormidium granulatum</i> *	<i>Phormidium granulatum</i> *	<i>Geitlerinema splendidum</i>	<i>Nostoc commune</i> , <i>Pseudanabaena galeata</i> , <i>Phormidium granulatum</i>
Julho/05	<i>Phormidium granulatum</i> , <i>Phormidium cf. retzii</i>	<i>Phormidium granulatum</i> , <i>Anabaena ambigua</i> , <i>Phormidium cf. retzii</i> , <i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Pseudanabaena galeata</i> , <i>Limnothrix sp.</i>
Agosto/05	<i>Phormidium granulatum</i> , <i>Phormidium cf. retzii</i> <i>Pseudanabaena catenata</i>	<i>Phormidium cf. retzii</i> , <i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Nostoc microscopicum</i> , <i>Geitlerinema splendidum</i> <i>Oscillatoria subbrevis</i>	-

\* espécie dominante

Em P1, as espécies de *Anabaena ambigua* e *Anabaena inaequalis* foram abundantes durante os meses de outubro e novembro/05. Nos meses de janeiro e fevereiro/06, *Pseudanabaena catenata* foi a espécie mais abundante e *Synechococcus nidulans* foi abundante durante os meses de março e maio/06. Segundo KOMÁREK (2003), o gênero *Synechococcus* é comum em ambientes meso e eutróficos, mas, raramente

produzem biomassa substancial por se tratar, na maioria das vezes, de organismos com células picoplantônicas. De acordo com CARVALHO (2003), que estudou a comunidade fitoplanctônica de seis reservatórios de São Paulo, algumas espécies de *Aphanocapsa* e *Synechococcus* foram bastante comuns em alguns destes reservatórios.

A ocorrência de cianobactérias heterocitadas e não heterocitadas, em P1, foi alternada, ou seja, nos meses de setembro, outubro e novembro/05 houve abundância dos gêneros *Anabaena* e nos meses de junho e julho/06 os gêneros abundantes foram *Phormidium*, *Pseudanabaena* (homocitadas) e *Synechococcus* (unicelular), sendo que a espécie *Phormidium granulatum* foi dominante no mês de junho.

Segundo HUSZAR *et al.* (2000), quando ocorre sazonalidade entre grupos distintos, isso pode ser explicado devido a variações físicas e químicas da água. Em P2 a espécie *Phormidium granulatum* também predominou, apresentando-se abundante entre os meses de setembro a dezembro/05 e entre junho a agosto/06. Nesse ponto, *Pseudanabaena catenata* foi abundante nos meses de outubro e novembro/05 e dominante no mês de abril e os gêneros heterocitados *Nostoc*, *Anabaena* e *Stigonema* foram mais abundantes nos meses janeiro e fevereiro/06.

Em P3, as espécies abundantes foram *Geitlerinema splendidum*, *Calothrix braunii*, *Nostoc* sp., *Nostoc microscopicum*, *Stigonema* sp. e *Oscillatoria subbrevis*. A espécie *Calothrix braunii* foi dominante no mês de dezembro/05 e *Geitlerinema splendidum* no mês de maio. As espécies mais abundantes em P3 foram *Oscillatoria subbrevis* e *Geitlerinema splendidum*.

Em P4 observou-se a dominância das espécies heterocitadas *Anabaena ambigua*, (dezembro/05 e janeiro/06), *Nostoc commune* (setembro/05 e fevereiro/06) e da espécie homocitada *Pseudanabaena galeata* (outubro/05 e março/06). Nos meses de maio, junho e julho/06 houve abundância de espécies homocitadas (*Pseudanabaena galeata*, *Phormidium granulatum* e *Limnothrix* sp.). Segundo HUSZAR *et al.* (2000) os principais fatores que controlam a dominância de cianobactérias são: baixa turbulência e luminosidade; temperaturas mais elevadas; pH mais alto; baixa concentração de CO<sub>2</sub>; baixa relação N:P; baixa concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido, estratégia de estoque de fósforo, capacidade de minimizar a herbivoria e regulação da flutuação.

## 5.4 Detecção de microcistina

Os testes de detecção da presença ou ausência de microcistina em amostras de cianobactérias mantidas em culturas unialgais apresentou os seguintes resultados (TABELA 6).

TABELA 6: Concentração de microcistina em culturas unialgais

Amostra	Concentração de microcistina ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Resultado
<b>CHROOCOCCALES</b>		
<i>Synechococcus nidulans</i>	<0,05	-
<i>Synechocystis cf. aquatilis</i>	<0,05	-
<b>OSCILLATORIALES</b>		
<i>Geitlerinema splendidum</i>	<0,05	-
<i>Oscillatoria subbrevis</i>	<0,05	-
<i>Phormidium granulatum</i>	<0,05	-
<i>Phormidium cf. retzii</i>	<0,05	-
<i>Pseudanabaena galeata</i>	<0,05	-
<i>Pseudanabaena catenata</i>	<0,05	-
<i>Limnothrix sp.</i>	<0,05	-
<b>NOSTOCALES</b>		
<i>Anabaena ambigua</i>	<0,05	-
<i>Anabaena inaequalis</i>	<0,05	-
<i>Calothrix braunii</i>	<0,05	-
<i>Nostoc cf. muscorum</i>	<0,05	-
<i>Nostoc cf. carneum</i>	> 3,00	+
<i>Nostoc microscopicum</i>	<0,05	-
<i>Nostoc sp.</i>	<0,05	-
<i>Nostoc commune</i>	<0,05	-
<b>STIGONEMATALES</b>		
<i>Stigonema sp.</i>	<0,05	-

Legenda: (+) positivo, (-) negativo

Na FIGURA 33a o tubo 3, de cor azul intensa, indica ausência de microcistina e, em 29b o tubo 3 de cor transparente, indica presença de microcistina, de acordo com o Teste ELISA. A espécie que apresentou resultado positivo para microcistina foi *Nostoc cf. carneum*, encontrada em P1, P2 e P3. O teste foi realizado com a espécie encontrada em P1.

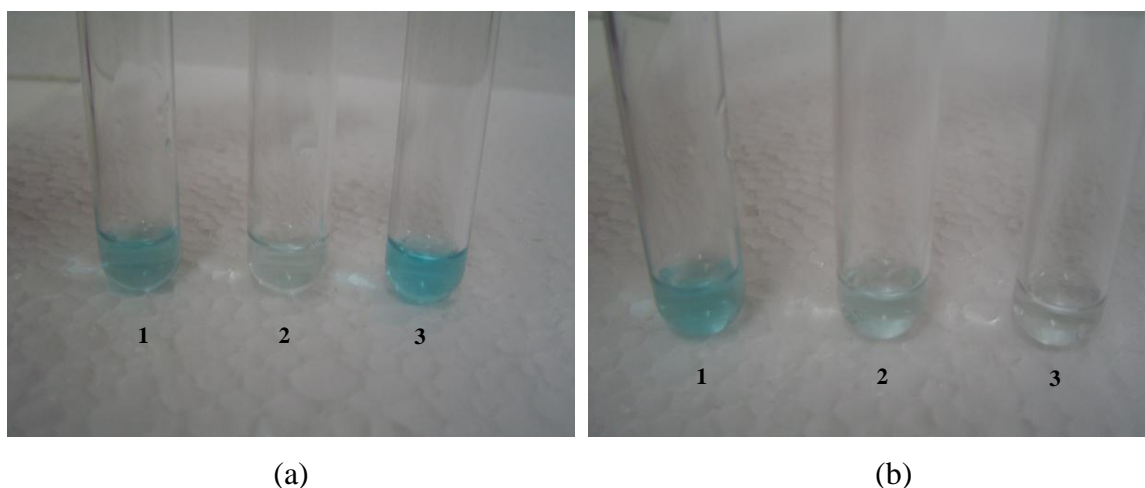


FIGURA 33: (a) Tubo 3, a cor azul indica ausência de microcistina, e (b) tubo 3 coloração transparente indica presença de microcistina (+).

## 5.7 Análise Estatística

### 5.7.1 Análise Canônica de Correspondência (CCA)

O resultado da CCA, que analisou as relações entre o padrão de distribuição das cianobactérias e os fatores ambientais, revelou através do Teste de Monte Carlo que, estatisticamente, nenhum dos eixos foram relevantes (significativos,  $p \leq 0,05$ ). A TABELA 7 mostra os valores encontrados no teste para os quatro pontos amostrados.

TABELA 7: Resultado do Teste de Monte Carlo correspondente ao período de setembro/05 a agosto/06

Ponto	Eixo	Alto valor	Média	Mínimo	Máximo	p
1	1	0,956	0,911	- 0,834	0,998	0,3720
	2	0,976	0,888	- 0,944	0,997	0,0760
	3	0,921	0,868	- 0,787	0,981	0,2680
2	1	0,908	0,874	- 0,843	0,994	0,6067
	2	0,965	0,888	- 0,712	0,993	0,2233
	3	0,930	0,871	- 0,541	0,992	0,2167
3	1	0,986	0,813	- 0,812	0,996	0,0160
	2	0,955	0,812	- 0,888	0,993	0,1040
	3	0,912	0,760	- 0,749	0,989	0,0740
4	1	0,929	0,874	- 0,508	0,985	0,4300
	2	0,905	0,882	0,645	0,986	0,4200
	3	0,974	0,882	- 0,641	0,994	0,1100

p = proporção de corridas randomizadas com correlação de espécie-ambiente maior que ou igual à correlação de espécie-ambiente observada

Embora os resultados mostrados pela CCA tenham sugerido que os fatores estudados não influenciaram a ocorrência de cianobactérias, nos pontos amostrados, verificou-se que em alguns meses do ano, o aumento na densidade de células de cianobactérias coincidiu com condições ambientais favoráveis ao crescimento e estabelecimento desses organismos.

### 5.7.3 Análise de agrupamento

A similaridade entre as espécies de cianobactérias, em cada ponto e entre os pontos amostrados, foi analisada através da análise de agrupamento, utilizando-se o índice de similaridade de Sorensen. A interpretação dos resultados foi realizada pelos métodos de médias não ponderada, UPGMA, expressos na forma de dendrograma, obtido através do programa MVSP.

O resultado da análise de agrupamento entre os pontos mostrou que a maior similaridade de espécies ocorreu entre P1 e P2. A maior similaridade ocorreu no mês de outubro. Das seis espécies encontradas, em cada ponto, cinco foram comuns entre P1 e P2.

A análise de agrupamento das espécies, por pontos amostrados, esta representada nos dendrogramas das FIGURAS 34, 35, 36 e 37.

A FIGURA 34 mostra a similaridade das espécies de cianobactérias em P1, sendo outubro/05 e novembro/05 os meses que apresentaram maior similaridade, com índice igual 0,91, mostrando a ocorrência de 5 espécies de cianobactérias (*Synechococcus nidulans*, *Phormidium granulatum*, *Pseudanabaena catenata*, *Anabaena inaequalis* e *Nostoc cf. carneum*). Esses dois meses apresentaram um índice de similaridade de 0,86 comparando com o mês de março/06.

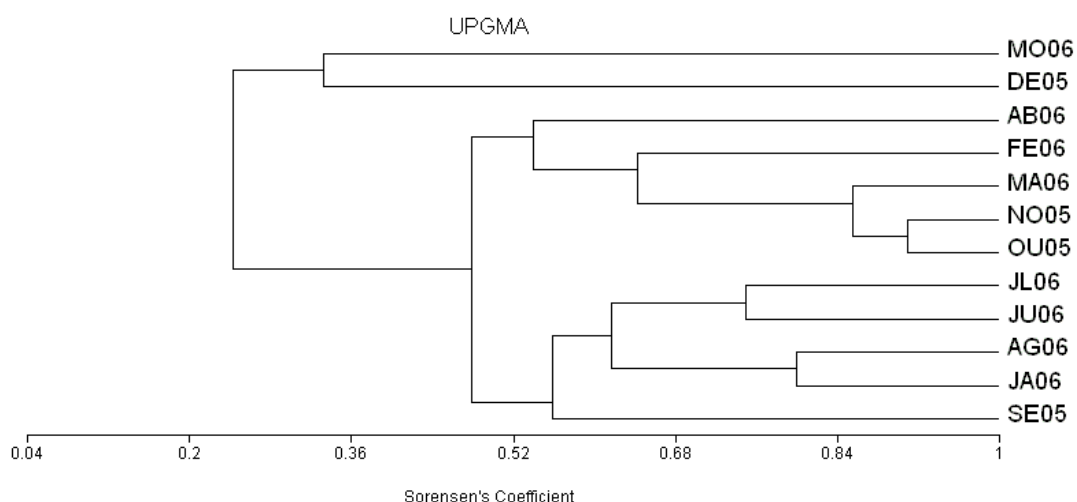


FIGURA 34: Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P1

Legenda: MO06 – maio/06; DE05 – dezembro/05; AB06 – abril/02; FE06 – fevereiro/06; MA06 – março/06; NO05 – novembro/05; OU05 – outubro/05; JL06 – julho/06; JU06 – junho/06; AG06 – agosto/06; JA06 – janeiro/06; SE05 – setembro/05.

