

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**Estudo da associação entre parâmetros bióticos e
abióticos e a ocorrência de florações de
cianobactérias no reservatório de Vargem das
Flores – MG.**

Lenora Nunes Ludolf Gomes

Belo Horizonte

2008

**Estudo da associação entre parâmetros bióticos e
abióticos e a ocorrência de florações de
cianobactérias no reservatório de Vargem das
Flores – MG.**

Lenora Nunes Ludolf Gomes

Lenora Nunes Ludolf Gomes

**Estudo da associação entre parâmetros bióticos e
abióticos e a ocorrência de florações de
cianobactérias no reservatório de Vargem das
Flores – Minas Gerais.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Caracterização e modelagem da qualidade de água para consumo humano

Orientador: Prof. Eduardo von Sperling

Co-orientadora: Prof^a. Alessandra Giani

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2008

*Aos meus queridos pais e
irmão.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador prof. Eduardo von Sperling, pelos conhecimentos transmitidos, incentivo e apoio em todos os momentos.

À prof.^a Alessandra Giani, pela co-orientação e colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

À querida amiga Sílvia M. A. C. Oliveira, companheira incansável nas longas e prazerosas horas de discussões sobre o trabalho, pelo incentivo e carinho inesquecíveis.

Ao prof. Brett Neilan pelo incentivo e oportunidade de desenvolver parte do trabalho em seu laboratório na Austrália.

Ao prof. Valter Lúcio de Pádua, pelas valiosas discussões e pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

À prof.^a Sandra M. F. O. Azevedo, por ter sempre me incentivado e orientado no meu caminho profissional.

À prof.^a Beatriz S. O. de Ceballos pelas contribuições e discussões enriquecedoras ao longo da pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, sempre dispostos a me ajudar quando precisei.

Aos queridos amigos e companheiros de longas noites de laboratório Jacson, Ana Maria e Lucinda, pelo apoio incondicional em todos os momentos e principalmente durante o ano em que estive na Austrália.

Às queridas amigas Valéria, Adriana e Silvana, por todo o carinho e apoio em todos os momentos.

A todos os colegas da equipe do Prosab Água - UFMG pela valiosa convivência e aprendizado mútuo.

À Iara, secretária do Programa de Pós-Graduação, pela constante disposição em me ajudar e apoio durante todos esses anos.

A todos os funcionários do DESA, em especial, Norma, Reginaldo, Deyse e Cláudia.

A todos os pesquisadores participantes da rede do Prosab edital-4 (EESC/USP, EPUSP, FEIS/UNESP, UFSC, UNB e IPH/UFRGS) pela gratificante troca de conhecimento durante os trabalhos.

À Copasa, em especial às equipes do Laboratório Central e da ETA de Vargem das Flores pelo apoio e disponibilização de sua estrutura e equipamentos durante a pesquisa.

Aos amigos queridos do Laboratório Central da Copasa Fernando Jardim, Patrícia Galinari, Simoni Cavaliere, Arlindo Mauro, pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

Ao Arlindo Valter, companheiro de tantas coletas que com dedicação e eficiência garantiu a boa qualidade das amostras.

Aos colegas do laboratório da Austrália, em especial à Anne Jungblut pelo treinamento e apoio permanente.

Ao CT-HIDRO e CNPq, pela concessão das bolsas.

À Finep e CEF, pelo financiamento do projeto dentro do âmbito do Prosab.

A todos os amigos e colegas que sempre me incentivaram e contribuíram nessa caminhada.

À Dona Chica pelo carinho e lembranças sempre amorosas.

E finalmente, à UFMG que foi responsável por toda minha formação.

RESUMO

O presente estudo visa compreender as relações entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos, e a ocorrência de cianobactérias no manancial de Vargem das Flores/MG. Para tanto, foi realizado o monitoramento dos parâmetros bióticos e abióticos da água do reservatório entre outubro de 2004 e outubro de 2007, e também estudo genético das cianobactérias isoladas do manancial. Os resultados dos parâmetros monitorados (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, Ferro Total, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*) indicaram perfis de distribuição na coluna d'água, tanto dos fatores físicos e químicos quanto dos biológicos, característicos para cada estação de amostragem. Análise estatística de agrupamento confirmou que a estação 1, localizada próxima à torre de tomada d'água da ETA, possui comportamento diferenciado, quase sempre apresentando água de melhor qualidade. Em geral, foi observada estratificação da coluna d'água, apresentando anoxia e maior concentração de nutrientes no hipolímnio durante o período chuvoso (verão) e circulação da massa d'água no período seco (inverno). O grupo das cianobactérias não foi encontrado durante o período seco, retornando logo após a desestratificação sendo esse ciclo repetido durante os três anos de pesquisa. Foi observada sucessão das espécies de cianobactérias encontradas no reservatório, com predomínio ao final do estudo do gênero *Aphanocapsa* sp. (picoplâncton). Através das análises de componentes principais pode ser percebido um padrão de correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de ortofosfato e fósforo total em todas as profundidades da coluna d'água. Uma concentração mais elevada de fósforo foi verificada sempre antes do aparecimento das cianobactérias, indicando a relação desse nutriente com a ocorrência do grupo. Os resultados da investigação da presença dos genes da síntese de microcistina mostraram que as cianobactérias isoladas apresentaram apenas parte desses genes. Apenas um dos isolados apresentou atividade tóxica por inibição da enzima fosfatase, porém não foi evidenciada a presença de microcistinas.

ABSTRACT

The aim of this study is to understand the associations between physical, chemical and biological features and the occurrence of cyanobacteria in the water supply reservoir Vargem das Flores/MG. A monitoring program was undertaken in four sampling sites from October 2004 to October 2007 to investigate the following parameters: temperature, dissolved oxygen, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻, P-TP turbidity, color, alkalinity, chlorides, conductivity, pH, total iron, total suspended solids, phytoplankton and zooplankton quantification, chlorophyll-*a*, together with a molecular biology research of the cyanobacteria isolated from the reservoir. According to the results of the physical, chemical and biological factors the water column profiles presented different behavior for each sampling site. The cluster analyses found better water quality for sampling site 1, located close to the water treatment plant withdrawal. In general, the lake was stratified during the summer (raining season) leading to the formation of an anoxic hypolimnion and higher concentrations of nutrients. Deep mixing occurred only once during the cool, dry season. The cyanobacteria group followed a seasonal pattern during the three year research period. The group was absent in the dry period, returning after the onset of stratification (warm season). A succession pattern was observed within the cyanobacteria group in the reservoir. The *Aphanocapsa* genus (picoplankton) was dominant in the last period. The PCA analysis showed negative correlation between cyanobacteria and orthophosphate and total phosphorus concentrations. A higher concentration of phosphorus was observed just before the occurrence of cyanobacteria. The results of the molecular biology study indicated that the cyanobacterial isolates possessed only part of the genes from the microcystin gene cluster and only one of the isolates presented toxicity effect by protein phosphatase 2A inhibition assay, although no microcystin could be detected.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE QUADROS.....	XII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 TOXINAS PRODUZIDAS PELAS CIANOBACTÉRIAS	4
3.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE CIANOTOXINAS E A OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES	6
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1 ÁREA DE ESTUDO	14
4.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA	16
4.3 MÉTODOS DE ANÁLISE	18
4.3.1 <i>Coletas</i>	18
4.3.2 <i>Parâmetros físicos e químicos</i>	19
4.3.3 <i>Parâmetros biológicos</i>	20
4.3.3.1 Análise qualitativa do fitoplâncton	20
4.3.3.2 Análise quantitativa do fitoplâncton	20
4.3.3.3 Análise qualitativa e quantitativa do zooplâncton.....	21
4.3.3.4 Análise de Clorofila-a.....	21
4.3.3.5 Análise de Cianotoxinas	21
4.3.4 <i>Estudo genético e investigação da toxicidade dos isolados de cianobactéria</i>	22
4.3.4.1 Isolamento e cultivo das cianobactérias	22
4.3.4.2 Extração de DNA	23
4.3.4.3 Amplificação das seqüências alvo do DNA	23
4.3.4.4 Seqüenciamento dos produtos da PCR.....	25
4.3.4.5 Processamento e análises filogenéticas das seqüências	25
4.3.4.6 Investigação da presença de microcistinas e/ou metabólitos secundários.....	25
4.3.5 <i>Tratamento estatístico e apresentação gráfica dos resultados</i>	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS BIÓTICOS E ABIÓTICOS ANALISADOS NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES DA COLUNA D'ÁGUA	30
5.1.1 <i>Estação 1</i>	31
5.1.1.1 Parâmetros abióticos.....	31
5.1.1.2 Parâmetros bióticos	46
5.1.2 <i>Estação 2</i>	51
5.1.2.1 Parâmetros abióticos.....	51
5.1.2.2 Parâmetros bióticos	62
5.1.3 <i>Estação 3</i>	66
5.1.3.1 Parâmetros abióticos.....	66
5.1.3.2 Parâmetros bióticos	77
5.1.4 <i>Estação 4</i>	80
5.1.4.1 Parâmetros abióticos.....	80
5.1.4.2 Parâmetros bióticos	91
5.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS PARÂMETROS BIÓTICOS E ABIÓTICOS NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DO RESERVATÓRIO	94
5.2.1 <i>Parâmetros abióticos</i>	94
5.2.1.1 Avaliação temporal das quatro estações de amostragem.....	94
5.2.1.2 Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem.....	105

5.2.2	<i>Parâmetros bióticos</i>	111
5.2.2.1	Avaliação temporal das quatro estações de amostragem.....	111
5.2.2.2	Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem.....	116
5.2.3	<i>Estudo das relações entre nutrientes e ocorrência de cianobactérias</i>	116
5.2.4	<i>Verificação da condição da qualidade da água do reservatório em termos da legislação ambiental</i>	122
5.3	ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS.....	124
5.3.1	<i>Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades</i>	124
5.3.2	<i>Análise de agrupamentos - Superfície</i>	126
5.3.3	<i>Análise de agrupamentos - Secchi</i>	127
5.3.4	<i>Análise de agrupamentos – 5 metros</i>	127
5.3.5	<i>Análise de agrupamentos - Fundo</i>	128
5.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	129
5.4.1	<i>Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades</i>	129
5.4.2	<i>Análise de componentes principais – Superfície</i>	133
5.4.3	<i>Análise de componentes principais - Secchi</i>	136
5.4.4	<i>Análise de componentes principais – Cinco metros</i>	138
5.4.5	<i>Análise de componentes principais - Fundo</i>	141
5.5	ESTUDOS GENÉTICOS E INVESTIGAÇÃO DA TOXICIDADE DAS CIANOBACTÉRIAS	144
5.5.1	<i>Estudo genético</i>	144
5.5.1.1	Caracterização molecular - Filogenia.....	144
5.5.1.2	Investigação do potencial de biossíntese de microcistinas e metabólitos secundários.....	147
5.5.2	<i>Investigação da toxicidade dos isolados</i>	152
6	CONCLUSÕES	159
7	RECOMENDAÇÕES	161
	REFERÊNCIAS	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Localização do reservatório de Vargem das Flores/MG.....	15
Figura 4.2 -- Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Vargem das Flores/MG (SOUZA, 2003).....	17
Figura 5.1 - Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura (oC), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	34
Figura 5.2 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	35
Figura 5.3 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato(μg/L), fósforo total (μg/L) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.....	36
Figura 5.4 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	37
Figura 5.5 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade (μS/cm), sólidos em suspensão totais (mg/L) e ferro total (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	38
Figura 5.6 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a outubro/07 – Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	45
Figura 5.7 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.	46
Figura 5.8 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.....	47
Figura 5.9 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila (μg/L) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	48
Figura 5.10 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura (oC), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	54
Figura 5.11 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	55
Figura 5.12 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato(μg/L), fósforo total (μg/L) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.....	56
Figura 5.13 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	57
Figura 5.14 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade (μS/cm) e sólidos em suspensão totais (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.	58
Figura 5.15 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	62
Figura 5.16 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.	62
Figura 5.17 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.....	63
Figura 5.18 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila (μg/L) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	64
Figura 5.19 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura (oC), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.	69
Figura 5.20 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.	70

Figura 5.21 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato ($\mu\text{g/L}$), fósforo total ($\mu\text{g/L}$) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.....	71
Figura 5.22 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.	72
Figura 5.23 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos em suspensão totais (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	73
Figura 5.24 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	76
Figura 5.25 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.	76
Figura 5.26 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.....	77
Figura 5.27 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila ($\mu\text{g/L}$) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.....	78
Figura 5.28 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.	83
Figura 5.29 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	84
Figura 5.30 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato ($\mu\text{g/L}$), fósforo total ($\mu\text{g/L}$) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	85
Figura 5.31 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.	86
Figura 5.32 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos em suspensão totais (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	87
Figura 5.33 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	90
Figura 5.34 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.	90
Figura 5.35 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	91
Figura 5.36 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila ($\mu\text{g/L}$) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	92
Figura 5.37 - Perfil térmico ($^{\circ}\text{C}$) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.....	95
Figura 5.38 - Perfil da distribuição da concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	97
Figura 5.39 - Perfil da distribuição da concentração de amônio (mg/L) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.....	99
Figura 5.40 - Perfil da distribuição da concentração de nitrato (mg/L) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	101
Figura 5.41 - Perfil da distribuição da concentração de ortofosfato ($\square\text{g/L}$) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	102