A FIGURA 35 apresenta o dendrograma de similaridade das espécies em P2, sendo junho/06 e agosto/06 os meses que apresentaram maior similaridade com índice igual 0,86, mostrando a ocorrência de 3 espécies de cianobactérias: *Phormidium granulatum*, *Phormidium cf. retzii* e *Pseudanabaena catenata*, seguido dos meses de outubro/05 e julho/06 com índice igual 0,77, e a ocorrência de 2 espécies: *Phormidium granulatum* e *Pseudanabaena catenata*.

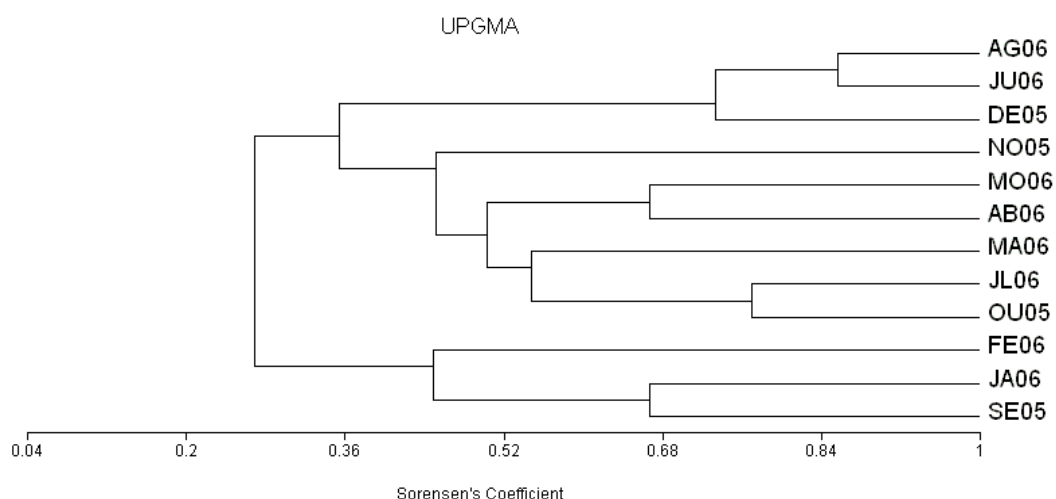


FIGURA 35: Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P2

Legenda: AG06 – agosto/06; JU06 – junho/06; DE05 – dezembro/05; NO05 – novembro/05; MO06 – maio/06; AB06 – abril/06; MA06 – março/06; JL06 – julho/06; OU05 – outubro/05; FE06 – fevereiro/06; JA06 – janeiro/06; SE05 – setembro/05

A FIGURA 36 apresenta o dendrograma de similaridade das espécies de cianobactérias em P3, sendo maio/06 e junho/06 os meses que apresentaram maior similaridade com índice igual a 1,0. Ocorreram de 3 espécies de cianobactérias *Geitlerinema splendidum*, *Nostoc cf. carneum* e *Nostoc microscopicum*, seguido dos meses de janeiro/06 e fevereiro/06 com índice igual 0,89, e a ocorrência de 4 espécies: *Geitlerinema splendidum*, *Oscillatoria subbrevis*, *Nostoc cf. carneum* e *Stigonema sp.*.

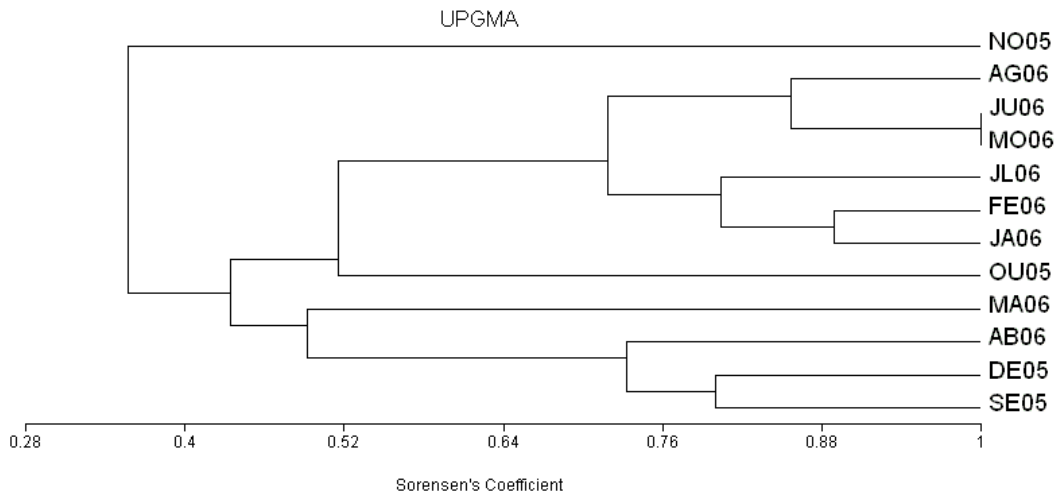


FIGURA 36: Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P3

Legenda: NO05 – novembro/05; AG06 – agosto/06; JU06 – junho/06; MO06 – maio/06; JL06 – julho/06; FE06 – fevereiro/06; JA06 – janeiro/06; OU05 – outubro/05; MA06 – março/06; AB06 – abril/06; DE05 – dezembro/05; SE05 – setembro/05

A FIGURA 37 apresenta o dendrograma de similaridade das espécies de cianobactérias em P4, sendo fevereiro/06 e setembro/05 os meses que apresentaram maior similaridade com índice igual a 1,0. Ocorreu apenas 1 espécie de cianobactéria *Pseudanabaena galeata*, seguido dos meses de julho/06 e agosto/06 com índice igual a 0,86, e também, uma única espécie, *Pseudanabaena galeata*.

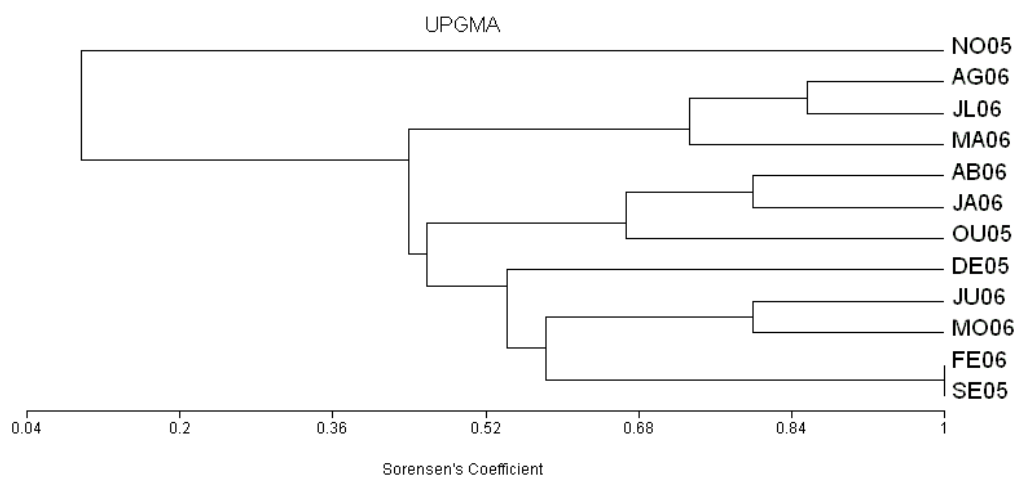


FIGURA 37: Dendrograma de similaridade de espécies de cianobactérias em P4

Legenda: NO05 – novembro/05; AG06 – agosto/06; JL06 – julho/06; MA06 – março/06; AB06 – abril/06; JA06 – janeiro/06; OU05 – outubro/05; DE05 – dezembro/05; JU – junho/06; MO06 – maio/06; FE06 – fevereiro/06; SE – setembro/05

## 6. CONCLUSÕES

- Durante o período de estudo (setembro/05 a agosto/06) as cianobactérias encontradas nos mananciais de abastecimento de água para o consumo humano no município de Viçosa-MG, apresentaram densidade muito abaixo do que estabelece a Portaria do Ministério da Saúde n° 518/05.
- As variáveis limnológicas analisadas (pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água; condutividade elétrica; nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ); amônio ( $\text{NH}_4^+$ ); nitrogênio total; fósforo total e alcalinidade), não permitiram identificar padrões sazonais da população de cianobactérias nos mananciais estudados.
- Não houve correlação significativa entre as variáveis analisadas e a ocorrência de cianobactérias nos pontos amostrados, sugerindo que outros fatores podem estar interferindo na dinâmica dessas populações.
- Em P1 (ambiente lântico) houve uma maior riqueza taxonômica e uma maior densidade de células, durante o período de estudo.
- Embora com baixa densidade no ambiente, o resultado para microcistina, mostrou resposta positiva para a espécie *Nostoc cf. carneum*. Essa espécie foi encontrada em P1, P2 e P3. Isso reforça a importância do monitoramento nos mananciais, a fim de se conhecer os fatores físicos e químicos que interferem no aumento da densidade de células de cianobactérias.

- Durante o período de estudo, os parâmetros nº células de cianobactérias, pH, OD e nitrato, nos mananciais estudados, estavam de acordo com o que estabelece a Resolução CONAMA nº 357/2005. Em alguns pontos, a concentração de fósforo total ficou acima do que determina a supracitada Resolução, entretanto, isso não gerou aumento significativo na densidade de células de cianobactérias no período de estudo.
- No mês de outubro/05, as concentrações de  $N_{total}$ ,  $P_{total}$ ,  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$  foram mais altas em P4. Estes fatos sugerem que o aumento deve estar associado com a ressuspensão de sedimento/solo nas margens do Rio Turvo Sujo, realizado pelo SAAE durante esse mês amostrado.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Sendo este, um trabalho pioneiro, desenvolvido em mananciais de abastecimento público do município de Viçosa, MG, recomenda-se que o monitoramento dos mananciais seja incluído na rotina das ETA's, como uma medida preventiva da ocorrência de cepas de cianobactérias potencialmente tóxicas e a única forma de se conhecer a dinâmica desta comunidade de microrganismos em função das alterações ambientais nos mananciais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADWG - Australian Drinking Water Guidelines. National Health and medical research council and the agriculture and resource management council of Australia and New Zeland. 376p. 1996. Disponível em: [http://www.mincos.gov.au/pdf/nwqms/aust\\_drinking\\_water\\_guidelines.pdf](http://www.mincos.gov.au/pdf/nwqms/aust_drinking_water_guidelines.pdf). Acesso em: 25 out 2006.

AGUIAR, R.E. **Systematic and Ultrastructure of New and Rare Chrysophytes from Colorado and Wyoming Lakes**. Ph.D. Dissertation. Colorado. Colorado State University. USA. 280p. 2000.

AGUIAR, R. **Estudos de fatores que interferem no crescimento de cianobactérias de vida livre, fixadoras de nitrogênio, e o isolamento de mutantes espontâneos**. Piracicaba. Dissertação (Mestrado - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”), Universidade de São Paulo, São Paulo. 122p. 1992.

AGUJARO, L.F.; ISAAC, R.L. Florações de cianobactérias potencialmente tóxicas nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, Estado de São Paulo e avaliação dos mananciais em relação à eutrofização. In: 22º Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28, Cancun. 2002. **Anais...** Cancun. p.1-8. 2002.

ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. **Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3: Oscillatoriales**. Algological Studies, v.50, nº 53, p.327-472. 1988.

ANAGNOSTIDIS, K.Y.; KOMÁREK, J. **Modern approach to the classification system of cyanophytes. 5 - Stigonematales**. Archiv für Hydrobiologie/Supplementband 86, Algological Studies 59: p.1-73. 1990.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 12 ed. A.P.S., New York, USA, 769p. 1995.

ARRUDA, P.R.R. **Uma contribuição ao estudo ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 198p. 1997.

AZEVEDO, S.M.F.O. **Ecotoxicologia de cianobactérias e qualidade de água**. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. UFRJ, Rio de Janeiro. 2003.

AZEVEDO, S.M.F.O. Fitotoxinas: um desafio para o próximo milênio. 8ª Reunião Brasileira de Ficologia. **Anais...** Porto de Galinhas, Pernambuco, Sociedade Brasileira de Ficologia. 1999.

AZEVEDO, S.M.F.O. Toxinas de cianobactérias: causas e conseqüências para a Saúde Pública. **Medicina online**. V.1, ano 1, n.3, Jul/Ago/Set 1998.

BARBOSA, F.A.R. **Ecologia de processos e qualidade de água**. Laboratório de Limnologia do ICB/UFMG. Belo Horizonte, MG. 2005. Disponível em:  
<<http://www.icb.ufmg.br/~limnos/fitoplancton.htm>> Acesso em: 21 ago. 2005.

BARUQUI, F.M. **Inter-relações solos-pastagem nas regiões da Mata e Rio Doce do Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 119p. 1982.

BOLLMANN, H.A. **Relação da Densidade Populacional sobre Variáveis de Qualidade Físico-química das Águas Superficiais em Microbacias Hidrográficas Urbanas sem Cobertura Sanitária em Porto Alegre – RS**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 162p. 2003.

BORGES, J.T. **Avaliação do Estado Trófico e Sanitário e a Adsorção de Fósforo no Sedimento na Lagoa do Taquaral**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 120p. 1998.

BRANCO, C.C.Z.; NECCHI, O. Survey of stream macroalgae of eastern Atlantic Rainforest of Sao Paulo State, southeastern Brazil. **Archive Hydrobiology**. 80, p.35-57, 1996.