Figura 5.42 - Perfil da distribuição da concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	104
Figura 5.43 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.....	105
Figura 5.44 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade de extinção do disco de Secchi - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.	106
Figura 5.45 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.....	107
Figura 5.46 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 1 metro do fundo - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.	108
Figura 5.47 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade da superfície, Secchi e 5 metros- período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.....	110
Figura 5.48 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.	110
Figura 5.49 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água das estações amostrais 1, 2, 3 e 4 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a junho/2006.	111
Figura 5.50 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água da estação 1 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007.	112
Figura 5.51 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 1 no período de outubro/04 a outubro/07. Vargem das Flores/MG.....	118
Figura 5.52 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 2 no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG.....	119
Figura 5.53 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 3 no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG.....	120
Figura 5.54 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 4 no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG.....	121
Figura 5.55 - Dendograma das estações de amostragem distribuídos ao longo das profundidades, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante.	125
Figura 5.56 - Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando os períodos (a) chuvoso e (b) seco.	125
Figura 5.57 -Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando ambos os períodos numa distância euclidiana maior ($(D_{link}/D_{max}) \times 100 > 85$).	126
Figura 5.58 - Dendograma das estações amostragem distribuídos ao longo da superfície, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.	126
Figura 5.59 - Dendograma das estações amostragem distribuídos ao longo da profundidade de Secchi, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.....	127

Figura 5.60 - Dendrograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo da profundidade de 5 metros, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante. ...	128
Figura 5.61 - Dendrograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo do fundo, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante.	128
Figura 5.62 - Gráfico de autovalor para determinação do número de componentes principais pelo critério do teste scree, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	130
Figura 5.63 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos nas quatro profundidades nas quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	132
Figura 5.64 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na superfície das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	135
Figura 5.65 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na profundidade de Secchi das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	137
Figura 5.66 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na profundidade de 5 metros das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	140
Figura 5.67 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos no fundo das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	142
Figura 5.68- Colônias do cultivo de <i>Spaherocavum brasiliense</i> isoladas do manancial de Vargem das Flores/MG.	145
Figura 5.69 - Árvore filogenética da porção 16S DNAr dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados no cladogramas.	146
Figura 5.70 - Esquema do agrupamento de genes responsáveis pela síntese das microcistinas.	147
Figura 5.71 - Árvore filogenética da sequência de aminoácidos codificada pelo gene <i>mcyB</i> dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados no cladogramas.	151
Figura 5.72- Espectros gerados nas análises por HPLC apresentando a curva do padrão de microcistina-LR, do extrato da cepa <i>M. aeruginosa</i> 7806 e do extrato do isolado VF 3 do reservatório de Vargem das Flores/MG.	153
Figura 5.73 - Espectro de massa Maldi-Tof do padrão de microcistina -LR.	154
Figura 5.74- Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 11 minutos do cromatograma.	155
Figura 5.75 - Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 21 minutos do cromatograma.	156
Figura 5.76 - Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 23 minutos do cromatograma.	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Dados morfométricos da represa de vargem das Flores	15
Tabela 5.1 - Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 1 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	32
Tabela 5.2 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 1 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	33
Tabela 5.3 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 2 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	52
Tabela 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 2 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	53
Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 3 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	67
Tabela 5.6 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 3 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	68
Tabela 5.7 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 4 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	81
Tabela 5.8 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 4 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	82
Tabela 5.9 - Valores da relação N:P na profundidade de extinção do disco de Secchi das estações de amostragem – Vargem das Flores-MG.	122
Tabela 5.10 - Percentual de atendimento aos padrões de qualidade da água preconizados pela Resolução Conama 357/05 para águas doces de Classe 2.	123
Tabela 5.11– Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas nas quatro profundidades nas quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco	131
Tabela 5.12 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na superfície das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco.....	134
Tabela 5.13 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de Secchi das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco.....	136
Tabela 5.14 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de 5 metros das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco.....	139
Tabela 5.15 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas no fundo das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Características das estações de amostragem.....	17
Quadro 4.2 - Programa de monitoramento das estações.....	19
Quadro 4.3 – Relação dos parâmetros físicos e químicos para o monitoramento da represa de Vargem das Flores e seus respectivos métodos de análise.....	19
Quadro 4.4 - Relação dos oligonucleotídeos iniciadores usados para amplificação das diferentes porções do genoma das cianobactérias estudadas.....	24
Quadro 5.1 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	39
Quadro 5.2 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	40
Quadro 5.3 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	49
Quadro 5.4 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	49
Quadro 5.5 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	59
Quadro 5.6 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	60
Quadro 5.7 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	65
Quadro 5.8 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	65
Quadro 5.9 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	74
Quadro 5.10 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	75
Quadro 5.11 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	79
Quadro 5.12 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	79
Quadro 5.13 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	88

Quadro 5.14 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	89
Quadro 5.15 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	93
Quadro 5.16 - Composição do fitoplâncton da represa de Vargem das Flores – Minas Gerais.....	114
Quadro 5.17 - Resultados positivos das reações em cadeia da polimerase (PCR) para os iniciadores testados.....	148

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACP	Análise de componentes principais
APHA	AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION
ASM-1	Meio líquido para cultura de cianobactérias
Alc	Alcalinidade
Bac	Bacillariophyta
Blast	Basic Local Aligment Search Tool
Chloro	Chlorophyceae
Ciano	Cianobactérias
Cl	Cloretos
Cl-a	Clorofila-a
Copasa	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
Condut	Condutividade
CP	Componente principal
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
E1-E2-E3-E4	Estação 1, 2,3 e 4
EDTA	Etileno Diamino Tetra Acetato de Sódio Diidratado
ELISA	(Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)
EXPASY	Expert Protein Analysis System
Fito	fitoflagelados
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
LPS	Lipopolissacarídeos
MS	Ministério da Saúde
µm	Micrômetro
mg/L	Miligrama/Litro
µg/L	Micrograma/Litro
NCBI	National Center for Biotechnology Information
PCR	Polymerase Chain Reaction
Prosab	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
rDNA	DNA ribossomal
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNSW	Universidade de New South Wales - Austrália.
uT	Unidade de Turbidez
Zoo	Zooplâncton

1 INTRODUÇÃO

O armazenamento de água através da construção de represas destina-se a múltiplos usos. Os principais usos da água seriam o abastecimento para centros urbanos e industriais, o uso nas atividades agrícolas e a geração de energia. A deterioração dos recursos hídricos pelas múltiplas atividades humanas vem alterando a qualidade da água de lagos e reservatórios. Desta forma, a manutenção da qualidade da água torna-se um desafio frente ao aumento da demanda pelo seu uso devido ao crescimento populacional.

Dentre os principais fatores que atingem os sistemas aquáticos, destacam-se as alterações químicas produzidas pela entrada de substâncias tóxicas e nutrientes no sistema. Os despejos de esgotos domésticos e industriais e a descarga de fertilizantes utilizados na agricultura são as principais fontes dessas substâncias. A eutrofização artificial acarreta a deterioração dos ecossistemas aquáticos e seu controle implica no emprego de diferentes técnicas de manejo e recuperação que devem ser aplicados tanto na totalidade da bacia hidrográfica quanto no reservatório que se deseja recuperar. Geralmente a recuperação do ambiente aquático é lentamente obtida, sendo necessário o acompanhamento contínuo do ambiente, o que demanda custos elevados.

Um dos efeitos da degradação dos ecossistemas aquáticos é o aumento da ocorrência de florações tóxicas de cianobactérias. Evidências fósseis sugerem que as cianobactérias estavam entre os primeiros seres vivos a habitarem o planeta, dominando a bióta do pré-cambriano há aproximadamente 3,5 bilhões de anos. Por possuírem fisiologia versátil e estratégias adaptativas em resposta às mudanças das condições do meio, as cianobactérias podem dominar sobre outros grupos de fitoplâncton, especialmente em ambientes eutrofizados.

A dominância das cianobactérias, principalmente nos mananciais destinados ao abastecimento público, tem recebido grande atenção por implicar risco potencial à saúde humana. Desta forma, muitos países estão desenvolvendo guias de recomendação para os serviços de abastecimento público de água lidarem com a presença das cianobactérias. O Brasil tornou-se o primeiro país a editar uma portaria (Portaria MS 518/2004) contemplando, como parâmetro de controle de qualidade da água potável, as análises de cianobactérias e cianotoxinas na água.

Para o controle dos problemas causados pela dominância das cianobactérias nos mananciais, têm-se buscado tecnologias adequadas ao manejo e tratamento das águas contendo cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas. Da mesma forma, o conhecimento das relações existentes entre os diversos fatores componentes de um ecossistema aquático, pode levar ao melhor entendimento da dinâmica do ambiente possibilitando entender quais fatores favorecerão a proliferação das cianobactérias.

Dentro desse contexto essa pesquisa foi desenvolvida no reservatório de Vargem das Flores, em Minas Gerais, dentro da proposta de desenvolvimento do projeto da UFMG para o edital-4 do Prosab (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico). O manancial de Vargem das Flores é utilizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa para o abastecimento de parte da população da região metropolitana de Belo Horizonte.

A dominância de cianobactérias nesse manancial foi observada a partir do ano de 1999. Através do monitoramento realizado pela Empresa pode-se constatar a ocorrência sazonal das cianobactérias que vêm alternando o predomínio junto com o grupo das diatomáceas e algas verdes. Dessa forma, foi levantada a possibilidade de desenvolver esse estudo para a elucidação dos fatores responsáveis pela presença das cianobactérias nesse reservatório.

O estudo buscou avaliar os parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água do manancial durante o período de três anos de monitoramento. A análise de fatores ambientais contribui para o entendimento da ocorrência das cianobactérias no ambiente. E o maior conhecimento dos ambientes de clima tropical poderá fornecer informações para que medidas adequadas sejam tomadas no controle da ocorrência de florações de cianobactérias.

O acompanhamento da qualidade da água dos reservatórios e melhor conhecimento das relações existentes no ecossistema aquático, em particular nos ambientes tropicais brasileiros, poderão contribuir para o desenvolvimento de ferramentas, como os modelos preditivos, que possibilitem prever a ocorrência das florações de cianobactérias, permitindo que as estações de tratamento de água se adequem operacionalmente, garantindo a qualidade da água distribuída e protegendo a saúde da população.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Investigar as associações entre os parâmetros bióticos e abióticos, de um manancial urbano destinado ao abastecimento público, e sua relação com a ocorrência de florações de cianobactérias.

2.2 *Objetivos específicos*

- Analisar as variações dos parâmetros bióticos e abióticos em diferentes profundidades da coluna d'água, nos períodos chuvoso e seco;
- Avaliar comparativamente os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água nas estações de amostragem do reservatório;
- Relacionar os fatores ambientais com a ocorrência de cianobactérias no manancial;
- Realizar o estudo genético das espécies de cianobactérias isoladas do manancial;
- Investigar a toxicidade das espécies de cianobactérias isoladas do manancial.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A deterioração dos recursos hídricos pelas múltiplas atividades humanas vem alterando a qualidade da água de lagos e reservatórios. Dentre os principais fatores que atingem os sistemas aquáticos, destacam-se as alterações químicas produzidas pela entrada de substâncias tóxicas e nutrientes e as modificações microbiológicas resultantes da carga orgânica que atinge os lagos e reservatórios. Este processo de eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água, incluindo a redução de oxigênio dissolvido e da biodiversidade aquática, a perda das qualidades cênicas, a morte extensiva de peixes e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias (MINISTÉRIO DA SAÚDE/FUNASA, 2003).

Especial atenção tem sido dada à ocorrência de florações de cianobactérias, por serem alguns gêneros e espécies potenciais produtores de toxinas. As cianobactérias têm seu crescimento favorecido em ambientes eutrofizados. Formam um grupo diferenciado de procariotas fototróficos, apresentando fisiologia versátil e estratégias adaptativas em resposta às mudanças das condições do meio, levando a sua dominância sobre outros grupos do fitoplâncton. Aproximadamente metade destas florações é tóxica, e vêm causando numerosos envenenamentos em animais, assim como risco à saúde humana pelo uso da água para abastecimento e recreação (RAPALA, 1998).

Grande número de ocorrências de florações tóxicas de cianobactérias em reservatórios de abastecimento de água vem sendo descrito em todo o mundo (KENEFFICK *et al.*, 1992, VASCONCELOS *et al.*, 1993, UENO *et al.*, 1996, WILLÉN e MATTSSON, 1997, PARK *et al.*, 1998, LANCIOTTI, *et al.*, 2003), assim como no Brasil (AZEVEDO *et al.*, 1994, BOUVY *et al.*, 2000, JARDIM, 1999 e JARDIM *et al.*, 2003, CHELLAPPA e COSTA, 2003, VIANA e VON SPERLING, 2002). Entre os problemas associados à ocorrência das cianobactérias nos reservatórios destinados ao abastecimento destacam-se a produção das toxinas, a presença de sabor e odor e a colmatção dos filtros das estações de tratamento.

3.1 Toxinas produzidas pelas cianobactérias

As toxinas produzidas pelas cianobactérias, denominadas cianotoxinas, formam um grupo diferenciado, do ponto de vista químico e toxicológico, de toxinas naturais. Estas toxinas são metabólitos secundários que, por definição, apresentam mecanismos de ação sobre outros tecidos, células, ou organismos. As cianotoxinas podem ser classificadas de acordo com seu

modo de ação em hepatoxinas, neurotoxinas e endotoxinas, estando divididas, respectivamente, dentro de três grandes grupos químicos: os peptídeos cíclicos, os alcalóides e os lipopolissacarídeos (LPS) (CARMICHAEL, 1992).

As hepatotoxinas são as toxinas mais comumente encontradas em florações de cianobactérias, sendo representadas pelas famílias das microcistinas, nodularinas ou cilindrospermopsina. As microcistinas são as toxinas mais amplamente estudadas, sendo produzidas por diferentes espécies. Os gêneros conhecidamente produtores de microcistinas são *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria* (*Planktothrix*), *Nostoc* e *Anabaenopsis*. Em ensaios com camundongos (injeção intraperitoneal), algumas vezes utilizados para avaliação da presença de toxinas na água, causam morte em poucas horas por hemorragia intra-hepática. Os sinais observados após a ingestão dessas hepatotoxinas são prostração, anorexia, vômitos, dor abdominal e diarreia (SIVONEN e JONES, 1999).