BRANCO, C.W.C; SENNA, P.A.C. Phytoplankton composition, community structure and seasonal changes in a tropical reservoir (Paranoá Reservoir. Brazil). **Archive Hydrobiology**, v. 81, p. 69-84, 1996.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004**: estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 15p. 2005a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília, 46p. 2003.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei 9433 de 08/01/1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelece em seus fundamentos**. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/leis/L9433.htm>. Acesso em: 04 Jan 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000**: aprova o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 32p. 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 020, de 18 de junho de 1986**: dispõe sobre a classificação das

águas doces, salobras e salinas do Território Nacional e dá outras providências. Brasília, 20p. 1986.

CALIJURI, M.C. **A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP)**. Tese (livre docência). Escola de Engenharia de São Carlos. Brasil. 211p. 1999.

CARMICHAEL, W.W. Toxic *Microcystis* and the environment. In: Toxic *Microcystis*. M.F. Watanabe *et al.*, (Eds.) New York: **CRC Press**. p.1-11. 1996.

CARMICHAEL, W.W. Cyanobacteria secondary metabolites – The cyanotoxins. **J. Appl. Bact.**, 72: p.445-459. 1992.

CARMO, C.F. **Aporte de nutrientes, nitrogênio e fósforo, e sua relação com os impactos antropogênicos em um lago urbano, São Paulo, SP, Brasil**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos. 137p. 2000.

CARVALHO, M.C. **Comunidade fitoplanctônica como instrumento de biomonitoramento de reservatórios no Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 130p. 2003.

CETESB. Coleta e preservação de amostras de água para consumo humano, em atendimento a Portaria 518-MS, de 25/03/2004. v.1, São Paulo, 4p. 2005.

CETESB – Relatório de qualidade de água para o consumo humano no Estado de São Paulo - São Paulo, SP, CETESB - Relatório Técnico, 69p. 1991.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to the Public Health Consequences, Monitoring and Management**. Ingrid Chorus & Jamie Bartram Eds. E & FN Spon, London. 416p. 1999.

CHU, F.S.; WEI, R.D. Enzyme-linked Immunosorbent Assay for *Microcystis* in Blue-Green Algae Blooms. **J. Assoc. Off Anal. Chem.**, 73: p.451-456. 1990.

CODD, G.A. Cyanobacterial toxins, the perception of the water quality, and the prioritization of eutrophication control. **Ecol. Engine**, 16: p.51-60. 2000.

CORREIA, F.; DELGADO, P.; CASTRO, V. Impacto do desenvolvimento e toxicidade de cianobactérias. Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Medicina Veterinária Ecotoxicologia. 2001. Disponível em: <www.fmv.utl.pt> Acesso em: 20 out 2006.

CYBIS, L.F.; BENDATI, M.M.; MAIZONAVE, C.R.M.; WERNER, R.; DOMINGUES, C.D. **Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba do Sabão e Lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: ABES. Prosab. 64p. 2006.

DEBERDT, G.L.B. **Estudo de cianobactérias em reservatório com elevado grau de trofia** (reservatório de Salto Grande - Americana - SP). Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). EESC/USP, Universidade de São Paulo. São Paulo, 166p. 2004.

ELSER, J.J.; MARZOLF, E.R.; GOLDMAN, C.R. Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton in freshwaters of North America: a review and critique of experimental enrichments. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatics Sciences**, 47: p.1468-1477. 1990.

ESTEVES, F.A.; BARBOSA, F.A.R. Eutrofização artificial: a doença dos lagos. **Ciência Hoje**. V.5, n.27, p.56-61. 1986.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos da limnologia interciência**. Rio de Janeiro, Interciência: FINEP, 574p. 1988.

FALCONER, I.R. Health Implications of Cyanobacterial (Blue-Green Algae) Toxins. In: **Toxic Cyanobacteria Current Status of Research and Management**. STEFFENSEN, D.A.; NICHOLSON, B.C. Eds. Proceedings of International Workshop. Adelaide. Austrália. 19p. 1994.

FERNANDES, M.M. **Caracterização de solos e uso atual empregando aerofotos não convencionais nas sub-bacias Marengo, Palmital e Silibar - Rio Turvo Sujo, MG.** Viçosa, UFV. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 98p. 1996.

FERNANDES, V.O.; DIAS Jr., C.; SOUZA, B.D.A.; OLIVEIRA, E.C.M.A.; SILVA, J.P.A.; PEREIRA, T.A.; KALE, E.; GORZA, N.; CERESINO, A.; OLIVEIRA, A.R. **Potencial de florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento doméstico no estado do Espírito Santo (reservatório Duas Bocas-Cariacica-ES).** Relatório apresentado à Funasa. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2005.

FERREIRA, R.A.R. *et al.* Monitoring phytoplankton and microcystin at the Americana reservoir. **Planta daninha**, v. 23, n.2, p.203-214, Apr./June 2005.

FONTES, L.E.F.; FERNANDES, R.B.A.; RODRIGUES, J.S. (editores). **Recursos hídricos e percepção ambiental no município de Viçosa, MG.** Viçosa. 131p. 2006.

FRANCIS, G. Poisonous Australian Lakes. **Nature** 18: p.11-12, 1878.

FUNASA - Fundação Nacional da Saúde. Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 56p. 2003.

GUERESCHI, R.M.; MELÃO, M.G.G. Monitoramento Biológico da bacia hidrográfica do Rio Monjolinho pelo uso de Macroinvertebrados Bentônicos. **Anais ... VIII Seminário de Ecologia.** Volume III, p.61-76, 1997.

HARADA, K.I.; KONDO, F.; LAWTON, L. Laboratory analysis of cyanotoxins. *In*: Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health. Consequences, monitoring and management (CHORUS, I.; BARTRAM, J. eds.). E& FN Spon, Londres, p.370-404, 1999.

HOECK, V.D.; MANN, D.G.; JANHNS, H.M. Algae: An introduction to phycology. Cambridge. Univ Press.UK. 623p.1999.

HUMPAGE, A.R.; FALCONER, I.R. Microcystin-LR and liver tumor promotion: effects on cytokinesis, ploidy and apoptosis in cultured hepatocytes. *Environmental Toxicology* 14(1), p.61-75, 1999.

HUSZAR, V.L.; SILVA, L.H.S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C.L. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. **Hidrobiologia**. v.424: p.67-77. 2000.

JACOBY, J.M.; LYNCH, D.D.; WELCH, E.B.; PERKINS, M.A. International Phosphorus Loading in a Shallow Eutrophic Lake. *Water Research*, v. 16, p.911-919, 1982.

JARDIM, F.A.; MACHADO, J.N.A.; SCHEMBRI, M.C.; AZEVEDO, S.; Von SPERLING, E. A experiência da COPASA no monitoramento detecção e adoção de medidas mitigadoras para as cianobactérias tóxicas em estações de tratamento de água - Minas Gerais - Brasil.; XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Porto Alegre. p.1- 4. 2000.

JARDIM, F.A.; VIANA, T.H. Análise de algas – cianobactérias e cianotoxinas como parâmetros de controle do tratamento da água para abastecimento. **Anais...** 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, SC. Trabalho. 1-111. 2003.

JOCHIMSEN, E.M.; CARMICHAEL, W.W.; NA, J; CARDO, D.A.; LYRA, T.M.; BARRETO, V.; AZEVEDO, S.M.F.O.; JARWIS, W.R. Liver failure and death following exposure to microcystin toxins at a hemodialysis center in Brazil. **The New England Journal of Medicine**, 36: p.373-378. 1998.

KOMÁREK, J. Coccoid and colonial cyanobacteria. In: J.D. Wehr & R.G. Sheath (eds). **Freshwater algae of North America: Ecology and classification**. Elsevier Science (USA). 918p. 2003.

KOMARÉK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. **Modern approach to the classification system of cyanophyte, 2: Chroococcales**. *Algological Studies*, v.43, p. 157-226. 1986.

\_\_\_\_\_. **Modern approach to the classification system of cyanophyte, 4: Nostocales**. *Algological Studies*, v.56, p. 247-345. 1989.

\_\_\_\_\_. Cyanoprokaryota. I. Teil Chroococcales. In: Ettl, H.; Gärtner, G.; Heynig, H.; Mollenhauer, D. (eds). **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. Jena: G. Fischer. 1998.

KOMÁREK, J.; KOMÁRKOVÁ, J. Review of the European *Microcystis* morphospecies (Cyanoprokaryotes) from nature. **Czech Phycology**, Olomouc, v.2, p.1-24, 2002.

KREITLOW, S.; MUNDT, S.E.; LINDEQUIST, U. Cyanobacteria – Potential Source of New Biologically Active Substances. **J. Biotechnol.**, 70: p.61-63. 1999.

KRUPEK, R.N. **Estudo das comunidades de macroalgas da bacia do Rio das Pedras, Guarapuava, Paraná: flora e dinâmica sazonal**. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, 101p. 2006.

KUIPER-GOODMAN, T.; FALCONER, I.; FITZGERARD, J. Human Health Aspects. In: CHORUS, I. e BARTAN, J. (eds). **Toxic Cyanobacteria in water: A Guide to their Public Health – Consequences, Monitoring and Manegment**. Londres: E. &F.N. Spon. P.113-141. 1999

KUGRENS, P.; CLAY, B.L.; AGUIAR, R. Ultrastructure of *Lobocharacium coloradoense*, gen. et sp. nov. (Chlorophyta, Characiosiphonaceae), an unusual coenocyte from Colorado. **J. Phycol.** 36: p.421-432. 2000.

LAMBERT, T.W.; BOLAND, M.P.; HOLMES, C.F.B.; HRUDEY, S.E. Quantitation of the microcystin hepatotoxins in water at environmentally relevant concentrations with the protein phosphate bioassay. **Environmental Science & Technology**, 28(4). p.753-755. 1994.

LAMPARELLI, M.C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** Tese (Doutorado em Ciência). Universidade de São Paulo, São Paulo. 207p. 2004.

LEGENDRE, L.; LEGENDRE, P. Numerical Ecology. **Elsevier Fci. Publ.** 419p. 1983.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estruturas comunitárias de las fitocenosis planctônicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Ver Biol Mar Valparaiso.** 22(1): p.1-29. 1986.

MACEDO, J.A.B. Águas & Águas – Métodos Laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas. Juiz de Fora. 302p. 2001.

MAGALHÃES, V.F.; SOARES, R.M.; AZEVEDO, S.M.F.O. Microcystin contamination in fish from the Jacarepaguá (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health risk, **Toxicon**, v.39, p.1077-85. 2001

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

MARQUES, A.K. **Análise da diversidade fitoplanctônica no reservatório da Usina Hidroelétrica Luis Eduardo Magalhães, no médio Tocantins - TO: estrutura da comunidade, flutuações Temporais e espaciais.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente). Universidade Federal de Tocantins. Palmas: UFT, 157p. 2006.

MATOS, A.T. **Poluição ambiental e seus efeitos.** Brasília: ABEAS; Viçosa: DEA/UFV, (ABEAS – Curso de Uso Racional dos recursos Naturais e seus Reflexos no meio Ambiente). Módulo 6. 121p. 2001.

MATOS, A.T. Qualidade do meio físico e ambiental. **Caderno didático.** n.33, DEA/UFV, Viçosa, MG. 175p. 2007.

MATSUMURA-TUNSIDI, T.; HINO, K.; ROCHA, A. Característica limnológica da Lagoa do Taquaral (Campinas, SP) – um ambiente hipereutrófico. **Cienc e Cult.** 38 (3): p.420-25. 1986.

MATSUZAKI, M.; MUCCI, J.L.N.; ROCHA, A.A. Phytoplankton community in a recreational fishing lake, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v.38, n.5, p.679-686, Oct. 2004.

MATTHIENSEN, A.; YUNES, J.S.; CODD, G.A. Ocorrência, distribuição e toxicidade de cianobactérias no estuário da Lagoa dos Patos - RS. **Revista Brasileira de Biologia**, 59, nº 3, São Carlos, SP. p.361-376. 1999.

MOSS, B. Limitation of algal growth in some central african waters. *Limnol. Oceanogr.* 14: p.591-601. 1969.

MOTA, S. **Introdução á engenharia ambiental**, Rio de Janeiro: ABES, 1997.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Willey & Sons, 547p. 1974.

NETTO, G.F.; CARNEIRO, F.F. Vigilância ambiental em saúde no Brasil. **Ciência e Ambiente**, n.25, 2002.

NOGUEIRA, I.S. *Chlorococcales sensu lato* (Chlorophyceae) do município do Rio de Janeiro e arredores, Brasil: inventário e considerações taxonômicas. Museu Nacional - UFRJ. Rio de Janeiro, 355p. 1991.

NOGUEIRA, I.S. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica da represa Samambaia, Goiás, Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Botânica). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 341 p. 1999.

OLIVER, R.L.; GANF, G.G. **Freshwater blooms**. In: B. A. Whitton & M. Potts (eds.). The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, p.149-194. 2000.

OVERBECK, J. Ecosystems Concepts, chapter 2 in: JORGESEN & VOLLENWEIDER. **Guidelines of Lake Management: Principles of Lake Management**, International Lake Environment Comitee and United Nations Environment programme, v.1, 199 p. 1989.

PAERL, H.W.; TUCKER, C.S. Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. **Journal World Aquaculture Society**. v.26, p.109-311, 1995.

PILOTTO, L.S.; DOUGLAS, R.M.; BURCH, M.D.; CAMERON, S.; BEERS, M.; ROUCH, G.R.; ROBINSON, P.; KIRK, M.; COWIE, C.T.; HARDIMAN, S.; MOORE, C.; ATTWELL, R.G. Health effects of exposure to cyanobacteria (bluegreen algae) due to recreational waterrelated activities. Austrália, N. Zealand. **Journal public health**, 21 p. 562-566. 1997.

PINTO-COELHO, R.M.; GIANI, A. Variações sazonais do fitoplanctôn e fatores físico-químicos da água no reservatório do Paranoá, Brasília, DF. **Cienc e Cult**. 37 (12): p.2000-06. 1985.

POURIA, S.; DE ANDRADE, A.; BARBOSA, J.; CAVALCANTE, R.L.; BARRETO, V.T.S.; WARD, C.J.; PREISER, W.; POON, G.K.; NEILD, G.H.; COOD, G.A. Fatal microcystin intoxication in hemodialysis unit in Caruaru, Brazil. **Lancet** 352: p.21-26. 1998.

PRADA, S.M.; OLIVEIRA, E. Distribuição de nutrientes (C, N e P) em testemunhos de sedimentos do reservatório das Garças, Cotia – SP. In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Química, 29, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2006.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. Estudo de vazão em cursos d'água. Viçosa: UFV/DEA. (Caderno didático, 43). 2006.

QUINTEIRO, F.Q.L. **Levantamento do uso da terra e caracterização de ambiente da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo com a utilização de aerofotos não-convencionais.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,. 98p. 1997.

RAMÍREZ, J.J. **Variação espacial e nictimeral da estrutura da comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais em quatro dias de amostragem de diferentes épocas do ano no Lago das Garças, São Paulo.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Botânica). Instituto de Biociências da Universidade Paulista. São Paulo-SP, 300p. 1996.

REZENDE, S.B. **Estudo da crono-toposequência em Viçosa – Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Solos) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 71p. 1971.

REYNOLDS, C.S. Functional morphology and the adaptative strategies of freshwater phytoplankton. In: C.D. Sandgren (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton.** Cambridge University Press, p.388-434. 1988.

REYNOLDS, C.S. Cyanobacterial water-blooms. In: J.A. Callow (ed.). **Advances in Botanical Research**, v.13, p.67-143. 1987.

ROCHA, O. **Avaliação do estado do conhecimento da diversidade biológica do Brasil.** Águas doces - Versão preliminar. Ministério do Meio Ambiente. 2003.

SAAE – Serviço Autonomo de Água e Esgoto. O SAAE de Viçosa. In SILVA, D.D.; FONSECA, S.P.E.P. (Coord.) encontro de preservação de mananciais da zona da mata mineira, 3, Viçosa, 2003. **Resumos ...** Viçosa: ABES/MG, UFV/DEA, ABAS/MG. P.379-382. 2003.

SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Contribution to the knowledge of potentially toxic cyanobacteria from Brazil. **Nova Hedwigia**. v.71, n.3-4: p.359-385. 2000.

SANTOS, A.R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa, MG.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 141p. 2001

SCHAFFER, A. Fundamentos da ecologia e biogeografia das águas continentais. Porto Alegre: Editora da UFRS. 532p. 1985.

SCHAEFER, C.E.; CARDOSO, I.M.; MORAES, J.L. Levantamento de solos da bacia do Córrego São Bartolomeu. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 2. Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, p.225. 1990.

SHANNON, C.E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication.** Urbana, Illinois University Press. 177 p. 1963.

SHAW, G.R. *et al.* The oral toxicity for mice of the tropical cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska). **Environmental Toxicology.** v.12, p.135-142, 1999.

SILVA, J.G. O emprego rural e a mercantilização do espaço agrário. **São Paulo em Perspectiva.** v.11, n.2, p.50-64, 1997.

SIVONEN, K.; JONES, G. Cyanobacterial toxins. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Ed). **Toxic cyanobacterial in water; A guide to their public health consequences, monitoring end management.** London: E & FN Spon, cap.3, p.41-111. 1999.

SMITH, V.H. Low nitrog to phosphorus ration favor dominance by blu-green algae in lake phytoplankton. **Science**, 221: p.669-671. 1983.

SOUZA, M.B.; BARBOSA, F.A. Avaliação do potencial invasor de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanoprokariota, Nostocales) em um lago natural do trecho médio da bacia do rio Doce. **Anais ... X Congresso Brasileiro de Limnologia.** Ilhéus, 2005. Resumo.

TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S.; HAGE, E. Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica, Bahia, Brazil. **Bulletin of PAHO**. 27(3): p.244-253. 1993.

TER BRAAK, C.F.J. Canonical correspondence analysis a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**. 67: p.1167-1179. 1986.

TILMAN, D.; MATTSON, M.; LANGER, S. Competition and nutrient kinetics along a temperature gradient: An experimental test of a mechanistic approach to niche theory. **Limnol. Oceanogr.**, 26: p.1020-1033. 1981.

TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenaya and Subba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, SP. Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, 26, p.97-112. 2003.

TUNDISI, J.G. **Água no Século 21** :Enfrentando a escassez.São Paulo:Rima, 248p. 2003.

USEPA - United States Environmental Protection Agency, 2001. Disponível em <<http://www.epa.gov>>. Acessado em 10 de julho de 2006

USEPA. **Lakes, Reservoirs and Ponds. Chapter 4.** State Lake Protection and Restoration Project. United States Environmental Protection Agency, 1998. Disponível em <<http://www.epa.gov>>. Acessado em 19 de abril de 2005.

VALENTE, J.P.S.; PADILHA, P.M.; SILVA, A.M.M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu -SP. **Eclética Química**, v.22, p.49-66,1997.

VILELA, M.F. **Uso de diferentes métodos de retificação geométrica e classificação digital de uma imagem TM/LANDSAT.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 118p. 1998.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos:** princípios do tratamento biológico e ao tratamento de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 240 p. 1996.

WERNER, V.R. **Cyanophyceae/Cyanobacteria no Sistema de Lagoas e Lagunas da Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese (Doutorado da Universidade Estadual Paulista), Campus de Rio Claro, Rio Claro, SP. 363p. 2002.

WETZEL, R.G. *Limnology – Lake and river ecosystems.* 3 ed. San Diego: Academic press. 1006p. 2001.

WHITTON, B.A. Diversity, ecology and taxonomy of cyanobacteria. In: MANN, N.H.; CARR, N.G. (Ed.). **Photosynthetic Prokaryotes.** New York: Plenum Press, Cap. 1, p.1-51. 1992.

WHITTON, B.A.; POTTS, M. Introduction to the cyanobacteria. In: WHITTON, B.A.; POTTS, M. (Ed.). **The ecology of cyanobacteria. Their diversity in time and space.** Dordrecht: Kluwer Academic, Cap. 1, p.1-11. 2000.

WHO - World Health Organization. Guidelines for drinking water quality. 2<sup>nd</sup> ed., v.2, Geneva, p.13-14, 2003.

YUNES, J. **Fatores que levam às florações de cianobactérias.** Reunião Sanepar – CT. Curitiba. 2002.

YUNES, J. S.; SALOMÓN, P. S.; MATTHIENSEN, A.; BEATTIE, K. A.; RAGGETT, S. L. e COSS, G.A. Toxic blooms of cyanobacteria in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. **Journal of aquatic ecosystem health**, 5. p.223-229. 1996.

## **8. ANEXOS**

**ANEXO 1:** Tabelas referentes aos parâmetros estudados nos mananciais de captação de água (período: setembro/05 a agosto /06)

TABELA 1A: Parâmetros estudados em P1

Mês	Temp (°C)	OD (mg L <sup>-1</sup> )	pH -	Amônio (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	P <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	N <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Alcalin (mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	Cond.elét (mS.cm <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm mês <sup>-1</sup> )	Insolação (h mês <sup>-1</sup> )
Setembro	22,2	22,2	7,96	0,18	0,46	0,1	3,32	35,74	54,3	67,5	97,1
Outubro	25,8	10,2	7,55	0,18	0,46	0,1	3,32	35,74	54,3	64,7	189,1
Novembro	22,8	8,4	7,42	0,18	0,46	0,1	3,32	35,74	54,3	136,9	78,8
Dezembro	25,5	10,2	7,74	0,28	0,24	0,06	3,61	27,53	57,6	291,2	142,8
Janeiro	28,8	11,1	8,28	0,28	0,24	0,06	3,61	27,53	57,6	180,0	223,7
Fevereiro	27,2	8,4	7,86	0,28	0,24	0,06	3,61	27,53	57,6	84,8	262,9
Março	24,7	6,5	7,65	0,05	0,02	0,01	4,31	28,30	57,1	186,5	173,6
Abril	23,5	7,2	7,60	0,05	0,02	0,01	4,31	28,30	57,1	56,0	159,3
Maio	19,0	6,5	7,64	0,05	0,02	0,01	4,31	28,30	57,1	6,4	164,8
Junho	17,8	7,56	7,54	0,001	0,055	0,022	7,72	31,40	51,2	21,0	154,1
Julho	18,5	7,27	7,64	0,001	0,055	0,022	7,72	31,40	51,2	6,3	150,1
Agosto	19,0	7,32	7,61	0,001	0,055	0,022	7,72	31,40	51,2	13,3	179,5

TABELA 2A: Parâmetros estudados em P2

Mês	Temp (°C)	OD (mg L <sup>-1</sup> )	pH -	Amônio (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	P <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	N <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Alcalin (mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	Cond.elét (mS.cm <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm mês <sup>-1</sup> )	Insolação (h mês <sup>-1</sup> )
Setembro	22,7	10,40	7,70	0,23	0,63	0,05	5,82	34,59	53,70	67,5	97,1
Outubro	25,8	9,80	7,58	0,23	0,63	0,05	5,82	34,59	53,70	64,7	189,1
Novembro	22,8	8,70	7,42	0,23	0,63	0,05	5,82	34,59	53,70	136,9	78,8
Dezembro	25,6	10,10	7,93	0,25	0,18	0,04	2,92	34,95	57,1	291,2	142,8
Janeiro	28,1	10,00	8,23	0,25	0,18	0,04	2,92	34,95	57,1	180,0	223,7
Fevereiro	27,2	9,00	7,84	0,25	0,18	0,04	2,92	34,95	57,1	84,8	262,9
Março	24,5	6,10	7,73	0,05	0,03	0,05	4,83	35,90	52,7	186,5	173,6
Abril	23,4	6,90	7,83	0,05	0,03	0,05	4,83	35,90	52,7	56,0	159,3
Maio	21	6,00	7,59	0,05	0,03	0,05	4,83	35,90	52,7	6,4	164,8
Junho	18,1	7,20	7,47	0,055	0,015	0,001	5,5	32,5	56,6	21,0	154,1
Julho	18,1	6,57	7,63	0,055	0,015	0,001	5,5	32,5	56,6	6,3	150,1
Agosto	18,5	7,02	7,51	0,055	0,015	0,001	5,5	32,5	56,6	13,3	179,5

TABELA 3A: Parâmetros estudados em P3

Mês	Temp (°C)	OD (mg L <sup>-1</sup> )	pH -	Amônio (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	P <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	N <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Alcalin (mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	Cond.elét (mS.cm <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm mês <sup>-1</sup> )	Insolação (h mês <sup>-1</sup> )
Setembro	20,5	9,10	7,38	0,21	0,47	0,31	4,98	32,28	54,1	67,5	97,1
Outubro	22,2	9,70	7,37	0,21	0,47	0,31	4,98	32,28	54,1	64,7	189,1
Novembro	21,1	8,40	7,32	0,21	0,47	0,31	4,98	32,28	54,1	136,9	78,8
Dezembro	21,3	7,90	7,41	0,28	0,3	0,08	2,03	31,77	59,8	291,2	142,8
Janeiro	24,7	8,80	7,88	0,28	0,3	0,08	2,03	31,77	59,8	180,0	223,7
Fevereiro	24,5	7,40	7,69	0,28	0,3	0,08	2,03	31,77	59,8	84,8	262,9
Março	22,2	6,70	7,64	0,27	0,14	0,38	6,54	27,2	58,4	186,5	173,6
Abril	22,2	7,12	7,62	0,27	0,14	0,38	6,54	27,2	58,4	56,0	159,3
Maiο	16,6	7,53	7,55	0,27	0,14	0,38	6,54	27,2	58,4	6,4	164,8
Junho	17,1	7,62	7,45	0,001	0,015	0,022	6,24	24,9	61,0	21,0	154,1
Julho	18,0	6,68	7,60	0,001	0,015	0,022	6,24	24,9	61,0	6,3	150,1
Agosto	18,6	6,89	7,65	0,001	0,015	0,022	6,24	24,9	61,0	13,3	179,5