As neurotoxinas são as cianotoxinas que apresentam ação mais rápida. Existem três tipos: anatoxina-a, anatoxina-a (s) e as saxitoxinas. Podem ser produzidas por espécies incluídas nos gêneros *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* (*Planktothrix*) e *Cylindrospermopsis*. As neurotoxinas afetam a condução nervosa de várias maneiras e a ingestão dessas toxinas pode causar a paralisia dos músculos esqueléticos e respiratórios, levando à falência do sistema respiratório em poucos minutos ou algumas horas, dependendo do grau de exposição.

As endotoxinas (dermatotoxinas) são lipopolissacarídeos que fazem parte da parede celular das bactérias Gram-negativas, sendo encontradas também em cianobactérias (*Microcystis* spp., *Anabaena circinalis*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Phormidium* spp.). São considerados potenciais agentes causadores de irritações na pele, distúrbios gastrointestinais e alergia respiratória em pessoas que tiveram contato com águas contendo florações de cianobactérias durante a recreação (CHORUS e BARTRAM, 1999, QUEENSLAND HEALTH, 2001).

Muitas das cianotoxinas, como as microcistinas, são produzidas e contidas dentro das células ativas das cianobactérias, isto é, elas são intracelulares ou particuladas. A liberação na água, tornando-as solúveis, ocorre pelo envelhecimento, morte ou ruptura das células por mecanismos físicos ou químicos, e não por sua excreção. Contudo, algumas toxinas podem ser excretadas em condições fisiológicas normais. As diferenças nas concentrações de toxinas intracelular e extracelular em cepas cultivadas em meios livres de bactérias mostraram que as

as cepas produtoras de anatoxina-a liberaram quantidades consideráveis da toxina para o meio de cultura, principalmente em condição de baixa luminosidade. (RAPALA, 1998).

A solubilidade das cianotoxinas na água, juntamente com os diferentes graus de estabilidade química existentes, apresentam-se como um fator de preocupação em águas destinadas ao abastecimento público. A estabilidade das cianotoxinas pode variar de altamente estáveis, resistentes à oxidação química próximo ao pH neutro (microcistinas), lentamente degradadas em temperatura ambiente no escuro (saxitoxinas) e resistentes à fervura (microcistinas e nodularinas), a mais facilmente degradadas, pela exposição à luz solar (cilindrospermopsina e anatoxina-a) e a elevadas temperaturas (anatoxina-a (s)) (CHORUS e BARTRAM, 1999).

3.2 Fatores que influenciam na produção de cianotoxinas e a ocorrência de florações

A produção de toxinas pelas cianobactérias é extremamente variável, não só entre diferentes florações, como também ao longo do tempo em uma mesma floração. Acredita-se que este fato seja devido à presença conjunta de espécies tóxicas e não-tóxicas na população natural. Apesar dos determinantes da produção de toxinas serem pouco conhecidos, sabe-se que os fatores genéticos e ambientais são importantes contribuintes (MINISTÉRIO DA SAÚDE/FUNASA, 2003).

Alguns estudos têm sido realizados em escala laboratorial na tentativa de determinar quais fatores ambientais influenciariam em maior grau a produção das toxinas, assim como a variação na concentração produzida.

Rapala *et al.* (1993), comparando o crescimento e produção de toxinas de cepas de *Anabaena* e *Aphanizomenon* em diferentes condições ambientais, demonstraram que, para as cepas de *Anabaena*, a elevada incidência de luz foi fator de inibição, tanto para crescimento quanto para produção de toxina, enquanto para o *Aphanizomenon*, a maior luminosidade influenciou positivamente o crescimento e a produção de toxina. Em relação à concentração de nutrientes, observaram que, quanto maior a concentração de nitrato, menor é a concentração intracelular de toxina para ambos os gêneros.

Wiedner *et al* (2002) estudando os efeitos da luz sobre a produção de microcistina de determinada cepa de *Microcystis*, encontraram um efeito positivo da radiação luminosa no aumento da produção de microcistina.

O estudo de von Rückert e Giani (2004) avaliando o efeito dos íons amônio e nitrato sobre o crescimento e concentração protéica de *Microcystis viridis* evidenciou a capacidade de crescimento da cianobactéria em ambas as fontes nitrogenadas. Quando a fonte de nitrogênio foi o amônio, o crescimento foi mais rápido (maiores taxas de absorção e assimilação) indicando a possibilidade dessa fonte nitrogenada induzir a formação de florações. Contudo no tratamento com nitrato a população de *M. viridis* manteve alta densidade celular por mais tempo, com maior concentração de proteínas.

A pesquisa de Amé e Wunderlin (2005) com uma população de cianobactérias coletadas diretamente do ambiente avaliou a influência das concentrações de ferro, amônio e temperatura no crescimento e produção de microcistinas. Os resultados mostraram que altas concentrações de ferro levaram ao aumento da concentração total de microcistinas e proteínas nas células cultivadas. A presença de amônio apresentou um efeito negativo na concentração de microcistinas e proteínas na cultura, enquanto a temperatura não apresentou influência na concentração total de microcistinas, mas promoveu a predominância de microcistina-RR em relação à microcistinas-LR no cultivo a 20°C.

Uma vez que linhagens tóxicas e não tóxicas podem estar presentes em determinada floração (KUMAYER *et al.*, 2002, VIA-ORDORIKA, *et al.*, 2004) estudos enfocando a dinâmica da toxicidade das florações têm sido realizados comparando a resposta dessas linhagens em diferentes condições ambientais.

Os resultados encontrados por Vézic *et al.* (2002), avaliando em laboratório o efeito da interação de diferentes concentrações de nutrientes (fósforo e nitrogênio) no crescimento de cepas tóxicas e não tóxicas, sugerem que as concentrações de nutrientes necessárias ao crescimento são variáveis entre as cepas de um mesmo gênero. E que possivelmente, o aumento da concentração de nutrientes no ambiente favoreça a predominância das produtoras de toxinas. Nos experimentos, as cepas tóxicas necessitaram de maiores concentrações de nitrogênio e fósforo quando cultivadas em baixa concentração desses nutrientes. E cresceram melhor do que as não tóxicas em condições de altas concentrações de fósforo e nitrogênio.

Contudo, a maior necessidade de nutrientes das cepas tóxicas pode estar ligada ao maior requerimento de energia para o processo de biossíntese das toxinas.

Estudando a competição por luz entre cepas tóxicas e não tóxicas de *Microcystis*, Edwin et al. (2007) confirmaram que a proporção entre cepas tóxicas e não tóxicas determina a toxicidade da população. Além disso, as cepas não tóxicas competiram melhor pela luz, resultando no declínio da concentração de microcistinas no decorrer dos ensaios. A princípio, parece que a competição por luz poderá promover a sucessão das cepas tóxicas pelas não tóxicas durante a ocorrência de densas florações de *Microcystis* no ambiente. As cepas tóxicas seriam encontradas no início da floração sendo substituídas gradativamente pelas cepas não tóxicas à medida que a biomassa aumentasse e a incidência de luz na coluna d'água fosse diminuída.

Os resultados muitas vezes contraditórios dos trabalhos desenvolvidos em laboratório podem ser atribuídos à análise isolada da influência dos diferentes fatores ambientais. Os experimentos são geralmente realizados em ambientes controlados não abrangendo a complexidade das interações encontradas nos ecossistemas aquáticos. Contudo, os resultados são ferramentas importantes para a descoberta dos mecanismos reguladores da produção de toxinas e dominância das cianobactérias no ambiente natural.

A identificação dos genes responsáveis pela produção de cianotoxinas, particularmente das microcistinas, demonstrou que a diferença entre cepas tóxicas e não tóxicas de *Microcystis aeruginosa* está relacionada com a presença ou não dos genes associados com a regulação e síntese de microcistinas (DITTMANN *et al.*, 1997 NEILAN, *et. al.*, 1999, TILLET, *et. al.*, 2000, MOFFITT e NEILAN, 2004). As pesquisas visando à avaliação da presença dessas seqüências genéticas na população de cianobactérias permitem a identificação das linhagens potencialmente produtoras de toxinas, fornecendo uma ferramenta importante na avaliação do potencial tóxico das florações (KAEBERNICK e NEILAN, 2001, KURMAYER *et. al.*, 2004, OLIVEIRA, 2003, HOTTO *et. al.*, 2007).

Segundo Kaebernick e Neilan (2001) a realização de estudos moleculares poderá levar à identificação dos fatores ambientais que afetam diretamente a transcrição e expressão dos genes responsáveis pela produção das toxinas de forma a evidenciar aqueles diretamente relacionados à produção das cianotoxinas daqueles que possam estar afetando outros processos celulares.

O isolamento de grande número de metabólitos secundários de cianobactérias (ex.: mais de 600 tipos de peptídeos), produzidos por diferentes espécies (WELKER e von DÖHREN, 2006), demonstra a importância desse grupo no que se refere tanto à saúde pública, uma vez que esses compostos potencialmente tóxicos podem ser encontrados nas águas destinadas ao abastecimento, quanto ao potencial farmacológico apresentado pelas diferentes estruturas bioativas encontradas.

Embora a função fisiológica ou ecológica dos metabólitos secundários e/ou toxinas ainda não tenha sido esclarecida, algumas hipóteses vêm sendo discutidas tais como: a provável função ecofisiológica das microcistinas (ação no metabolismo celular), função como moléculas sinalizadoras intraespecíficas (controle da transcrição gênica) ou interespecíficas, incluindo proteção contra herbivoria e ação sobre outros organismos fotoautotróficos (BABICA *et al.*, 2006, LEFLAIVE e TEM-HAGE, 2007).

A intoxicação humana pelo consumo de água contaminada por cianotoxinas, causando principalmente distúrbios gastrointestinais, já foi relatada em diversos países como Austrália, Estados Unidos, Inglaterra e países do continente africano (CHORUS e BARTRAM, 1999). No Brasil existem poucos relatos, provavelmente pela falta de estudos epidemiológicos. Contudo o trabalho de Teixeira, *et al.* (1993) descreve uma forte relação entre a ocorrência de florações de cianobactérias na barragem de Itaparica e os surtos de gastroenterite ocorridos entre março e abril de 1988, levando à morte de 88 pessoas entre as 200 intoxicadas. O primeiro caso confirmado no mundo de mortes humanas causadas por cianotoxinas, foi o ocorrido em 1996, na cidade de Caruaru – Pernambuco, onde 131 pacientes (76 mortes), de uma clínica de hemodiálise sofreram intoxicação, com sintomas de forte hepatotoxicose, devido à presença de dois grupos de toxinas de cianobactérias, microcistina e cilindrospermopsina, na água utilizada para a diálise (JOCHIMSEN *et al.*, 1998; CARMICHAEL *et al.*, 2001; AZEVEDO *et al.*, 2002).

A bioacumulação das cianotoxinas na cadeia alimentar das comunidades aquáticas encontra-se como outra provável via de intoxicação. As toxinas podem acumular no zooplâncton, peixes e mexilhões. Aparentemente, o risco de intoxicação estará relacionado com a quantidade consumida e a intensidade das florações onde peixes e mariscos forem encontrados (CHORUS e BARTRAM, 1999, MAGALHÃES *et al.*, 2001).

Segundo Jones e Poplawski (1998), em reservatórios subtropicais ou tropicais, o estabelecimento de uma relação de causa e efeito entre os fatores físicos, químicos e biológicos, e as florações de cianobactérias encontra-se como um pré-requisito para o manejo adequado de um reservatório. O manejo do ponto de captação, a retirada de fontes difusas de nutrientes e estratégias de prevenção da liberação de nutrientes do sedimento, podem ser importantes ferramentas para a prevenção de problemas causados pelas cianobactérias. Além dessas medidas, são recomendadas formas de prevenção da afluência de cianobactérias nas captações de água destinada ao abastecimento público. O uso de barreiras de contenção, semelhantes às utilizadas em derramamentos de óleo, e a injeção de ar na captação, para o afastamento físico da floração, são algumas das medidas possíveis para reduzir o número de células aduzidas às estações de tratamento de água (PÁDUA, 2006).

A busca de medidas para evitar ou minimizar a formação de florações de cianobactérias deve considerar várias características do corpo d'água, como o tempo de residência, o balanço de nutrientes, disponibilidade de luz, as características da estratificação térmica e a população de macrófitas (CHORUS, 2001).

Em diversos estudos, realizados em lagos e reservatórios de clima temperado, tem sido demonstrada a importância dos fatores ambientais na dinâmica da ocorrência de florações de cianobactérias, assim como no estabelecimento de espécies produtoras de toxinas (ISHIKAWA *et al.*, 2002, MISCHKE, 2003).

Segundo Hyenstrand *et al.* (1998), os fatores ambientais mais importantes para desenvolvimento inicial das diferentes populações de cianobactérias no ambiente aquático são: temperatura e nutrientes. Em relação à temperatura, as temperaturas mais elevadas da água, levando à estratificação e conseqüentemente à divisão em camadas da coluna d'água (estratificação dos nutrientes e luminosidade), favorece as cianobactérias pela capacidade de migração do grupo. A estratificação também elimina da zona eufótica competidores sem mobilidade (diatomáceas) através da sedimentação. O aumento da temperatura também acarretaria maior atividade do zooplâncton, aumentando o consumo das outras algas competidoras (ex. Chlorophyceae) das cianobactérias. Já quanto aos nutrientes, principalmente as condições de nitrogênio limitante parecem beneficiar as cianobactérias. A capacidade de assimilação do nitrogênio atmosférico (espécies fixadoras) e a capacidade de competir com maior sucesso pelo amônio devido à alta relação superfície-volume

(cianobactérias picoplanctônicas) são apontadas como as características responsáveis para o sucesso das cianobactérias.

O estudo realizado com dados históricos (28 anos) de um lago subtropical na Flórida (EUA), buscando prever o risco da ocorrência de florações de cianobactérias fixadoras de nitrogênio, demonstrou que o aumento da concentração de fósforo total, levando à baixa relação N:P, juntamente com o decaimento da medida de transparência do disco de Secchi (aumento da turbidez mineral), favoreceram a dominância da população de cianobactérias não fixadoras de nitrogênio (*Oscillatoria* e *Lyngbya* spp.), grupo dominante durante a última década. Demonstrou também que a dominância de cianobactérias fixadoras de nitrogênio na zona pelágica é impedida devido à baixa irradiação e à desestratificação da coluna d'água (HAVENS *et al.*, 2003).

Segundo Hecky (2000), ao se compararem as diferenças nos ciclos biogeoquímicos de ambientes temperados e tropicais (lagos Superior e Malawi – Grandes Lagos), observa-se que as características tropicais favorecem a dominância das cianobactérias. De forma resumida, pode-se dizer que a estratificação com formação de um hipólímnio anóxico, resultando na solubilização do fósforo e elevada desnitrificação, caracterizando uma baixa relação N:P, pode ser considerada determinante na predominância das cianobactérias em ambientes tropicais.

No trabalho realizado por Jacoby *et al.* (2000) a ocorrência de floração tóxica de cianobactéria no verão de 1994, mas não no ano seguinte, possibilitou a comparação das condições do lago Steilacoom (Washington) nos dois anos e apontou os possíveis fatores ambientais promotores da floração. A floração em 1994 foi associada à elevada concentração de fósforo total, menor transparência e maior estabilidade da coluna d'água, maior temperatura na superfície, elevado pH e menor fluxo de água extravasada do lago. Por outro lado, no ano seguinte (sem floração), além da inversão das características físicas e químicas do lago encontradas em 1994, foi observado aumento considerável da população do zooplâncton, o que pode ter contribuído para a diminuição da biomassa fitoplanctônica pela herbivoría. Os autores ainda concluem que a dominância da espécie *Microcystis aeruginosa* em detrimento das outras cianobactérias foi favorecida pela baixa relação N:P, baixas concentrações de nitrato e disponibilidade suficiente de amônio.

Embora a redução na concentração de fósforo tenha sido considerado o fator mais importante para o controle da população de cianobactérias, no trabalho de Reeders et al. (1998) nos lagos Veluwemeer e Wolderwijd (Holanda) as alterações climáticas no inverno também exerceram influência na dominância das cianobactérias filamentosas (*Oscillatoria*) no verão. Quando as concentrações de fósforo total encontravam-se em uma faixa intermediária (0,05-0,020 mg/L PT) a dominância das cianobactérias no verão foi relacionada à intensidade do inverno. Os autores encontraram que, quanto menores as temperaturas no inverno, menores as chances de dominância das cianobactérias no verão.

Desta forma, observa-se que, apesar dos relatos da ocorrência de florações estarem, em sua maioria, relacionados a ambientes eutrofizados, a dominância das cianobactérias em um ambiente é determinada por uma série de fatores ainda não muito bem elucidados. Esta dominância pode estar relacionada tanto às características morfológicas das células (BONNET e POULIN, 2002), quanto à capacidade de assimilação dos nutrientes, aliada às características físicas e químicas do corpo d'água (JACQUET *et al.*, 2004). Esse conjunto de fatores, apresentando complexas interações, em combinações ainda desconhecidas, encontra-se como causa principal para a formação das florações.

Na tentativa de encontrar uma forma de anteverem-se os problemas causados pelo desenvolvimento das cianobactérias nos ambientes aquáticos destinados a múltiplos usos, modelos preditivos (HOWARD e EASTHOPE, 2002, HAKANSON *et al.*, 2003, ROBSON e HAMILTON, 2004) da ocorrência de florações de cianobactérias vêm sendo desenvolvidos. Contudo, o conhecimento da dinâmica desses ambientes torna-se imprescindível para o sucesso da predição do fenômeno da floração, necessitando que os estudos abordem tanto as interações das comunidades, quanto dessas, com os fatores físicos e químicos particulares de cada ecossistema. Além disso, quanto maior o número de variáveis monitoradas e mais longo o período de observação, maior a eficácia do modelo.

Como relatado anteriormente, a busca de soluções para os problemas causados pela presença das cianobactérias e suas toxinas no ambiente aquático envolve estudos com diferentes enfoques: ecológicos, toxicológicos, fisiológicos e genéticos. Torna-se fundamental considerar todos os pontos de vista englobando abordagens tanto experimentais, quanto de modelagem, assim como análises de séries históricas para que as respostas do ambiente

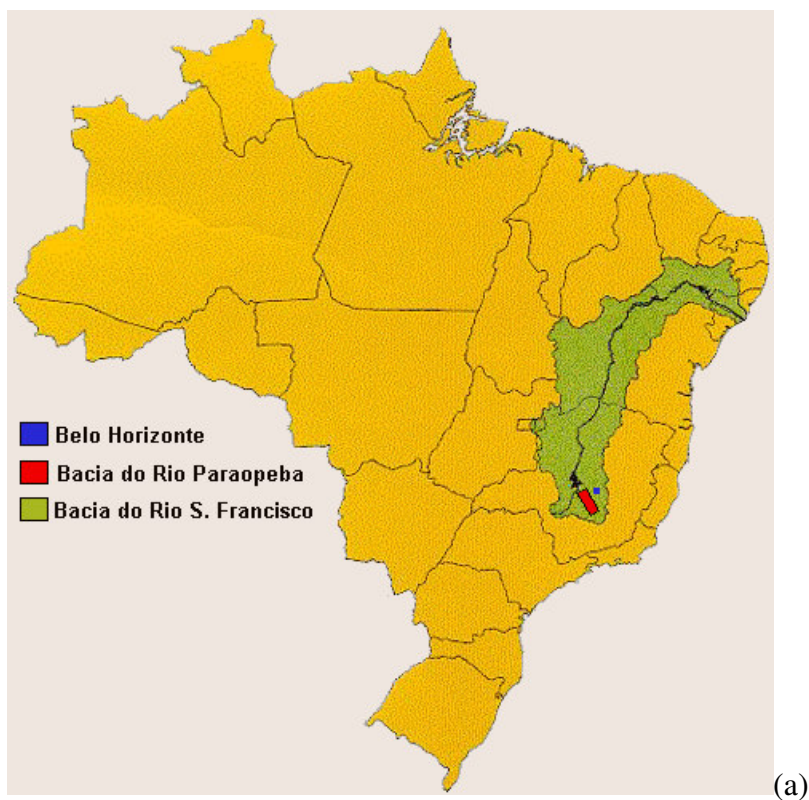
aquático aos novos fatores como mudanças climáticas, redução do aporte de nutrientes e diferentes interações tróficas possam ser entendidas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa e cumprimento dos objetivos propostos a metodologia descrita a seguir foi desenvolvida.

4.1 Área de estudo

O reservatório do sistema Vargem das Flores, utilizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa para abastecimento de parte da população da região metropolitana de Belo Horizonte, foi escolhido por caracterizar-se como um manancial urbano com um histórico de ocorrências de florações de cianobactérias tóxicas. Localiza-se na parte sudoeste da região metropolitana de Belo Horizonte, dentro da bacia de drenagem do Rio Paraopeba (Figura 4-1).



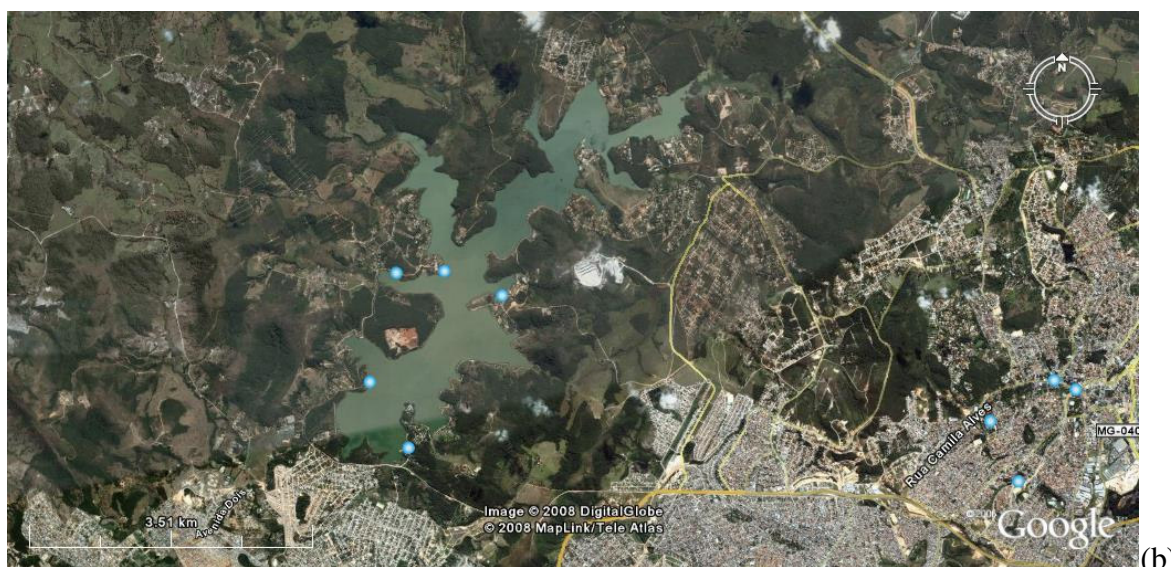


Figura 4.1 - Localização do reservatório de Vargem das Flores/MG: (a) mapa da localização da bacia hidrográfica – (b) Localização geográfica da represa (Fonte: Google Earth, 2008).

A represa de Vargem das Flores está localizada entre os municípios de Betim e Contagem com 13 % e 87 % de sua área inseridos em cada um deles, respectivamente. Foi inaugurada em 1972 com o objetivo de abastecer Betim, Contagem e Belo Horizonte. A represa está situada nas coordenadas geográficas 19° 53' 44,99" S e 44° 09' 01,56" W (coordenadas referentes à captação de água da ETA) e sua água tem origem nos seguintes tributários: córrego Água Suja, ribeirão Betim, córrego Morro Redondo e córrego Bela Vista. Na Tabela 4.1 estão apresentados os dados morfométricos da represa.

Tabela 4.1 - Dados morfométricos da represa de Vargem das Flores	
Parâmetros morfométricos	Valores
Área	5,25 km ²
Volume	44,0 x10 ⁶ m ³
Profundidade máxima	25,02 m
Profundidade média	8,38 m
Perímetro	54,0 km
Comprimento máximo	7,2 km
Largura máxima	1,5 km
Altitude	856 m

Fonte: Souza, 2003.

O clima da região apresenta-se como tropical/mesotérmico semi-úmido, com sazonalidade regularizada e definida e radiação solar forte e intensa (média anual de 2600 h/ano). As duas estações bem definidas compreendem o período chuvoso e quente de outubro a março e seco e frio de abril a setembro, sendo que abril, maio, setembro e outubro podem ser considerados

meses de transição. A precipitação média anual é de 1500 mm, com umidade relativa do ar variando de 65 % (agosto e setembro) a 80 % (dezembro). No verão (período chuvoso) a temperatura máxima média é de 28°C e temperatura mínima média de 17 °C. Já no inverno (seco) as menores temperaturas são encontradas em junho e julho, com temperatura máxima média de 24 °C e mínima média de 11 °C (SOUZA, 2003).

O reservatório de Vargens das Flores destina-se a múltiplos usos. Desde seu enchimento, além de seu uso como fonte de água para o abastecimento público, é utilizado para recreação, irrigação, controle de cheias e recepção de águas residuárias diversas. A região caracteriza-se historicamente por acelerado processo de urbanização e sistema de esgotamento sanitário deficitário atendendo apenas parte da população. Além do lançamento de esgotos nos tributários, o desmatamento, as atividades agrícolas e o acúmulo de lixo no leito dos rios e córregos efluentes, contribuem para a degradação da bacia de drenagem. A região à montante dos tributários, ribeirão Betim e córrego Água Suja, destacam-se como as áreas mais afetadas. As águas desses tributários são consideradas como as principais fontes de nutrientes (nitrogênio e fósforo) da represa (SOUZA, 2003).

Algumas medidas de recuperação da bacia de drenagem vêm sendo tomadas nos últimos anos. Dentre elas destaca-se a construção da estação de tratamento de esgotos de Nova Contagem (montante da represa), com reversão do lançamento do efluente tratado para o córrego do Onça no município de Esmeraldas, aumento da rede coletora de esgotos, retirada do lixo da orla, reflorestamento e programas de educação ambiental para conscientização dos usuários da represa (Prefeitura Municipal de Contagem, 2008).

O tratamento de água da ETA de Vargem das Flores é realizado através de filtração direta descendente com uma vazão média de 1,0 m³/s para atender a uma população aproximada de 400.000 habitantes. Devido à preocupação com a ocorrência de florações de cianobactérias o sistema de tratamento da ETA está sendo modificado com a implementação do processo de flotação por ar dissolvido para a otimização da remoção das cianobactérias e algas.

4.2 Monitoramento da qualidade da água

Para o levantamento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do monitoramento da qualidade da água do manancial, foram escolhidas as estações de amostragem mais representativas do reservatório. Devido ao conhecimento prévio do programa de

monitoramento realizado pela companhia de abastecimento, assim como das características físicas (profundidade, influência de tributários, localização etc.) dos diferentes pontos de interesse limnológico, foram escolhidas 4 estações de amostragem (Figura 4.2):

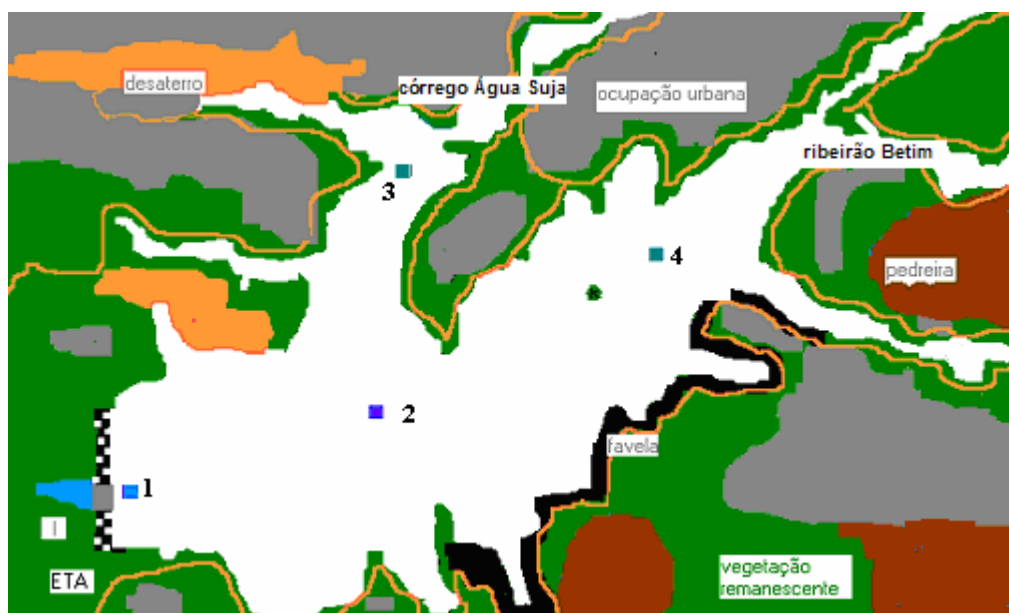


Figura 4.2 – Esquema da localização dos pontos de amostragem no reservatório de Vargem das Flores/MG (SOUZA, 2003).