TABELA 4A: Parâmetros estudados em P4

Mês	Temp (°C)	OD (mg L <sup>-1</sup> )	pH -	Amônio (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	P <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	N <sub>total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Alcalin (mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	Cond.elét (mS.cm <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm mês <sup>-1</sup> )	Insolação (h mês <sup>-1</sup> )
Setembro	21,1	10,90	7,68	0,41	2,57	0,31	7,2	29,98	60,5	67,5	97,1
Outubro	22,7	9,20	7,51	0,41	2,57	0,31	7,2	29,98	60,5	64,7	189,1
Novembro	21,5	8,90	7,47	0,41	2,57	0,31	7,2	29,98	60,5	136,9	78,8
Dezembro	24,7	8,40	8,47	0,16	0,55	0,05	2,38	26,48	51,3	291,2	142,8
Janeiro	26,0	9,20	7,97	0,16	0,55	0,05	2,38	26,48	51,3	180,0	223,7
Fevereiro	24,4	7,40	7,60	0,16	0,55	0,05	2,38	26,48	51,3	84,8	262,9
Março	22,5	7,20	7,90	0,18	0,11	0,07	4,68	22,8	53,5	186,5	173,6
Abril	22,6	10,47	7,65	0,18	0,11	0,07	4,68	22,8	53,5	56,0	159,3
Maio	17,0	7,82	7,77	0,18	0,11	0,07	4,68	22,8	53,5	6,4	164,8
Junho	17,6	7,86	7,42	0,001	0,117	0,032	8,47	33,5	68,3	21,0	154,1
Julho	18,1	7,65	7,65	0,001	0,117	0,032	8,47	33,5	68,3	6,3	150,1
Agosto	18,4	7,81	7,54	0,001	0,117	0,032	8,47	33,5	68,3	13,3	179,5

**ANEXO 2:** Tabelas referentes as variações relativas ao número de células de cianobactérias nos mananciais de captação de água (período: setembro/05 a agosto /06)

TABELA 5A: Variação do número de células mL<sup>-1</sup>, em P1

Espécies	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
<i>Synechococcus nidulans</i>	0	72	106	0	38	0	96	0	112	0	0	96
<i>Geitlerinema splendidum</i>	76	0	0	0	76	0	0	70	0	0	0	104
<i>Phormidium granulatum</i>	54	88	102	0	62	108	156	0	0	272	112	188
<i>Phormidium cf. retzii</i>	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	128	116
<i>Pseudanabaena catenata</i>	0	96	112	0	142	202	50	90	0	164	76	198
<i>Anabaena ambigua</i>	152	104	0	0	42	172	62	72	0	0	0	0
<i>Anabaena inaequalis</i>	0	152	124	62	192	0	82	68	0	0	0	0
<i>Nostoc cf. muscorum</i>	50	0	0	46	112	0	0	0	0	82	70	62
<i>Nostoc cf. carneum</i>	0	82	102	0	0	192	0	0	88	0	72	0
<i>Nostoc microscopicum</i>	0	0	0	84	116	0	0	0	130	0	0	0
<i>Stigonema sp.</i>	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0
Total	332	594	546	192	842	736	446	300	330	518	458	764

TABELA 6A: Variação do número de células mL<sup>-1</sup>, em P2

Espécies	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	MaI	Jun	Jul	Ago
<i>Synechococcus nidulans</i>	0	68	92	0	0	96	62	80	128	0	84	0
<i>Synechocystis cf. aquatilis</i>	0	0	62	0	0	0	36	0	0	0	0	0
<i>Geitlerinema splendidum</i>	52	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oscillatoria subbrevis</i>	0	0	0	0	0	0	136	0	0	0	172	96
<i>Phormidium granulatum</i>	116	336	206	0	92	42	0	0	0	256	176	52
<i>Phormidium cf. retzii</i>	0	0	0	96	76	0	48	0	0	114	138	84
<i>Pseudanabaena galeata</i>	0	0	0	0	72	102	144	0	0	0	0	0
<i>Pseudanabaena catenata</i>	0	174	124	64	0	0	70	214	0	122	76	62
<i>Anabaena ambigua</i>	44	72	0	0	182	0	0	0	0	0	122	0
<i>Anabaena inaequalis</i>	0	0	0	0	0	240	68	0	0	0	0	0
<i>Calothrix braunii</i>	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nostoc cf. muscorum</i>	0	88	0	0	70	0	124	76	90	0	74	0
<i>Nostoc cf. carneum</i>	62	60	0	0	52	72	0	0	0	0	0	0
<i>Nostoc microscopicum</i>	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
<i>Stigonema sp.</i>	0	0	0	0	102	106	0	0	96	0	0	0
Total	274	798	586	160	718	708	688	370	314	492	842	294

TABELA 7A: Variação do número de células mL<sup>-1</sup>, em P3

Espécies	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	MaI	Jun	Jul	Ago
<i>Geitlerinema splendidum</i>	260	144	20	0	44	42	150	0	218	212	102	156
<i>Oscillatoria subbrevis</i>	0	0	0	0	142	106	132	286	0	0	164	176
<i>Calothrix braunii</i>	256	0	0	122	0	0	84	206	0	0	0	0
<i>Nostoc cf. carneum</i>	234	0	0	30	38	74	0	122	82	86	116	72
<i>Nostoc microscopicum</i>	0	296	0	0	0	72	0	0	108	136	0	146
<i>Nostoc sp.</i>	0	250	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0
<i>Stigonema sp.</i>	0	170	0	0	132	108	0	0	0	0	0	0
Total	750	860	20	152	356	402	438	614	408	434	382	550

TABELA 8A: Variação do número de células mL<sup>-1</sup>, em P4

Espécies	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	MaI	Jun	Jul	Ago
<i>Synechococcus nidulans</i>	0	31	64	0	62	0	0	64	0	0	0	0
<i>Phormidium granulatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	124	62	0	0	0
<i>Pseudanabaena galeata</i>	182	412	0	0	124	62	84	100	150	136	256	150
<i>Limnothrix sp.</i>	0	0	0	0	46	0	56	78	0	0	150	126
<i>Anabaena ambigua</i>	0	204	0	126	326	0	0	88	72	62	0	0
<i>Calothrix braunii</i>	0	112	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0
<i>Nostoc commune</i>	158	0	0	36	84	72	0	0	44	126	56	0
<i>Stigonema sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	124	62	0	0	0
Total	340	759	64	162	642	134	140	578	462	324	462	276

**ANEXO 3:** Tabelas referentes a riqueza ( $n^\circ$  de táxon amostra<sup>-1</sup>), diversidade média (bits) e equitabilidade dos pontos amostrados (período: setembro/05 a agosto/06)

TABELA 9A: Riqueza (nº de táxon amostra<sup>-1</sup>), diversidade média (bits) e equitabilidade do P1, no período: setembro/05 a agosto/06

Período	Riqueza (nº táxon amostra <sup>-1</sup> )	Diversidade média (bits ind <sup>-1</sup> )	Equitabilidade
Set/05	4	1,8402	1
Out/05	6	2,540	1
Nov/05	5	2,318	1
Dez/05	3	1,542	1
Jan/06	9	2,985	1
Fev/06	5	2,215	1
Mar/06	5	2,206	1
Abr/06	4	1,990	1
Mai/06	3	1,567	1
Jun/06	3	1,434	1
Jul/06	5	2,275	1
Ago/06	6	2,477	1

TABELA 10A: Riqueza (nº de táxon amostra<sup>-1</sup>), diversidade média (bits) e equitabilidade do P2, no período: setembro/05 a agosto/06

Período	Riqueza (nº táxon amostra <sup>-1</sup> )	Diversidade média (bits ind <sup>-1</sup> )	Equitabilidade
Set/05	4	1,889	1
Out/05	6	2,252	1
Nov/05	5	2,206	1
Dez/05	2	0,971	1
Jan/06	8	2,892	1
Fev/06	7	2,580	1
Mar/06	8	2,849	1
Abr/06	3	1,404	1
Mai/06	3	1,567	1
Jun/06	3	1,478	1
Jul/06	7	2,725	1
Ago/06	4	1,959	1

TABELA 11A: Riqueza (n° de táxon amostra<sup>-1</sup>), diversidade média (bits) e equitabilidade do P3, no período: setembro/05 a agosto/06

Período	Riqueza (n° táxon amostra <sup>-1</sup> )	Diversidade média (bits ind <sup>-1</sup> )	Equitabilidade
Set/05	3	1,583	1
Out/05	4	1,942	1
Nov/05	0	0	0
Dez/05	2	0,717	0,942
Jan/06	4	1,777	1
Fev/06	5	2,251	1
Mar/06	4	1,936	1
Abr/06	3	1,505	1
Mai/06	3	1,456	1
Jun/06	3	1,492	1
Jul/06	3	1,554	1
Ago/06	4	1,933	1

TABELA 12A: Riqueza (n° de táxon amostra<sup>-1</sup>), diversidade média (bits) e equitabilidade do P4, no período: setembro/05 a agosto/06

Período	Riqueza (n° táxon amostra <sup>-1</sup> )	Diversidade média (bits ind <sup>-1</sup> )	Equitabilidade
Set/05	2	0,996	1
Out/05	4	1,682	1
Nov/05	1	0	0
Dez/05	2	0,764	0,971
Jan/06	5	1,937	0,999
Fev/06	2	0,996	1
Mar/06	2	0,971	1
Abr/06	5	2,287	1
Mai/06	6	2,450	1
Jun/06	4	1,945	1
Jul/06	4	1,817	1
Ago/06	3	1,574	1

## **CAPITULO II: Manual de Identificação e Caracterização de Cianobactérias Isoladas nos Mananciais de Abastecimento Público: Caso do Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo, Viçosa, MG**

O presente capítulo apresenta o Manual de Identificação e Caracterização de Cianobactérias Isoladas nos Mananciais de Abastecimento Público: Caso do Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo, Viçosa, MG, elaborado com base na “Ocorrência de cianobactérias em manancias de abastecimento de água para consumo humano no município de Viçosa – MG”, descrito no capítulo I dessa dissertação.

### **1. INTRODUÇÃO**

Sob certas circunstâncias, especialmente em águas ricas em nutrientes, ou eutrofizadas, associada às concentrações elevadas de fósforo (P) e nitrogênio (N), sob alta radiação solar, as cianobactérias e outras microalgas eucarióticas se multiplicam rapidamente, formando os chamados “blooms” ou florações, na superfície da água (CHORUS e BARTRAM, 1999).

O constante aumento da eutrofização, e a conseqüente queda na qualidade da água, tem sido, segundo CARMICHAEL (1992), a causa mais comum da dominância de cianobactérias nos recursos naturais de água doce. As atividades humanas, incluindo resíduos da agricultura, erosão e descarga de esgotos em rios e represas, aumentam a probabilidade de multiplicação das cianobactérias devido à presença dos nutrientes.

A principal preocupação com o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias nos mananciais de abastecimento público é a capacidade desses microrganismos produzirem e liberarem toxinas (cianotoxinas) para o meio. Estas substâncias químicas podem afetar a saúde humana, tanto pela ingestão de água, como pelo contato por meio das atividades de recreação (FUNASA, 2003). As cianotoxinas, grupo diverso de toxinas naturais, são classificadas por sua ação sobre determinados tecidos-órgãos alvos e não pela sua composição química. Estas substâncias são agrupadas, de modo geral, como: hepatotoxinas, neurotoxinas, dermatotóxicas e aquelas caracterizadas como potentes inibidoras da síntese protéica (YUNES, 2001).

No Brasil, já foram registrados inúmeras ocorrências de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento, nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul (FERNANDES *et al.*, 2005). JARDIM *et al.* (2000), verificaram a ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas, em vários mananciais operados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), ficando evidente a necessidade de se manter um programa de monitoramento para os mananciais de abastecimento público.

A predição de fenômenos de florações torna-se, extremamente importantes, tendo em vista o aumento da ocorrência de florações tóxicas em grandes sistemas de abastecimento de água e o alto custo da tecnologia atual para remover as toxinas, quando implementada na rotina do monitoramento.

A implantação de programas de monitoramento de cianobactérias, entretanto, tem sido difícil, principalmente devido à falta de conhecimento e os problemas de identificação desses organismos. Essas dificuldades estão relacionadas principalmente com a complexidade taxonômica do grupo e às técnicas de análise e observação que utilizam a microscopia de luz, além da carência de material bibliográfico em língua portuguesa (CYBIS, 2006).

CODD *et al.* (1999) no guia da Organização Mundial da Saúde (OMS) destacou, para as cianobactérias presentes em água, que o monitoramento corriqueiro dos mananciais de abastecimento não deve requerer um treinamento sofisticado em taxonomia por parte dos técnicos das companhias de saneamento que realizam essa atividade. Na opinião dos autores, na maioria das vezes, a identificação em nível de gênero já é suficiente e os esforços devem ser focados na região de ocorrência das cianobactérias.

Considerando, portanto, o monitoramento realizado no período de setembro/2005 a agosto/06 no Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo, ambos utilizados para captação de água para consumo humano no município de Viçosa-MG, este manual tem como objetivos:

- caracterizar as cianobactérias dos referidos mananciais;
- elaborar uma chave de identificação das espécies mais comuns;
- apresentar as características morfológicas das cianobactérias mais comuns para auxiliar na identificação dos organismos.