A estação 1 é a estação mais profunda da represa, estando na área de proteção da Copasa, próxima ao barramento, não recebendo influência direta dos tributários. Já a estação 2 encontra-se em uma posição mais central do espelho d'água, no encontro dos dois braços principais da represa que recebem a influência da entrada dos dois afluentes com maior impacto poluidor, córrego Água Suja e ribeirão Betim, onde se localizam as estações 3 e 4 respectivamente (Figura 4.2). O Quadro 4.1 apresenta as características de cada estação de amostragem.

Quadro 4.1 - Características das estações de amostragem

Estação de amostragem	Localização	Profundidades amostradas
Estação 1	Próximo à torre de tomada d'água da ETA	Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 e 10 metros da superfície e a 1 metro do fundo
Estação 2	Ponto de encontro dos dois braços principais da represa	Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 metros da superfície e a 1 metro do fundo
Estação 3	Ponto de afluência do córrego Água Suja	Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 metros da superfície e a 1 metro do

Estação 4	Ponto de afluência do ribeirão Betim	fundo Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 metros da superfície e a 1 metro do fundo.
-----------	--------------------------------------	--

Nota: a profundidade correspondente ao final da zona eufótica (Secchi x 3) também foi monitorada durante outubro de 2004 e junho de 2006.

4.3 Métodos de análise

4.3.1 Coletas

Para a realização das coletas, foi utilizada a estrutura operacional da Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Copasa. O transporte até as estações de amostragem era feito com barco a motor, e as coletas foram realizadas utilizando-se garrafa de Van Dorn (coletas em profundidade) com capacidade para 6 litros, seguindo-se a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998). As coletas foram realizadas sempre durante a manhã, entre 9:30 h e 11:30 h. Devido ao grande número de parâmetros amostrados as coletas nas quatro estações eram divididas em dois dias subsequentes, sendo geralmente coletadas as amostras das estações 1 e 2 em um dia e das estações 3 e 4 no dia seguinte.

As coletas foram realizadas com uma frequência mensal em todas as estações de amostragem. A estação 1 foi monitorada durante o período de outubro de 2004 a outubro de 2007, enquanto as estações 2, 3 e 4 foram monitoradas de outubro de 2004 a junho de 2006 (Quadro 4.2). A diferença dos períodos de monitoramento entre as estações foi devida tanto ao término do contrato de cooperação da Copasa e as pesquisas do Prosab-Edital 4 - UFMG, à qual este estudo estava inserido, quanto à ausência da pesquisadora durante o período de agosto de 2006 a julho de 2007, para realização do estágio de doutorado sanduíche na Austrália.

Desta forma, como o programa de monitoramento da Copasa segue a frequência mensal apenas para a estação 1 (estações 2, 3 e 4 frequência bimestral) foi acordado com a Empresa a continuidade das coletas nessa estação para a obtenção de dados referentes à 3 anos de monitoramento na represa, período esse suficiente para cobrir as possíveis variações de três ciclos hidrológicos.

Devido a esse fato, a profundidade correspondente ao final da zona eufótica também foi monitorada apenas durante o período de outubro de 2004 e junho de 2006. Os valores dos

parâmetros analisados nessa profundidade só foram considerados para a construção dos gráficos de perfil da coluna d'água (Surfer 8.0) e na avaliação da concentração dos parâmetros bióticos: clorofila-a e zooplâncton.

Ressalta-se que, a partir de junho de 2006, apenas as análises qualitativas e quantitativas do fitoplâncton e análises dos nutrientes (série nitrogenada e fosforada) continuaram sendo feitas pela equipe do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Desa. As análises dos outros parâmetros foram realizadas pelo laboratório Metropolitano da Copasa durante esse período e os resultados disponibilizados para o presente estudo.

Quadro 4.2 - Programa de monitoramento das estações

Estação	Período de amostragem	Frequência de monitoramento
1	Outubro de 2004 a outubro de 2007	mensal
2, 3 e 4	Outubro de 2004 a junho de 2006	mensal
2, 3 e 4	Julho de 2006 a outubro de 2007	bimestral

4.3.2 Parâmetros físicos e químicos

Para a determinação dos parâmetros físicos e químicos, tanto para a preservação, quanto para transporte e análise, foram seguidos os métodos propostos pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998), com exceção das análises de nutrientes (ortofosfato, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato) que foram realizadas através de metodologias diferentes (Quadro 4.3) que permitissem a redução do limite de detecção na análise desses compostos. O emprego de tais metodologias permitiram a detecção de concentrações iguais ou maiores que 0,05 mg/L para nitrito, 0,1 mg/L para nitrato, 0,01 mg/L para amônia e 0,005 µg / L para a série fosforada em substituição aos métodos utilizados pela Copasa que apresentam limite de detecção igual ou maior que 0,20 mg/L e 20 µg/L, respectivamente.

Os parâmetros determinados em todas as estações mencionadas anteriormente, em todas as profundidades e as referências às respectivas metodologias estão descritos na Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Relação dos parâmetros físicos e químicos para o monitoramento da represa de Vargem das Flores e seus respectivos métodos de análise.

Análise	Método	Referência
Alcalinidade total	Titulométrico (H ₂ SO ₄)	APHA 2320B
pH	Eletrométrico	APHA 4500 H ⁺ B
Condutividade elétrica	Condutímetro	APHA 2510 B
Cor aparente	Colorimétrico Pt-Co	APHA 2120 D

Turbidez	Nefelométrico	APHA 2130 B
Temperatura da água	Termômetro °C (Hg) e sonda	APHA 2550 B
Oxigênio dissolvido	Método iodométrico	APHA (4500B).
Ortofosfato	Ascórbico/molibdato	Paranhos (1996)
Fósforo total	Pré digestão/Ascórbico/molibdato	Paranhos (1996)
Nitrogênio amoniacal	Colorimétrico/iodofenol	Paranhos (1996)/Carmouze (1994)
Nitrato	Colorimétrico /salicílico	Rodie (1981)
Nitrito	Colorimétrico/ sulfanílico	APHA/4500B
Sólidos em suspensão totais	Filtração/secagem/gravimétrico	APHA 2540 D
Cloretos	Titulométrico/nitrato de mercúrio	APHA 4500 C
Ferro total	Absorção atômica	APHA 3500 B

Nota: as análises de Ferro total foram realizadas apenas na estação 1

4.3.3 Parâmetros biológicos

Os parâmetros biológicos determinados nas quatro estações mencionadas anteriormente são: análises qualitativas e quantitativas do fitoplâncton e zooplâncton, clorofila-a, análise de coliformes (coliformes totais e *Escherichia coli*) e análise de cianotoxinas.

4.3.3.1 Análise qualitativa do fitoplâncton

As amostras para as análises qualitativas do fitoplâncton foram obtidas através da coleta em todas as profundidades de um litro de água, em frasco de polietileno, mantido resfriado sem adição de preservativos, seguida de concentração por filtração em malha de monyl de 25 µm, e identificação em microscópio binocular (Olympus, modelo BX-50) dos gêneros e espécies presentes, através da utilização de chaves taxonômicas (ANAGNOSTIDIS e KOMÁREK, 1988, KOMÁREK e ANAGNOSTIDIS, 1989, 1999 e 2005, SANT'ANNA e AZEVEDO, 1989 e 2000, FOTT *et al.*, 1983, AZEVEDO e SANT'ANNA, 2003, BICUDO E MENEZES, 2006). As análises foram realizadas em um período máximo de 12 horas após a coleta (APHA, 1998).

4.3.3.2 Análise quantitativa do fitoplâncton

Para as análises quantitativas foi utilizado o método de contagem em câmara de Sedgwick-Rafter (APHA, 1998) (microscópio Olympus, modelo BX-50, objetiva de 20 x, aumento total de 200 x). As contagens das amostras preservadas em solução de lugol foram realizadas por faixas (até 100 organismos da espécie predominante), ou por campos (10 organismos da espécie predominante), segundo a distribuição de *Poisson*, obtendo-se um intervalo de confiança aproximado de 95 %, com uma margem de erro de ± 20 %.

Os resultados foram expressos em células/mL para as espécies de cianobactérias e em organismos/mL, segundo o critério da contagem por conjuntos ou *clump counting* (BRANCO, 1986) para as demais. Para a obtenção da contagem das cianobactérias em número de células/mL, foi utilizado o retículo de Whipple, calibrado com régua micrométrica padrão, como descrito por JARDIM *et al.* (2002). A diferenciação na contagem do fitoplâncton foi devida à necessidade de expressar os resultados referentes às cianobactérias de acordo com as exigências da Portaria MS 518/2004. Contudo, para alguns grupos do fitoplâncton, como as diatomáceas e os flagelados, a relação com o número das cianobactérias foi equivalente, ou seja, em número de células, uma vez que são organismos unicelulares.

4.3.3.3 Análise qualitativa e quantitativa do zooplâncton

A coleta, tanto para as análises qualitativas quanto quantitativas do zooplâncton, foi realizada através do arraste vertical de toda a zona eufótica da coluna d'água, utilizando-se uma rede de plâncton com malha de monyl com abertura de poro de 35 µm. A determinação da profundidade da zona eufótica é dada pela profundidade da extinção do disco de Secchi, multiplicada por 3. Para a análise qualitativa realizou-se o exame da amostra viva em lâmina de vidro contendo pequena alíquota de amostra coberta com uma lamínula, identificando-se os gêneros presentes. Para a análise quantitativa, a amostra foi fixada com uma solução de formol 1 % e contada em câmara de Sedgwick-Rafter, como descrito em APHA (1998).

4.3.3.4 Análise de Clorofila-a

Para a análise de clorofila-a, utilizou-se o método espectrofotométrico descrito no *Standard Methods* (APHA, 1998), com a extração da clorofila com etanol 90 % a 80 °C após concentração de um volume de amostra suficiente para a colmatação dos pré-filtros de borosilicato (GF 50/A com diâmetro de 25 mm) utilizados.

4.3.3.5 Análise de Cianotoxinas

Como as espécies dominantes de cianobactérias encontradas durante o monitoramento eram potenciais produtoras de microcistinas, foram utilizados métodos de análises para esse tipo de cianotoxinas. A quantificação das microcistinas foi realizada através de testes imunoenzimáticos, ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), utilizando-se kits disponíveis no mercado. O teste baseia-se no emprego de anticorpos anti-microcistinas, que

através de um ensaio imuno-competitivo proporcionam a estimativa da concentração destas toxinas nas amostras analisadas (CHU *et al.*, 1990).

4.3.4 Estudo genético e investigação da toxicidade dos isolados de cianobactéria

As pesquisas visando o estudo genético e a investigação da toxicidade das cianobactérias isoladas na represa de Vargem das Flores foram realizadas durante o estágio de doutorado sanduíche no Laboratório de Cianobactérias do Departamento de Microbiologia Ambiental e da Saúde, da Escola de Biotecnologia e Ciências Biomoleculares, na Universidade de New South Wales- UNSW em Sydney, Austrália.

4.3.4.1 Isolamento e cultivo das cianobactérias

Para o isolamento das espécies de cianobactérias o material utilizado foi obtido a partir de amostras compostas coletadas na superfície no manancial durante o período de ocorrência do grupo compreendido entre os meses de setembro e novembro de 2005. Uma parte do material do seston coletado foi inoculado em meio de cultura ASM-1 (GORHAM *et al.*, 1964 *apud* COSTA E AZEVEDO, 1994) e outra foi concentrada e congelada.

Os isolados de cianobactérias foram obtidos seguindo-se a metodologia descrita em Costa e Azevedo (1994). O isolamento foi realizado inicialmente pela técnica de microcapilares e os isolados mantidos em meio de cultura em câmara de cultivo sob condições controladas (temperatura: 22 °C; fotoperíodo:12 horas; intensidade luminosa $\cong 60 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Para a maior purificação dos isolados, após o crescimento em meio líquido, estes foram plaqueados em meio ASM-1 sólido usando-se a técnica de plaqueamento por esgotamento com o auxílio da alça de Drigalsky. As colônias crescidas foram então reintroduzidas ao meio líquido e após o crescimento, novamente identificadas em microscópio óptico. Os 15 isolados de cianobactérias foram mantidos na câmara de cultivo do laboratório de microbiologia do Desa para as análises posteriores.

Para a realização das análises moleculares e toxicológicas a biomassa de cada um dos 15 isolados foi concentrada por centrifugação (3.000 g por 15 min) e colocada em placas de Petri estéreis para dessecação. O material seco foi devidamente rotulado e acondicionado em papel alumínio para congelamento.

O material do seston coletado no mesmo período (setembro a novembro de 2005) também foi dessecado e acondicionado sob congelamento para as análises moleculares.

Além disso, o material liofilizado da floração de cianobactérias ocorrida em 1999 foi cedido pelo Setor de Hidrobiologia da Copasa para o estudo molecular. As biomassas (material seco do seston, dos 15 isolados e da floração 1999) foram enviadas para o laboratório da UNSW para as análises descritas a seguir.

4.3.4.2 Extração de DNA

Para a extração de DNA, aproximadamente 100 mg do material seco de cada biomassa (dos 15 isolados, do seston de 2005 e da floração de 1999) foi adicionado a 500 µL do tampão XS (1 % de potássio-metilxantogenato; 800 mM de acetato de amônio; 20 mM EDTA; 1% SDS; 100 mM Tris-HCL, pH 7,4) e incubado a 65 °C por duas horas (agitando em vórtex após uma hora). A solução foi então colocada em banho de gelo por 10 minutos e em seguida centrifugada a 12.000 g por 10 minutos. Após essa fase, o sobrenadante foi recolhido e o DNA presente foi precipitado com a adição de uma solução de isopropanol (1 volume) e acetato de potássio 4 M (1/10 de volume) e colocado a 4 °C por 15 minutos, seguido centrifugação a 12.000 g por 15 minutos. O DNA já extraído foi então lavado com etanol 70 % e novamente centrifugado a 12.000 g por 15 minutos. Após o descarte do sobrenadante e evaporação do etanol o DNA foi ressuspensionado em 50 µL de água deionizada (NEILAN *et al.*, 2002).

4.3.4.3 Amplificação das seqüências alvo do DNA

Para a amplificação das seqüências alvo do DNA foi empregada a técnica de amplificação *in vitro*, reação em cadeia da polimerase (*Polymerase Chain Reaction* – PCR). Para tanto, foram utilizados diferentes oligonucleotídeos iniciadores, específicos para a detecção tanto dos genes relacionados às microcistinas, quanto da porção 16S do genoma e do operon da ficocianina (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 - Relação dos oligonucleotídeos iniciadores usados para amplificação das diferentes porções do genoma das cianobactérias estudadas.

Denominação	Genes alvo	Temperatura de anelamento	Referência
27F/809R	16SrDNA	52 °C	Salmon e Neilan (não publicado)
740F/1494R	16SrDNA	52 °C	Neilan <i>et al.</i> (1997)
PCβF/PCαR	Ficocianina	50 °C	Neilan <i>et al.</i> (1995)
Cd1F/R	mcyA	50 °C	Hisburgues <i>et al.</i> (2003)
FAA/RAA	mcyB	50 °C	Neilan <i>et al.</i> (1999)
ArgCATF/R	mcyC	50 °C	Roberts e Neilan (não publicado)
D ₁ SCRF/R	mcyD	42 °C	Roberts e Neilan (não publicado)
HepF/R	mcyE	52 °C	Jungblunt e Neilan (2006)
mcyGintF/R	mcyG	53 °C	Roberts e Neilan (não publicado)
MT ₂ F/R	Sintetases de peptídeo	52 °C	Neilan <i>et al.</i> (1999)
DKF/R	Sintases de policetídeos	55 °C	Moffitt e Neilan (2001)
mcyHF/R	mcyH	50 °C	Pearson <i>et al.</i> (2004)
mcyIF/R	mcyI	50 °C	Pearson <i>et al.</i> (2007)
mcyJF/R	mcyJ	50 °C	Pearson e Neilan (não publicado)

A PCR foi realizada sempre em um volume de reação definido de 20 µL, sendo 19 µL da solução de reagentes e 1 µL da amostra de DNA a ser amplificada. A reação foi feita em solução contendo: 0,2 U da enzima *Taq* polimerase (Fischer Biotech, Perth, Austrália), cloreto de magnésio (MgCl₂) 2,5 mM, tampão para reação PCR 1X (Fischer Biotech), 0,2 mM dNTPs (Fischer Biotech), 0,5 pmol de cada iniciador e água ultra pura esterilizada suficiente para um volume final de 20 µL.

A reação ocorreu em um termociclador GeneAmp PCR System 2400 (Perkin Elmer, Norwalk, CT). O ciclo básico da reação consiste em uma fase inicial de desnaturação a 92 °C por 2 minutos, seguido por 30 ciclos de: 92 °C por 20 segundos, 50 °C 30 segundos e 72 °C por 1 minuto. Em seguida a extensão final ocorre em um passo de 5 minutos a 72 °C. As condições da reação podem variar de acordo com o par de iniciadores (temperatura de anelamento no Quadro 4.4) usados ou mesmo a qualidade do DNA extraído.

Os produtos da reação foram analisados em eletroforese de gel de agarose (1 ou 2%) em solução tampão TAE 1X e corados em solução de brometo de etídium (1 µg/mL) por 10 minutos. Para a documentação fotográfica foi utilizado o sistema Gel-DOC Bio-RAD e o programa de computador Quantity One 4.1R (BIO-RAD, USA).

4.3.4.4 Seqüenciamento dos produtos da PCR

O seqüenciamento dos produtos obtidos após as reações de amplificação (PCR) foi realizado automaticamente no laboratório de seqüenciamento da UNSW pelos sistemas PRISM Big Dye e ABI 3730 Capillary Applied Biosystem. As seqüências obtidas foram então analisadas utilizando-se o programa de computador Applied Biosystem Auto-Assembler e conferidas manualmente quanto à sua qualidade. A identidade de cada seqüência foi determinada através da homologia com as seqüências publicadas no banco internacional de genes - GenBank, utilizando-se a ferramenta Blast (*Basic Local Alignment Search Tool*).

As seqüências obtidas utilizando-se os iniciadores específicos para os genes que codificam a síntese das microcistinas foram analisadas quanto à identidade. Para isso, as seqüências de nucleotídeos foram traduzidas para seqüências de peptídeos usando o programa EXPASY (Expert Protein Analysis System - <http://www.expasy.org>). A avaliação baseou-se no resultado apresentado pela seqüência de aminoácidos quando estas foram alinhadas com as seqüências referência no GenBank.

4.3.4.5 Processamento e análises filogenéticas das seqüências

Para o estudo das seqüências obtidas foram construídas árvores filogenéticas com as seqüências das porções 16S rDNA e *mcyB* das cepas estudadas. As seqüências dos isolados juntamente com as seqüências de referência obtidas no banco de dados do GenBank (*National Center for Biotechnology Information-NCBI-<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>*) foram comparadas e submetidas ao alinhamento múltiplo utilizando-se o programa Clustal X (1.8) (<http://www.bioinformatics.ubc.ca>). As árvores filogenéticas foram construídas pelo método de distância (*Neighbour-Joining*) e o cálculo da significância estatística de similaridade entre as seqüências foi feito através da análise de reamostragem (*bootstrap*) para 1000 replicações.

4.3.4.6 Investigação da presença de microcistinas e/ou metabólitos secundários

Para a avaliação da produção de cianotoxinas pelos 15 isolados e material do seston foram realizados primeiramente ensaios de inibição da enzima fosfatase (PP2A) de acordo com descrito em Heresztyn e Nicholson (2001). A capacidade de inibição da proteína fosfatase foi comparada com a curva do padrão da microcistina-LR e o resultado foi expresso em equivalentes de microcistina-LR/mg de matéria orgânica. Os testes foram realizados em duplicata e foram repetidos três vezes.

Em seguida foram realizadas análises de cromatografia líquida de alta eficiência (High Performance Liquid Chromatography - HPLC) apenas dos extratos das amostras que apresentaram resultado positivo nos ensaios de inibição da fosfatase. O procedimento de extração e análise foi realizado como descrito em Lawton *et al.* (1994). A extração foi feita em solução de metanol 70% e o extrato final foi analisado por HPLC-DAD (*solvent module* 125 e *autosampler* 507e, Beckman, Krefeld, Germany; *photodiode array detector* SPD-M10A, Shimadzu, Duisburg, Germany) utilizando-se uma coluna C18 de fase reversa (Grom-Sil-ODS4 He). As frações obtidas foram coletadas, secas a vácuo e ressuspendidas em água ultra pura.

Para a avaliação dos possíveis metabólitos secundários produzidos pelos isolados foram feitas análises de detecção por Maldi-Tof MS (*Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry*). De acordo com a metodologia descrita em Kumayer *et al.* (2002), com apenas 1 µL da amostra e 1 µL da solução matriz (10 mg/mL de ácido 2,5-dihidroxibenzoico em água/acetonitrila (1:1) e 0,03 % de ácido trifluoroacético) foram realizadas as análises e gerados os espectros contendo os picos dos diferentes peptídeos presentes em cada amostra. O equipamento utilizado foi o espectrofotômetro Applied Biosystems Voyager DE STR MALDI reflectron TOFMS.

4.3.5 Tratamento estatístico e apresentação gráfica dos resultados

- *Análise dos parâmetros bióticos e abióticos amostrados nas diferentes profundidades da coluna d'água*

Inicialmente, os dados referentes aos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água do manancial foram analisados para verificação da presença de “outliers”, ou seja, observações substancialmente diferentes das outras, que apresentam valores extremos. Como tais valores podem ser indicativos de características reais da população em estudo ou serem conseqüências de erros de medição que podem distorcer seriamente os testes estatísticos, todas as ocorrências foram analisadas individualmente para verificação da necessidade ou não de sua exclusão.

Quando a opção adotada foi a exclusão dos “outliers”, foi empregada uma regra empírica largamente utilizada no meio científico e adotada pelo pacote estatístico utilizado (Statística 6.1) e todos os conjuntos de dados foram tratados como a seguir:

Observação > Quartil superior + 1,5 (Quartil superior – Quartil inferior) ⇒ exclusão do dado

ou

Observação < Quartil inferior - 1,5 (Quartil superior – Quartil inferior) ⇒ exclusão do dado

Onde,

Quartil superior: percentil 75 %

Quartil inferior: percentil 25 %

Em seguida, os constituintes Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, Ferro Total, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*, foram analisados por meio de estudos estatísticos preliminares. Para todos os constituintes de interesse, foram calculadas as estatísticas básicas relativas ao número de dados, médias aritmética e geométrica, mediana, desvio padrão, percentis de 10 e de 90 %. Os resultados foram apresentados na forma de tabelas e de gráficos “box-whisker” para permitir uma melhor visualização da variabilidade observada em cada estação de amostragem, em todas as profundidades.

Numa etapa posterior, a normalidade dos dados foi checada com a utilização dos testes estatísticos Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro Wilk e o teste gráfico “Normal Probability Plot”, executados pelo pacote estatístico Statistica 6.1 (StatSoft, Inc., 2003).

A partir dos resultados obtidos, foram determinados os testes estatísticos não paramétricos a serem empregados para verificação da existência de diferenças significativas entre as medianas dos dados relativos aos parâmetros físicos, químicos e biológicos coletados nas diversas profundidades. Quando os dados foram considerados diferentes nos testes Kruskal-Wallis ANOVA e no teste de medianas (Kruskal-Wallis, 1952, Siegel & Castellan, 1988), ao nível de significância (α) de 5%, foram empregados os testes de comparações múltiplas. Estes testes permitem uma comparação simultânea entre todos os resultados obtidos e a verificação de quais constituintes apresentam comportamentos diferenciados dentre as quatro profundidades (superfície, secchi, 5 metros e fundo). O teste não paramétrico de comparações múltiplas de classes para todos os grupos (Siegel & Castellan, 1988) foi empregado após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis ANOVA e teste de medianas.

- *Avaliação comparativa dos parâmetros bióticos e abióticos nas estações de amostragem do reservatório*

As quatro estações foram analisadas, também, de forma comparativa, buscando a identificação de diferenças significativas dos parâmetros bióticos e abióticos amostrados em cada uma delas. Para isto, foram empregados os mesmos testes estatísticos não paramétricos citados anteriormente.

Foi efetuada, ainda, a verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nos períodos seco e chuvoso em todas as profundidades amostradas, por meio do teste estatístico de Mann-Whitney, considerando o nível de significância (α) de 5 %,

- *Análise de agrupamentos*

A análise de agrupamentos foi realizada numa tentativa de evidenciar os grupos de pontos similares, considerando as características limnológicas e sanitárias das quatro estações de monitoramento, a partir da avaliação de 19 variáveis (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*) que possuíam dados suficientes. A análise foi efetuada para os períodos chuvoso e seco separadamente.

O “software” Statistica 6.1 foi utilizado para a execução da análise, que se constituiu das seguintes etapas:

- Padronização dos dados, já que existiam tipos de escala muito diferentes e é importante que as dimensões que são usadas para computar distâncias entre objetos sejam de magnitudes comparáveis. A forma de padronização efetuada pelo Statistica (e a mais usualmente utilizada) consiste na conversão de cada variável em escores padrão (também conhecidos como escores Z) pela subtração da média e divisão pelo desvio-padrão para cada variável:

$$\text{Valor padronizado} = \frac{X - \bar{X}}{S_x}$$

Esse processo converte cada variável inicial em um valor padronizado com uma média zero e um desvio-padrão igual a um, eliminando o viés introduzido pelas diferenças nas escalas das diversas variáveis utilizadas na análise.

- Utilização da análise de cluster pelo método hierárquico (análise hierárquica de agrupamentos), com o objetivo de perceber se agrupamentos “naturais” são formados pelos dados de uma maneira significativa.

O algoritmo aglomerativo usado para desenvolver os agrupamentos foi o de ligação completa, baseado na distância máxima entre indivíduos, ou seja, todos os objetos em um agrupamento são conectados um com o outro a alguma distância máxima ou similaridade mínima. A medida de similaridade utilizada foi a distância euclideana, que considera o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo formado a partir de dois pontos em duas dimensões.

- *Análise de componentes principais*

A análise de componentes principais (ACP) foi efetuada também nos dados padronizados para evitar distorções devidas às diferentes ordens de magnitude dos valores numéricos e das variâncias dos parâmetros analisados. As 19 variáveis, anteriormente citadas, foram também analisadas neste caso e a ACP foi empregada numa tentativa de explicar as principais tendências de variação da qualidade da água observada tanto no período de chuva quanto de seca.

Duas abordagens foram consideradas para elaboração das análises de agrupamento e de componentes principais:

- Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades, nos períodos chuvoso e seco;
- Análise individual dos dados das quatro estações em cada profundidade, nos períodos chuvoso e seco.