## **2. MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS**

### **2.1 Coleta para análise qualitativa**

Para a amostragem qualitativa, a coleta é realizada com rede de plâncton com 20µm de abertura de malha. A amostragem com rede seleciona as espécies coletadas, visto que todo material menor que as dimensões do poro da rede, é perdido (SANT'ANNA *et al.*, 2006).

A coleta pode ser realizada através de arraste horizontal da rede de plâncton com o auxílio de embarcação, ou passando manualmente várias vezes a rede na subsuperfície da água (20 cm abaixo da superfície), ou ainda através de arraste vertical, onde a rede é mergulhada até uma profundidade estabelecida, puxando-a em seguida até a superfície (CYBIS *et al.*, 2006).

### **2.2 Coleta para análise quantitativa**

Para avaliar a densidade de células de cianobactérias, recomenda-se que a coleta seja feita a 20 cm abaixo da superfície da água, podendo ser feita manualmente com frascos de coleta (polietileno ou vidro). Em casos de florações superficiais, a coleta é realizada diretamente nos pontos onde existe maior concentração de organismos através da passagem do frasco na superfície da água.

### **2.3 Transporte e preservação da amostra**

A amostra viva deve ser transportada em caixas de isopor com gelo e ocupar no máximo dois terços do volume do frasco, para garantir a quantidade de oxigênio suficiente até o momento da análise.

Para análise quantitativa, a amostra deve ser preservada. Recomenda-se a solução de Lugol, em concentrações de 0,3 a 0,5% para ambientes oligotróficos e de 0,5 a 1,0% para ambientes eutróficos. O lugol possui a vantagem de facilitar a sedimentação dos organismos na câmara de contagem, porém pode alterar sua coloração (SANT'ANNA *et al.*, 2006). Para preparação da solução de Lugol, adiciona-se 10 g de iodo puro, 20 g de iodeto de potássio, 20 mL de ácido acético glacial em 200 mL de água destilada. Esta solução deve ser armazenada em frasco escuro do tipo âmbar em ambiente protegido da luz.

### **2.4 Identificação**

A amostra para identificação deve ser observada preferencialmente viva especialmente para grupos de cianobactérias onde a observação do movimento do tricoma é importante (SANT'ANNA *et al.*, 2006). O nível de identificação depende dos objetivos do estudo, da experiência do analista do tipo de equipamentos e materiais disponíveis (CYBIS *et al.*, 1996). A identificação dos organismos requer experiência e qualificação do analista e utilização de bibliografia especializada.

### **2.5 Contagem de células**

Para a contagem de células de cianobactérias, deve-se observar se há necessidade de concentrar a amostra antes de realizar a contagem dos organismos. Quanto menor a quantidade de organismos na amostra, maior deve ser o volume a ser concentrado. Já em casos em que ocorram elevadas densidades, pode-se diluir a amostra com água destilada.

Os métodos de concentração mais utilizados são o de centrifugação e o de sedimentação. A sedimentação é o método de concentração mais recomendado, não é seletivo e não causa o rompimento das células. O tipo de microscópio que será utilizado irá determinar a técnica a ser empregada. No microscópio invertido, a sedimentação é

realizada diretamente nas câmaras de sedimentação ou câmaras de Utermöhl. (SANT'ANNA *et al.*, 2006).

Amostra concentrada por sedimentação também pode ser analisada em microscópio ótico. Nesse caso coloca-se a amostra em uma proveta graduada, deixando-a sedimentar. O sobrenadante é sifonado e o volume restante registrado. Desse volume, 1 mL é colocado em câmara de Sedgwick-Rafter para a contagem dos organismos (CYBIS *et al.*, 1996).

Para estações de tratamento de água de abastecimento ou em casos de florações, como também para atendimento da Portaria 518 (Brasil, 2004) e CONAMA 357 (Brasil, 2005) é necessário contar o número de células de cianobactérias por haver grande risco de produção de toxinas. A expressão dos resultados pode em células por mililitro ( $\text{cel mL}^{-1}$ ) ou em biovolume ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ ).

Nas formas unicelulares, a contagem do número de organismos corresponde ao número de células registradas. Para as formas coloniais JARDIM *et al.* (2002), sugerem a realização de uma média do número de células que ocupam um quadrado do retículo de Whipple, sendo esse valor, multiplicado pelo número de quadrados ocupados pela colônia. Quando as cianobactérias coloniais ocorrerem formando florações, AGUJARO, 2006 recomenda dissolver as mucilagens e transformar as colônias em células soltas. Em seguida, as células podem ser contadas em microscópio comum com câmara de Sedgwick-Rafter ou em microscópio invertido, utilizando-se câmara de sedimentação. De acordo com AGUJARO, 2006, a dissolução da mucilagem pode ser feita por digestão a quente por hidróxido de potássio (KOH) a uma molaridade de 0,03M. coloca-se o hidróxido de potássio na amostra na proporção 1:1 ou 1:2, mantendo-se as amostras em estufa por 15 minutos ou mais.

Para cianobactérias filamentosas, conta-se as células de aproximadamente 30 filamentos, aleatoriamente. Calcula-se a média de células por filamento, para cada espécie presente na amostra. Em seguida, na câmara de contagem, conta-se o número de filamentos encontrados e multiplica-se pela média de células calculada anteriormente .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na ocorrência de cianobactérias planctônicas e de água bruta presentes no Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo, mananciais de abastecimento de água para consumo humano no município de Viçosa, foi elaborado o Manual de Identificação e Caracterização de Cianobactérias Isoladas nos Mananciais de Abastecimento Público de Viçosa.

De acordo com o sistema de classificação (KOMÁREK e ANAGNOSTIDIS, 1989; 1998; 2005 e ANAGNOSTIDIS e KOMÁREK, 1990), as cianobactérias são classificadas em quatro ordens:

- Chroococcales – talos unicelulares ou coloniais.
- Oscillatoriales – talos filamentosos homocitados (sem heterocitos e acinetos).
- Nostocales – talos filamentosos, heterocitados (com heterocitados (com heterocitos e/ou acinetos), sem ramificações ou com ramificações falsas).
- Stigonematales – talos filamentosos heterocitados, com ramificações verdadeiras.

As 18 espécies de cianobactérias encontradas estão distribuídas em 11 gêneros. A maioria pertence a ordem Nostocales (44,4%). A distribuição das ordens encontradas nos pontos amostrados está apresentada na FIGURA 1.

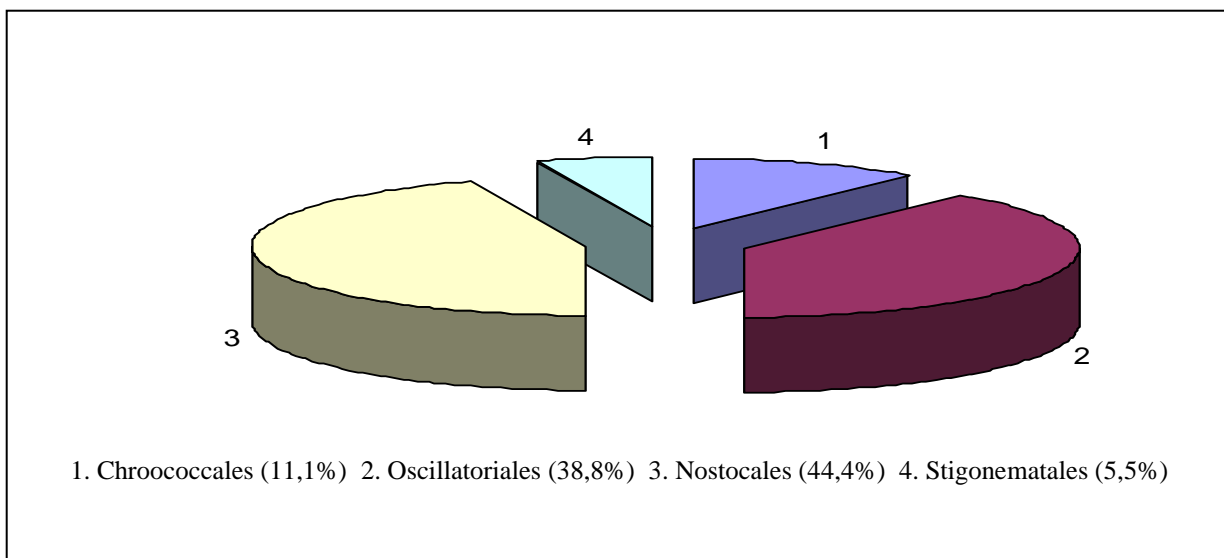


FIGURA 1: Distribuição das ordens de cianobactérias nos mananciais estudados

A sinopse das espécies é apresentada, seguida de uma chave para identificação dessas cianobactérias, acompanhadas de suas principais características morfológicas, métricas e ilustrações.

Para utilizar a chave de identificação, deve-se observar primeiramente a característica mais geral do organismo, isto é, se é um talo unicelular ou colonial ou ainda, se é filamentosos. Essa informação conduz o usuário para a alternativa 1a ou 1b. A partir daí, as etapas seguintes vão detalhando as características das cianobactérias. Deve-se seguir sempre a seqüência numérica, conferindo impreterivelmente as duas alternativas apresentadas para cada número (SANT'ANNA *et al*, 2006).

### 3.1 Sinopse das cianobactérias mais comuns nos mananciais de Viçosa (Ribeirão São Bartolomeu e Rio Turvo Sujo)

Cyanophyta (= Cyanobacteria ou Cyanoprocaryota)

Cyanophyceae

Chroococcales

Synechococcaceae

*Synechococcus* Nägeli

*S. nidulans* (Pringsheim) Komárek in Bourrelly 1970

Merismopediaceae

*Synechocystis* Sauvageau

*S. cf. aquatilis* Sauvageau

Oscillatoriales

Pseudanabaenaceae

*Pseudanabaena* Lauterborn

*P. catenata* Lauterborn

*P. galeata* Böcher

*Geitlerinema* (Anagnostidis *et* Komárek) Anagnostidis

*G. splendidum* (Greville ex Gomont) Anagnostidis

*Limnothrix* Meffert

*Limnothrix* sp.

Phormidiaceae

*Phormidium* Kützing ex Gomont

*P. granulatum* (Gardner) Anagnostidis

*P. cf. retzii* (Agardh) Gomont ex Gomont

Oscillatoriaceae

*Oscillatoria* Vaucher ex Gomont

*O. subbrevis* Schmidle

Nostocales

Rivulariaceae

*Calothrix* C. Agardh *ex* Bornet & Flahault

*Calothrix braunii* Bornet et Flahault, 1886

Nostocaceae

*Anabaena* Bory *ex* Bornet & Flahault

*A. ambigua* C.B. Rao, 1937

*A. inaequalis* Bornet et Flahault, 1888

*Nostoc* Vaucher

*Nostoc* cf. *muscorum*

*Nostoc* cf. *carneum*

*Nostoc microscopicum*

*Nostoc commune*

*Nostoc* sp.

Stigonematales

*Stigonema* sp.

### 3.2 Chave para identificação dessas cianobactérias

- 1a. Talos unicelulares ou coloniais..... ORDEM CHROOCCOCCALES..... 2
- 1b. Talos filamentosos..... 3
- 2a. Divisão celular sempre em um só plano .....Família Synechococcaceae  
Indivíduos unicelulares, raramente formando pequenos agregados;  
células cilíndricas ou oblongas .....*Synechococcus nidulans*
- 2b. Divisão celular sempre em dois planos ..... Família Merismopediaceae  
Indivíduos isolados ou raramente formando pequenos agregados;  
células arredondadas ..... *Synechocystis cf. aquatilis*
- 3a. Tricomas homocitados .....ORDEM OSCILLATORIALES ... 4
- 3b. Tricomas heterocitados ..... 10
- 4a. Células mais longas que largas; fragmentação do tricoma sem formação  
de necrídio.....Família Pseudanabaenaceae... 5
- 4b. Células ± isodiamétricas; fragmentação do tricoma com formação necrídios ..... 8
- 5a. Tricomas nitidamente atenuados, células apicais capitadas ..... *Geitlerinema splendidum*
- 5b. Tricomas não atenuados, células apicais não atenuadas..... 6
- 6a. Tricomas constrictos com aerótopos nos septos transversais ou sem aerótopos.....7
- 6b. Tricomas não constrictos com aerótopos nos septos transversais..... *Limnothrix sp.*
- 7a. Tricomas com aerótopos nos septos..... *Pseudanabaena galeata*
- 7b. Tricomas sem aerótopos..... *Pseudanabaena catenata*
- 8a. Células quadráticas ou subquadráticas;  
tricomas com diâmetro de 3-7 µm..... Família Phormidiaceae. 9
- 8b. Células discóides,  
tricomas sempre superior a 3 µm de diâmetro..... Família Oscillatoriaceae  
tricomas com 5,5-6,4 de diâmetro .....*Oscillatoria subbrevis*

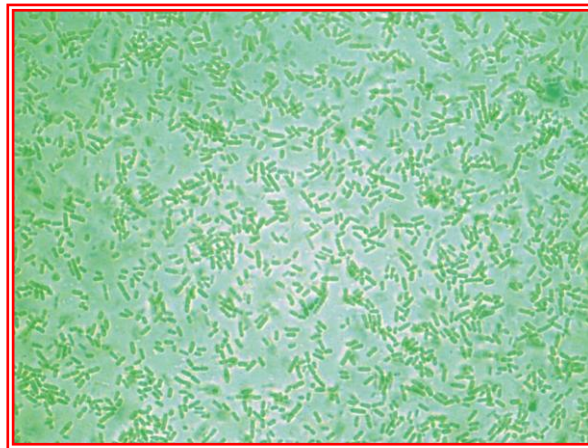
- 9a. Tricomas de 3-4µm de diâmetro; septos granulados..... *Phormidium granulatum*
- 9b. Tricomas de 4,5-12 µm de diâmetro..... *Phormidium cf retzii*
- 10a. Tricomas sem ramificação ou com ramificação falsa .... ORDEM NOSTOCALES.. 11
- 10b. Tricomas com ramificações verdadeiras ..... ORDEM STIGONEMATALES
- Ramos secundários multisseriados .....*Stigonema sp.*
- 11a. Tricomas heteropolares ..... Rivulariaceae
- Tricomas levemente constrictos, com 6,1-8,0 µm de diâmetro .....*Calothrix braunii*
- 11b. Tricomas isopolares ..... Nostocaceae 12
- 12a. Filamentos isolados ou emaranhados, não formando colônias;
- acinetos isolados ou aos pares ..... *Anabaena* 13
- 12b. Tricomas emaranhados em colônias globosas ou irregulares;
- acinetos em série ..... *Nostoc* 14
- 13a. Células cilíndricas, 4,5-6,0 µm diâm..... *Anabaena inaequalis*
- 13b. Células esféricas, 3,0-3,6 µm diâm ..... *Anabaena ambigua*
- 14a. Células arredondadas, ou em forma de barril,
- 4,6-5,7 µm diâm.; 5,3-5,8 µm comp..... *Nostoc cf muscorum*
- 14b. Tricomas densamente emaranhados, formando vários envelopes mucilaginosos;
- células cilíndricas,
- 3,5-4,6 µm diâm., 4,1-5,5µm comp..... *Nostoc cf. carneum*
- 14c. Tricomas densamente emaranhados; células oblongas,
- 4,1-4,8 µm diâm., 4,1-6,4 µm comp..... *Nostoc microscopicum*
- 14d. Tricomas paralelos; células arredondadas,
- 3,3-4,3 µm diâm., 4,4-4,8 µm comp..... *Nostoc comuns*
- 14e. Tricomas curtos, retos ou levemente curvos; células em forma de barril,
- 2,2-2,4 µm diâm., 3,3-4,1 µm comp..... *Nostoc sp.*

### 3.3 Descrição de gêneros e espécies

#### CHROOCOCCALES

##### *Synechococcus nidulans* (Pringsheim) Komárek in Bourrelly 1970

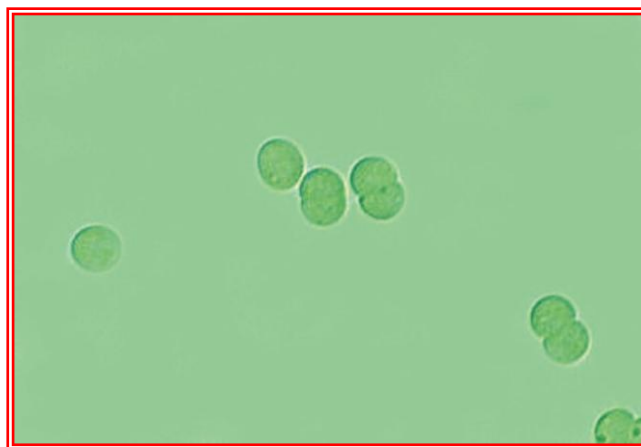
Células isoladas, oblongas, sem mucilagem; 1,5-6,4  $\mu\text{m}$  comp., 0,4-1,3  $\mu\text{m}$  diâm., ausência de aerótopos.



*Synechococcus nidulans*

##### *Synechocystis cf. aquatilis* Sauvageau, 1892

Células arredondadas isoladas, ou aos pares após a divisão celular; 3-4,2  $\mu\text{m}$  diâm., usualmente com envelope mucilaginoso; conteúdo celular verde-azulado, granuloso, sem aerótopos.

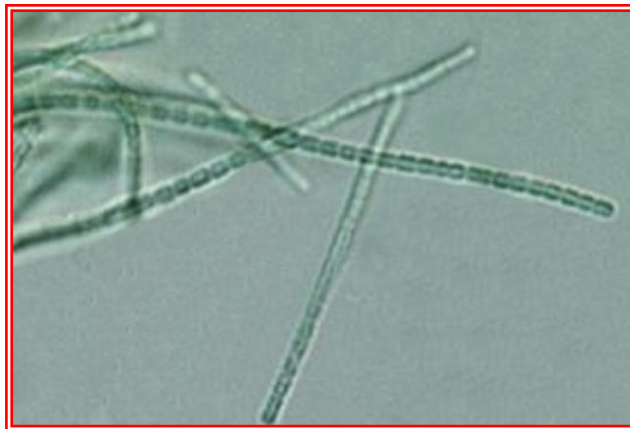


*Synechocystis cf. aquatilis*

## OSCILLATORIALES

### *Pseudanabaena catenata* Lauterborn, 1916

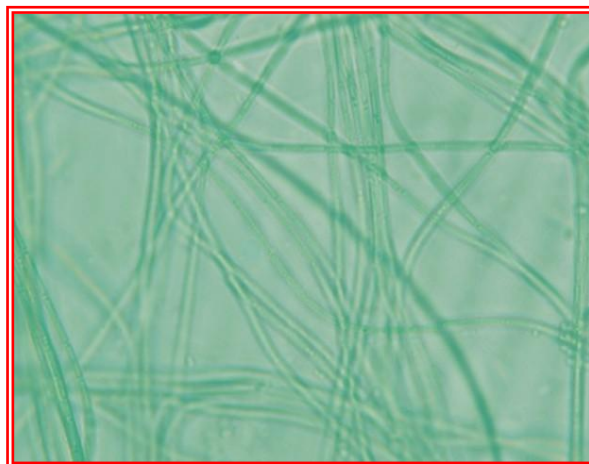
Tricomas solitários, retos, flexuosos, não atenuados, constrictos, 2-2,5  $\mu\text{m}$  diâm.; células cilíndricas, 1,5-2 vezes mais longas que largas, 2,3-4  $\mu\text{m}$  comp.; conteúdo celular verde-azulado, homogêneo, sem aerótopos; septos não granulosos; células apicais cilíndrico-arredondadas, sem espessamento.



*Pseudanabaena catenata*

### *Pseudanabaena galeata* Bocher, 1949

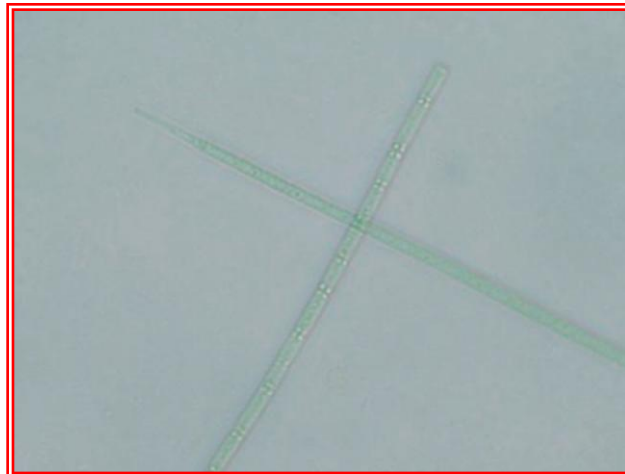
Tricomas solitários, retos, flexuosos, não atenuados, constrictos, 0,8-2,5  $\mu\text{m}$  diâm.; células cilíndricas, 2-4 vezes mais longas que largas, 2-7 (10-15)  $\mu\text{m}$  comp.; com um ou dois aerótopos polares; conteúdo celular verde-azulado, homogêneo, septos não granulosos; células apicais cilíndrico-arredondadas, sem espessamento.



*Pseudanabaena galeata*

***Geitlerinema splendidum*** (Greville *ex* Gomont) Anagnostidis, 1989

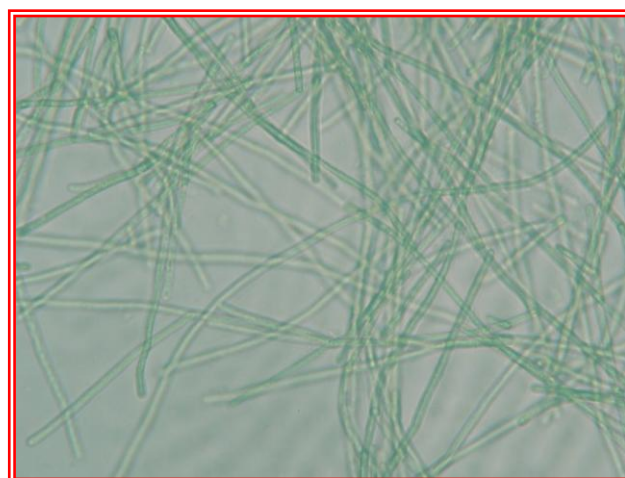
Tricomas solitários ou emaranhados, retos ou flexuosos, distintamente atenuados, não constrictos, curvos no ápice, 1,6-2,3 µm diâm.; células intermediárias 1,4-3 vezes mais longas que largas, 2,5-5,5 µm comp.; conteúdo celular verde-azulado, homogêneo, sem aerótopos; septos granulados ou não; células apicais alongadas, capitadas, 5,3-10,9 vezes mais longas que largas, capitadas, sem espessamento.



*Geitlerinema splendidum*

***Limnothrix* sp.**

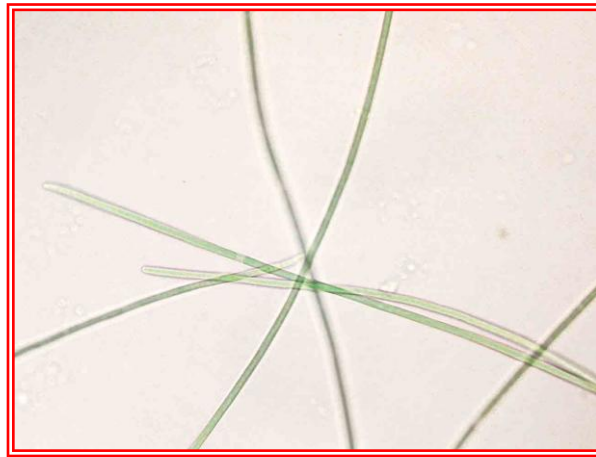
Tricomas solitários, retos, sem bainha; células 3,7-5,2 vezes mais longas do que largas, levemente separadas; 1,2-1,5 µm diâm.; 4,5-7,8 µm comp.; célula apical cilíndrico-arredondada; aerótopo no interior de cada célula.



*Limnothrix* sp.

***Oscillatoria subbrevis*** Schmidle, 1902

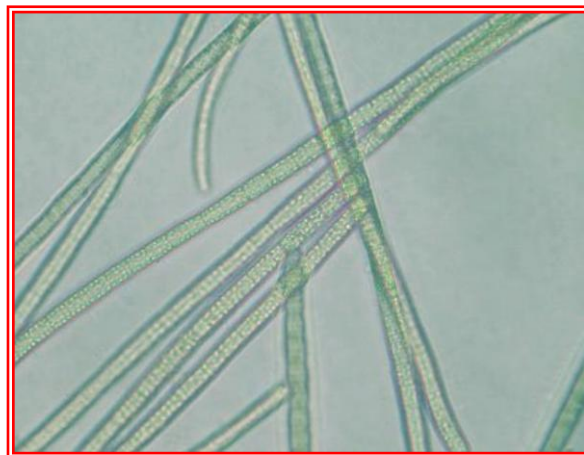
Tricomas solitários, retos, não atenuados, não constrictos, 5,5-6,4  $\mu\text{m}$  diâm.; células 2,5-3,2 vezes mais largas que longas, 1,5-2,3  $\mu\text{m}$  comp.; conteúdo celular verde-azulado, finamente granuloso; septos não granulados; células apicais arredondadas, sem espessamento.



*Oscillatoria subbrevis*

***Phormidium granulatum*** (Gardner) Anagnostidis, 2001

Tricomas retos, ligeiramente curvos no ápice, não constitos, solitários, ou formando emaranhados tipo “mats”; células  $\pm$  isodiamétricas, ou mais curtas que longas (2,8) 3-4  $\mu\text{m}$  diâm. , 2-5  $\mu\text{m}$  comp.; conteúdo celular verde-azulado; septos ganulados.