A matriz de correlação de Spearman das 19 variáveis foi também calculada a partir dos dados padronizados, já que é útil para apontar associações entre variáveis que podem mostrar a coerência global do conjunto de dados e evidenciar a participação de parâmetros individuais em vários fatores de influência. Como esta técnica estatística foi utilizada como ferramenta de apoio para a interpretação dos resultados obtidos na ACP, as tabelas de dados são apresentadas no Apêndice B.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise dos parâmetros bióticos e abióticos analisados nas diferentes profundidades da coluna d'água

Os resultados do monitoramento realizado no reservatório de Vargem das Flores que são apresentados compreendem o período entre outubro de 2004 e março de 2007 para a estação 1 e outubro de 2004 e junho de 2006 para as estações 2, 3 e 4. Como as variações sazonais nos ambientes aquáticos tropicais estão relacionadas na maioria das vezes à ocorrência de chuvas, foram analisados separadamente os resultados dos períodos chuvoso e seco obtidos durante o estudo.

No intuito de caracterizar o ambiente estudado, primeiramente, são apresentados os resultados de cada estação de amostragem, considerando separadamente os parâmetros abióticos e bióticos, os gráficos para comparação entre os dois períodos (chuvoso e seco) e os resultados dos testes estatísticos.

Em seguida são apresentados os resultados das comparações dos parâmetros bióticos e abióticos entre as quatro estações de amostragem estudadas, incluindo as séries temporais e os resultados das análises multivariadas. E por fim, são mostrados os resultados do estudo genético e avaliação da toxicidade das cianobactérias isoladas do manancial.

Para o emprego da estatística descritiva, a normalidade dos dados foi verificada por meio da execução dos testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk e o teste gráfico "Normal Probability Plot". Os resultados dos testes de normalidade efetuados para a estação 1 (Apêndice A) indicaram que apenas os parâmetros referentes à temperatura, turbidez, condutividade, PT-PO₄ e clorofila-a não apresentaram desvios acentuados de normalidade, dentre os 26 constituintes testados. Este comportamento foi considerado como representativo de todo o reservatório.

Como alguns parâmetros não possuíam dados suficientes para a determinação do tipo de distribuição de frequência que melhor representasse o comportamento das variáveis, não foi possível efetuar as transformações necessárias para a normalização de dados assimétricos. Desta forma, testes não paramétricos foram empregados para verificação da existência de diferenças significativas entre os parâmetros monitorados em cada profundidade. Numa

primeira etapa foram aplicados o teste de Kruskal-Wallis ANOVA e o teste de medianas (Kruskal-Wallis, 1952, Siegel & Castellan, 1988), considerando o nível de significância (α) de 5 %, para verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nas diversas profundidades. Quando os resultados eram considerados diferentes por estes testes (valores de $p < 5\%$), foram empregados os testes de comparações múltiplas para definição de quais profundidades apresentavam valores menores ou maiores que as outras.

Em seguida foi aplicado o teste estatístico de Mann-Whitney, considerando o nível de significância (α) de 5 %, para a verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nos períodos seco e chuvoso nas profundidades amostradas.

5.1.1 Estação 1

A estatística descritiva dos parâmetros abióticos e bióticos (seis últimas colunas) analisados na estação 1 no período chuvoso, outubro a março, é apresentada na Tabela 5.1. A Tabela 5.2 apresenta os resultados do período seco, abril a setembro, durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a outubro de 2007.

5.1.1.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.1 a 5.5 apresentam os gráficos “box whisker” dos períodos chuvoso e seco de outubro de 2004 a outubro de 2007 para a estação 1. Em seguida são apresentadas os Quadros 5.1 e 5.2 contendo os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

A discussão conjunta dos resultados será efetuada após a apresentação de todos os resultados.

Tabela 5.1 - Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 1 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	FeT	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	12
	Méd. aritm.	25	6,5	0,42	0,01	0,45	9	13	3	15	55	8	124	8	0,06	6	28815	669	409	289	232	7
	Méd. geom.	25	6,4			0,27			3	14	55	8	123	8	0,05	6		231	252		108	7
	Mediana	26	7,0	0,14	0,01	0,45	8	12	4	15	54	8	120	8	0,04	6	203	216	432	216	115	7
	Perc. 10%	21	5,0	0,00	0,01	0,08	0	0	2	7	50	6	105	8	0,04	3	0	18	25	0	35	5
	Perc. 90%	28	7,5	1,00	0,02	0,72	20	20	4	21	61	10	150	8	0,10	8	20331	2566	811	773	595	9
	Desv. Pad.	3	1,1	0,95	0,01	0,46	7	7	1	6	4	1	15	0	0,04	2	115621	871	306	255	420	2
Secchi	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	26	6,4	0,38	0,01	0,40	10	14	3	16	54	8	124	8	0,05	6	19612	699	374	238	232	8
	Méd. geom.	26	6,3			0,24			3	14	54	8	123	8	0,05	5					108	7
	Mediana	26	6,4	0,13	0,01	0,31	10	15	4	15	54	8	120	8	0,04	6	371	177	364	148	115	8
	Perc. 10%	24	5,0	0,00	0,01	0,06	0	1	2	8	48	7	110	8	0,04	2	0	0	26	0	35	4
	Perc. 90%	28	7,7	0,96	0,02	0,73	20	20	4	25	59	9	150	8	0,08	8	12229	1590	699	743	595	15
	Desv. Pad.	2	1,0	0,84	0,01	0,39	7	8	1	6	4	1	14	0	0,03	5	76693	1044	269	310	420	4
5 metros	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	25	6,2	0,50	0,01	0,75	12	15	3	16	54	8	122	8	0,05	5	19573	714	380	169		
	Méd. geom.	25	6,0			0,27			3	15	54	8	122	8	0,05	5			270			
	Mediana	25	6,2	0,19	0,01	0,31	15	20	3	15	55	8	120	8	0,04	5	190	223	340	128		
	Perc. 10%	24	4,6	0,02	0,00	0,05	0	1	2	8	49	8	110	8	0,04	2	0	4	39	0		
	Perc. 90%	28	7,7	0,99	0,02	1,61	20	26	4	25	59	9	140	8	0,09	8	10331	2049	814	394		
	Desv. Pad.	2	1,2	1,13	0,01	1,56	8	8	1	6	4	1	12	0	0,03	3	77856	942	277	170		
10 metros	Nº dados	18	18	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	25	3,3	0,66	0,01	0,94	13	16	4	26	57	8	127	8	0,20	6	8321	457	176	93		
	Méd. geom.	25	3,0	0,38		0,40			4	22	56	8	126	8	0,12	5			105			
	Mediana	25	3,6	0,42	0,01	0,52	16	20	4	20	57	8	120	8	0,09	5	58	96	116	60		
	Perc. 10%	23	1,0	0,09	0,00	0,10	0	0	2	8	50	7	110	7	0,04	2	0	0	20	0		
	Perc. 90%	26	5,0	1,15	0,02	3,62	23	26	8	40	62	9	150	8	0,63	10	4142	1066	557	297		
	Desv. Pad.	2	1,3	1,07	0,01	1,47	9	9	2	13	4	1	12	0	0,23	4	33147	771	188	105		
Fundo	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	23	1,4	0,80	0,01	0,91	15	19	5	66	60	8	132	7	0,77	6	204	284	95	34		
	Méd. geom.	23		0,61		0,35			5	48	60	8	131	7	0,34	4						
	Mediana	24	1,0	0,59	0,01	0,32	19	20	5	60	62	9	130	7	0,50	4	0	59	14	11		
	Perc. 10%	21	0,5	0,22	0,00	0,10	0	0	3	8	54	6	110	7	0,05	2	0	2	0	0		
	Perc. 90%	26	3,5	1,89	0,01	5,20	30	33	7	110	66	9	150	8	1,99	10	1101	697	557	94		
	Desv. Pad.	2	1,0	0,59	0,00	1,80	10	11	2	42	4	1	16	0	0,94	7	446	505	180	46		

Tabela 5.2 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 1 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	Fe	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	17	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	14	7
	Méd. aritm.	22	5,4	0,42	0,01	0,69	8	12	3	15	55	8	120	8	0,07	4	420	1133	623	125	221	5
	Méd. geom.	22	5,1	0,32		0,39			3	14	55	8	119	8	0,06	3			361		172	5
	Mediana	22	5,6	0,43	0,01	0,57	8	11	3	15	54	8	120	8	0,05	4	0	111	573	67	155	5
	Perc. 10%	20	2,4	0,07	0,00	0,11	0	5	2	8	50	7	98	7	0,04	2	0	2	86	0	67	3
	Perc. 90%	26	8,0	0,71	0,02	1,70	15	29	4	24	62	9	140	8	0,13	5	122	3530	1063	265	473	9
	Desv. Pad.	2	1,9	0,27	0,01	0,64	6	8	1	7	5	1	15	0	0,04	1	1649	1851	703	182	163	3
Secchi	Nº dados	17	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	17	17	17	14	15
	Méd. aritm.	22	5,3	0,49	0,01	0,75	8	11	3	16	55	8	120	8	0,08	4	404	827	454	137	221	6
	Méd. geom.	22	5,0	0,36		0,37			3	14	55	8	119	8	0,06	4		87	235		172	4
	Mediana	22	5,0	0,55	0,01	0,41	9	11	3	16	53	8	120	8	0,04	4	0	101	575	51	155	5
	Perc. 10%	20	2,1	0,07	0,00	0,09	0	5	2	8	51	7	98	7	0,04	2	0	1	31	0	67	2
	Perc. 90%	26	7,3	1,01	0,02	1,70	17	18	4	30	61	9	140	8	0,18	7	50	3464	1080	568	473	11
	Desv. Pad.	2	1,8	0,33	0,01	0,84	6	7	1	8	4	1	15	0	0,08	3	1650	1322	393	198	163	4
5 metros	Nº dados	17	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	16	16	16	16	16
	Méd. aritm.	22	5,0	0,48	0,01	1,21	10	16	3	16	56	7	120	8	0,07	4	325	745	728	112		
	Méd. geom.	22	4,3	0,36		0,53			3	15	55	7	119	8	0,05	4						
	Mediana	22	5,0	0,49	0,01	0,58	10	13	3	16	54	8	115	8	0,04	4	0	111	285	67		
	Perc. 10%	20	1,4	0,09	0,00	0,12	0	6	2	8	50	6	105	7	0,04	2	0	0	24	0		
	Perc. 90%	25	8,3	1,01	0,03	4,50	18	28	4	25	62	9	140	8	0,15	6	271	2480	2581	356		
	Desv. Pad.	2	2,4	0,33	0,01	1,52	9	10	1	6	5	1	13	0	0,10	1	1254	1211	1074	134		
10 metros	Nº dados	17	17	17	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	16	16	16	16	16
	Méd. aritm.	22	4,3	0,61	0,01	1,09	9	16	4	23	56	7	120	7	0,26	3	1	679	380	93		
	Méd. geom.	22	3,7	0,47		0,68			3	19	56	7	120	7	0,10	3			173			
	Mediana	22	4,4	0,61	0,01	0,63	9	13	3	20	55	7	120	8	0,06	3	0	96	206	62		
	Perc. 10%	20	1,9	0,10	0,00	0,17	0	6	2	8	51	6	100	7	0,04	2	0	2	17	0		
	Perc. 90%	25	6,8	1,10	0,03	2,60	19	28	8	50	63	9	140	8	1,14	4	0	2689	911	220		
	Desv. Pad.	2	1,9	0,36	0,01	1,14	8	10	2	14	5	1	15	0	0,44	1	3	994	363	131		
Fundo	Nº dados	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	16	16	16	16	16
	Méd. aritm.	21	2,9	0,97	0,01	0,81	16	25	5	37	57	8	125	7	0,98	4	1	549	130	74		
	Méd. geom.	21				0,51			4	26	57	8	124	7	0,18	4						
	Mediana	21	3,7	0,72	0,01	0,45	15	22	3	20	59	8	125	7	0,05	4	0	60	70	26		
	Perc. 10%	19	0,0	0,06	0,00	0,16	0	5	2	10	51	7	100	7	0,04	2	0	0	3	0		
	Perc. 90%	24	5,6	2,45	0,02	2,10	35	57	10	100	62	9	150	8	3,11	6	2	2443	382	173		
	Desv. Pad.	2	2,2	0,81	0,01	0,95	12	18	3	36	6	1	18	0	1,70	2	3	915	160	156		