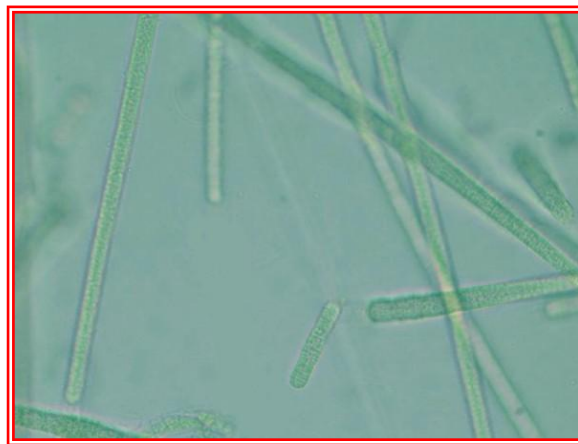


*Phormidium granulatum*

***Phormidium cf. retzii*** (Agardh) Gomont ex Gomont, 1892

Filamentos emaranhados formando “mats”; azul-esverdeado ou acastanhado; tricomas 3,2-8,5 µm diâm.; conteúdo celular homogêneo, sem grânulos; não constrictos nos septos; bainha presente; células 3 – 7,9 µm compr., predominantemente mais curtas que longas; célula apical cilíndrico-arredondada, 4,0 – 8,7 µm compr., sem caliptra.

Os espécimes encontrados apresentaram medidas inferiores àquelas descritas por Komárek e Anagnostidis, 2002, ou seja, células com 4,5-12 µm diâm., 3,2-9 compr. Por essa razão preferiu-se registrar a ocorrência do táxon como *Phormidium cf. retzii*.



*Phormidium cf. retzii*

***Anabaena ambigua*** C.B. Rao, 1937

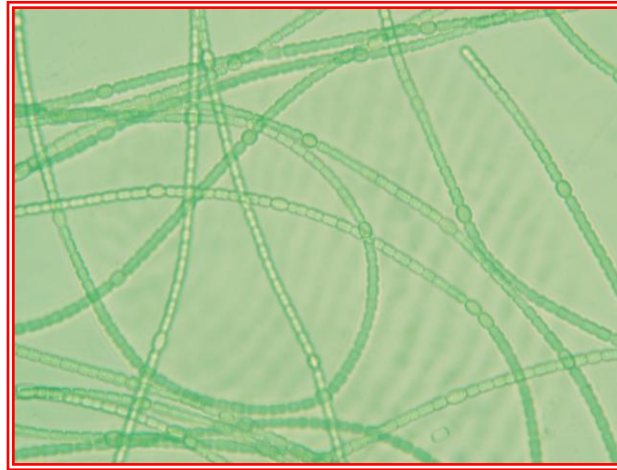
Tricomas emaranhados, constrictos; células cilíndricas, mais curtas que largas, quase isodiamétricas, 3,3-4,5 µm diâm; 3,0-4,8 µm comp.; células apicais atenuadas; heterocitos mais ou menos esféricos, solitários, 4,5-4,9 µm diâm.; 6,0-6,5µm comp.; acinetos ovais, 7,1-8,3x(7,0-) 9,0-9,5 (-12,8) µm.



*Anabaena ambigua*

***Anabaena inaequalis*** Bornet et Flahault, 1888

Tricomas retos ou flexuosos, sem bainha mucilaginosa; células cilíndricas ou em forma de barril; 4,5-5,1  $\mu\text{m}$  diâm., 6,4-9,8  $\mu\text{m}$  comp., sem aerótopos; célula apical arredondada; heterocitos 5,5-5,9  $\mu\text{m}$  diâm., 7,1-8,0  $\mu\text{m}$  comp.



*Anabaena inaequalis*

***Calothrix braunii*** Bornet et Flahault, 1886

Filamentos solitários ou em grupos, 11,0-12  $\mu\text{m}$  diâm., bainha homogênea, incolor, usualmente delgada; tricomas não constrictos, curvos; células quadráticas, 6,1-8,0  $\mu\text{m}$  diâm., 8,5-11  $\mu\text{m}$  comp.; heterocito arredondado, subcônico, basal, único, 7,0-12,0  $\mu\text{m}$  diâm.



*Calothrix braunii*

***Stigonema* sp.**

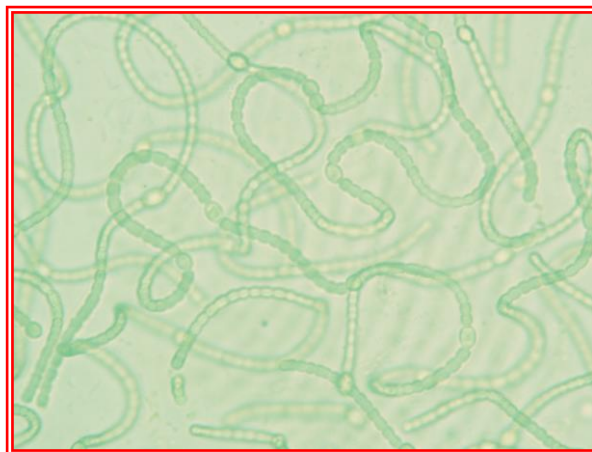
Talos filamentosos heterocitados, com ramificações verdadeiras; células do filamento principal, 4,5-5,7  $\mu\text{m}$  diâm., 8,8-12,1  $\mu\text{m}$  comp.; células das ramificações secundárias quadráticas, 5,5-7,1  $\mu\text{m}$  diâm., 6,0-7,4  $\mu\text{m}$  comp.



*Stigonema* sp.

***Nostoc* cf. *muscorum*** Agardh ex Bornet et Flahault, 1886-1888

Filamentos soltos; células arredondadas, ou em forma de barril, 4,6-5,7  $\mu\text{m}$  diâm.; 5,3-5,8  $\mu\text{m}$  comp.; acinetos cilíndricos, 4,0-4,4  $\mu\text{m}$  diâm., 6,6-6,8  $\mu\text{m}$  comp.; heterocitos terminais e intercalares, oval, 5,9-6,2  $\mu\text{m}$  diâm., 7,0-7,9  $\mu\text{m}$  comp.



*Nostoc* cf. *muscorum*

*Nostoc cf carneum* C. Agardh, 1824

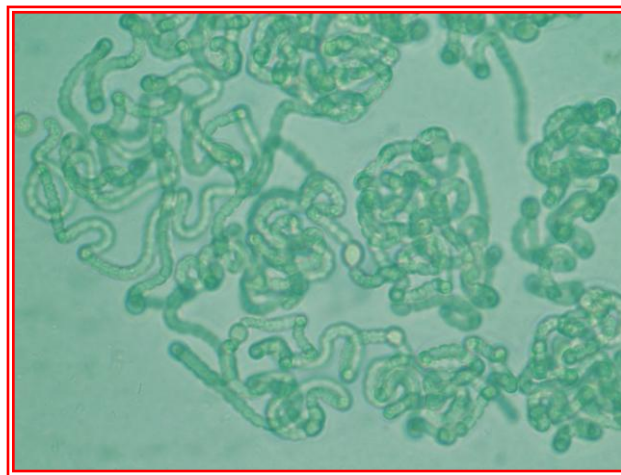
Filamentos densamente emaranhados, formando vários envelopes mucilaginosos; células cilíndricas, 3,5-4,6  $\mu\text{m}$  diâm., 4,1-5,5 $\mu\text{m}$  comp.; heterocitos arredondados, intercalando os envelopes mucilaginosos, 4,8-6,2  $\mu\text{m}$  diâm., 4,6-8,6  $\mu\text{m}$  comp.



*Nostoc carneum*

*Nostoc microscopicum* Carmichael, 1833

Colônias irregularmente globosas; tricomas curvos, densamente emaranhados; células oblongas, 4,1-4,8  $\mu\text{m}$  diâm., 4,1-6,4  $\mu\text{m}$  comp.; acinetos oblongos, 5,0-5,4  $\mu\text{m}$  diâm., 7,2-7,8  $\mu\text{m}$  comp.; heterocitos arredondados, 5,0-5,2  $\mu\text{m}$  diâm., 6,0-6,2  $\mu\text{m}$  comp.



*Nostoc microscopicum*

*Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault 1886

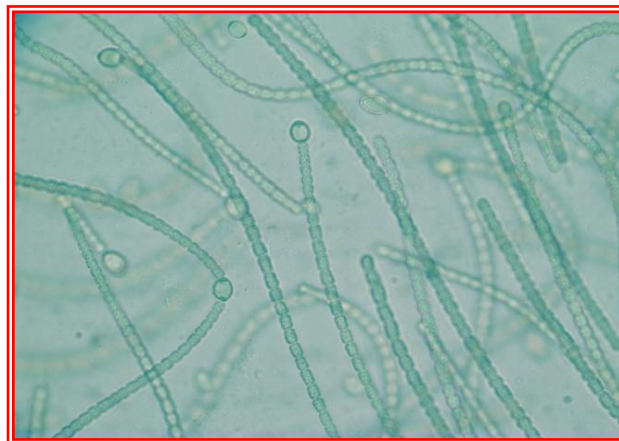
Tricomas paralelos; células arredondadas, 3,3-4,3  $\mu\text{m}$  diâm., 4,4-4,8  $\mu\text{m}$  comp.; heterocito oval, 4,6-4,8  $\mu\text{m}$  diâm., 4,8-5,2  $\mu\text{m}$  comp.



*Nostoc commune*

*Nostoc* sp.

Tricomas curtos, retos ou levemente curvos; células em forma de barril, 2,2-2,4  $\mu\text{m}$  diâm., 3,3-4,1  $\mu\text{m}$  comp.; célula apical em forma de seta; acineto 4,4-4,8  $\mu\text{m}$  diâm., 4,8-6,8  $\mu\text{m}$  comp.; heterocito arredondado, 4,1-4,3  $\mu\text{m}$  diâm., 4,6-6,4  $\mu\text{m}$  comp.



*Nostoc* sp.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUJARO, L.F. Métodos de análise. In: SANT'ANNA, C.L. *et al.* Manual Ilustrado para **Identificação e Contagem de Cianobactérias Planctônicas de Águas Continentais Brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência. 58p. 2006

ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of cyanophytes 5 – Stigonematales. **Algological Studies**, Stuttgart. V.79, p.1-73. 1990.

CARMICHAEL, W.W. Cyanobacteria secondary metabolites – The cyanotoxins. **J. Appl. Bact.**, 72: p.445-459. 1992.

CARMICHAEL, WW. The toxins of cyanobacteria. **Scientific Am**; 270: p.78-86. 1994.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to the Public Health Consequences, Monitoring and Management**. Ingrid Chorus & Jamie Bartram Eds. E & FN Spon, London. 416p. 1999.

CYBIS, L.F.; BENDATI, M.M.; MAIZONAVE, C.R.M.; WERNER, R.; DOMINGUES, C.D. **Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba do Sabão e Lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: ABES. Prosab. 64p. 2006.

CODD, G.A.; METCALF, J.S.; BEATTIE, K.A. Retention of *Microcystis aeruginosa* and microcystin by salad lettuce (*Latuca sativa*) after spray irrigation with water containing cyanobacteria. **Toxicon** 37: p.1181-1185, 1999.

DOR, I.; DANIN, A. Cyanobacterial desert crusts in the “Dead Sea Valley”. Israel. *Archive Hydrobiological, Supplement 117, Algological Studies*, 83, p.197-206. 1996.

FERNANDES, V.O.; DIAS JUNIOR, C.; SOUZA, B.D.A.; OLIVEIRA, E.C.M.A.; SILVA, J.P.A.; PEREIRA, T.A.; KALE, E.; GORZA, N.; CERESINO, A.; OLIVEIRA, A.R. **Potencial de florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento doméstico no estado do Espírito Santo (reservatório Duas Bocas-Cariacica-ES)**. Relatório apresentado à Funasa. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2005.

FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano, na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano.** Brasília-DF. 56p. 2003.

JARDIM, F.A; MACHADO, J.N.A.; SCHEMBRI, M.C.; AZEVEDO, S.; von SPERLING, E. A experiência da COPASA no monitoramento detecção e adoção de medidas mitigadoras para as cianobactérias tóxicas em estações de tratamento de água - Minas Gerais - Brasil.; XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Porto Alegre. p.1- 4. 2000.

\_\_\_\_\_. Metodologia para contagem de cianobactérias em células/mL. Um novo desafio para o analista de laboratórios. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ. v.7, n.3, p.109-111. 2002.

KOMARÉK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophyte, 4: Nostocales. **Algological Studies**, Stuttgart, v. 56, p. 247-345. 1989.

\_\_\_\_\_. Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales. In: Ettl, H.; Gärtner, G.; Heynig, H.; Mollenhauer, D. (Eds). **Süsswasserflora von Mitteleuropa**. Jena: G. Fischer. 1998.

\_\_\_\_\_. Cyanoprokaryota. 2. Teil Oscillatoriales. In: BUDEL, B *et al.* (Ed.) **Süsswasserflora von Mitteleuropa**. Berlin: Heidelberg: Elsevier Spectrum, v.19, pt.2, il. 2005.

SENNA, P.A.C. **Nostocophyceae do município de São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP: 1982.

SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Identificação e ilustração dos principais gêneros. In: SANT'ANNA, C.L. *et al.* **Identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras.** Rio de Janeiro: Interciência. p.3-53. 2006.

WERNER, V.R. **Cyanophyceae/Cyanobacteria no Sistema de Lagoas e Lagunas da Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul**, Brasil. Dissertação de Doutorado da Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro, Rio Claro, SP. 363p. 2002.

YUNES, J.S. **Abastecimento e toxicidade de florações de cianobactéria: homem: vítima ou culpado?** Apostila do curso de capacitação. IPEN/CNEN-SP; SABESP; USP. São Paulo, SP. 2001.