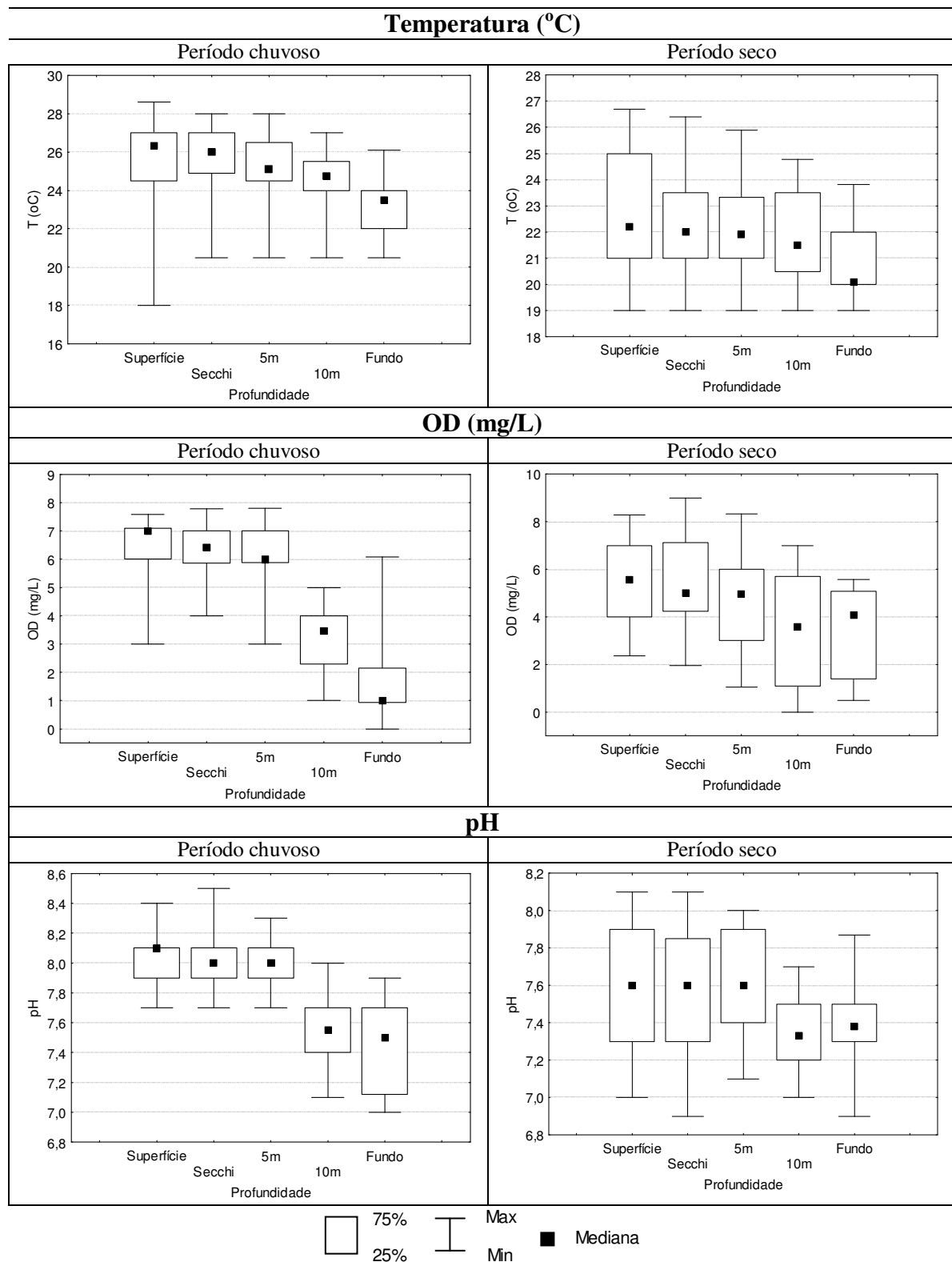


Figura 5.1 - Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

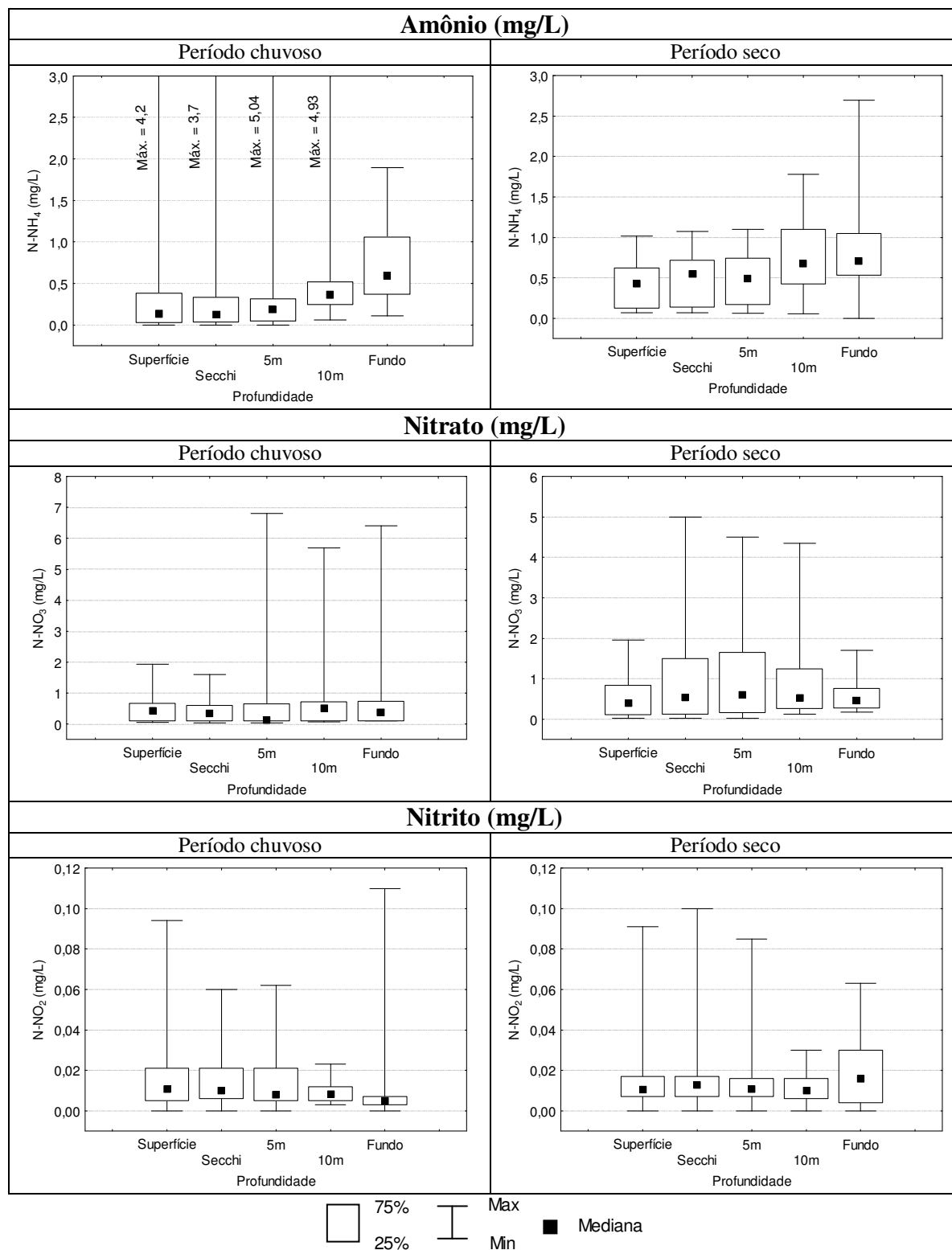


Figura 5.2 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **amônio (mg/L)**, **nitrito (mg/L)** e **nitrate (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

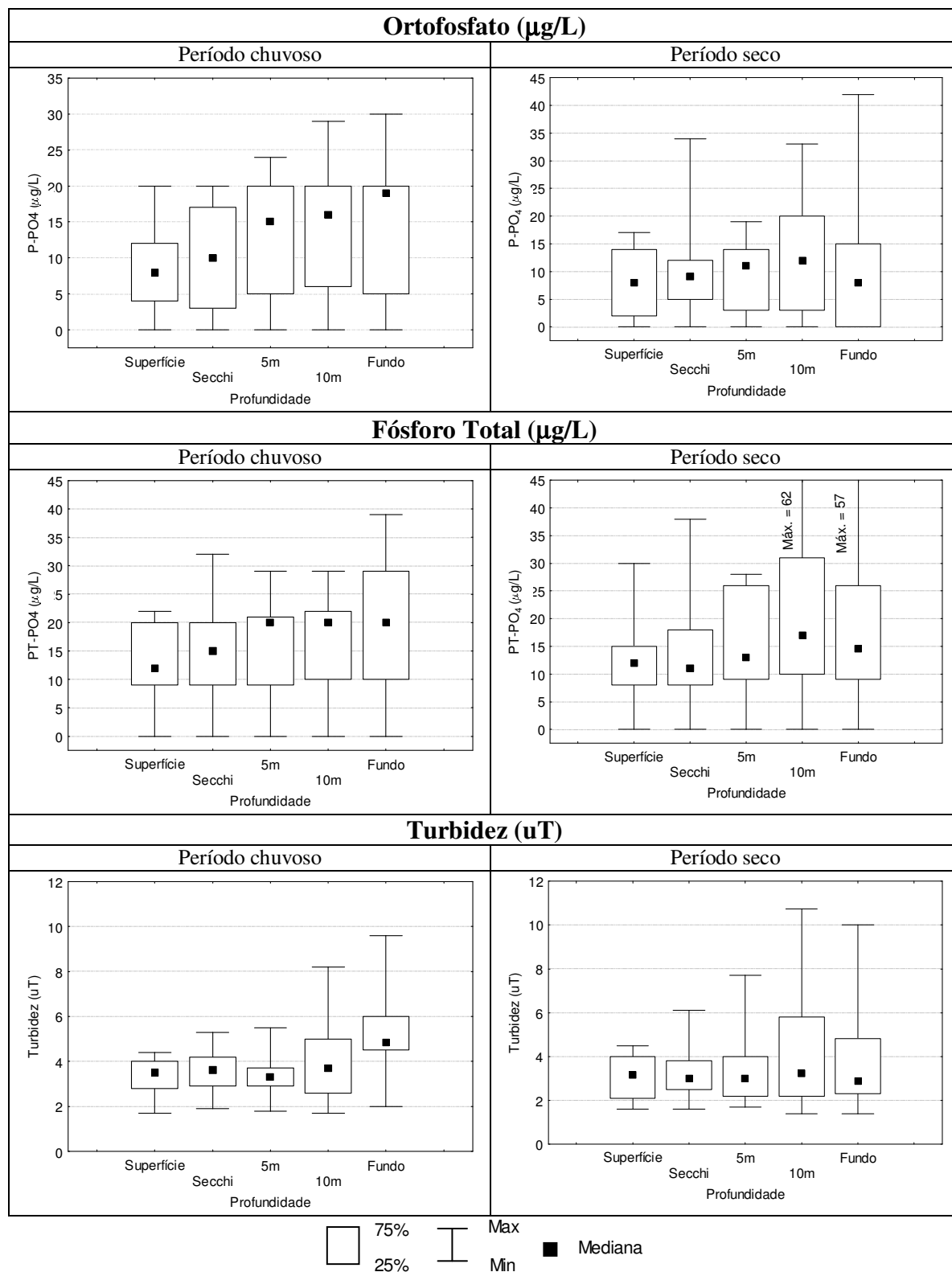


Figura 5.3 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato (µg/L)**, **fósforo total (µg/L)** e **turbidez (uT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

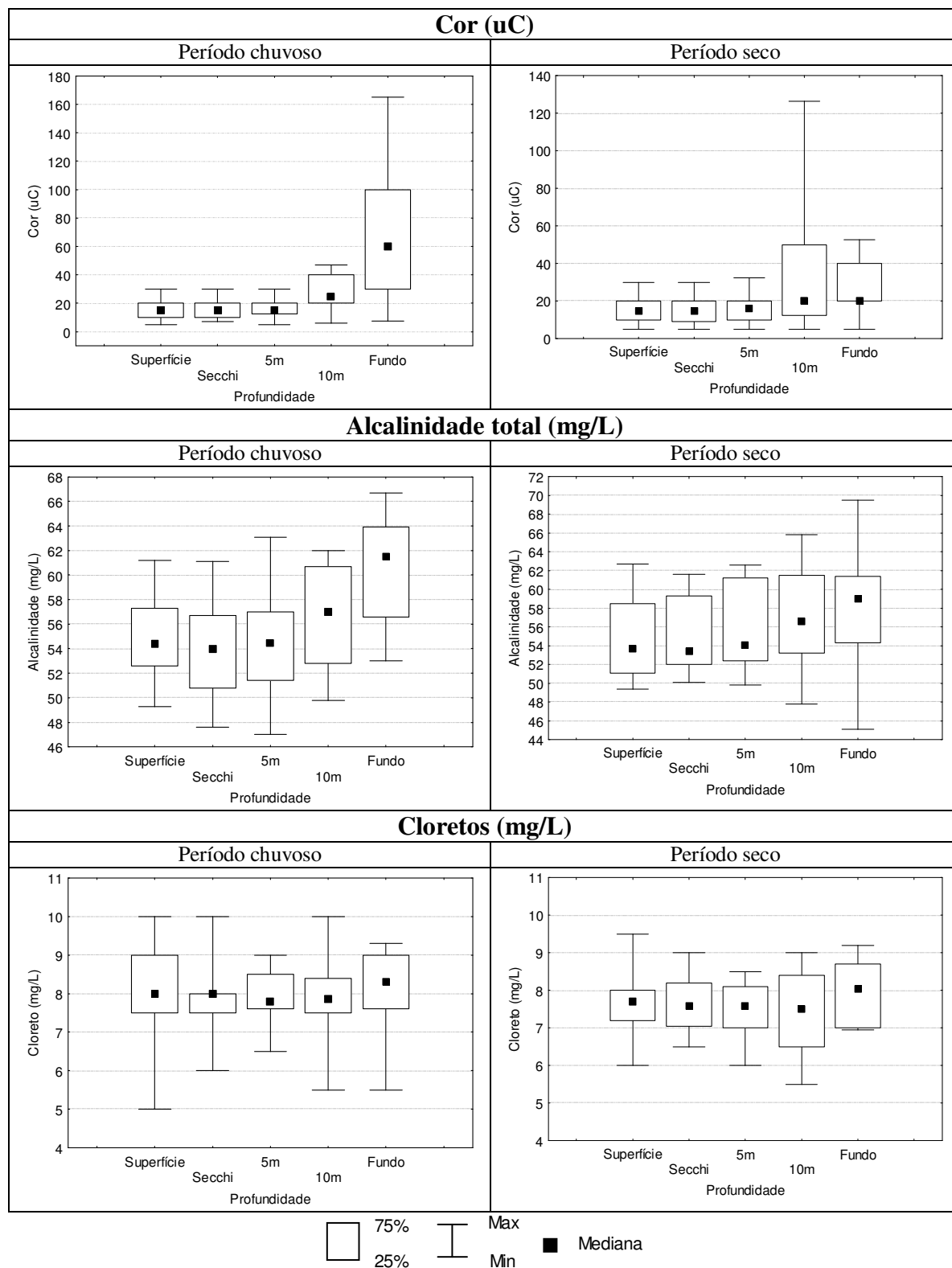


Figura 5.4 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloreto (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

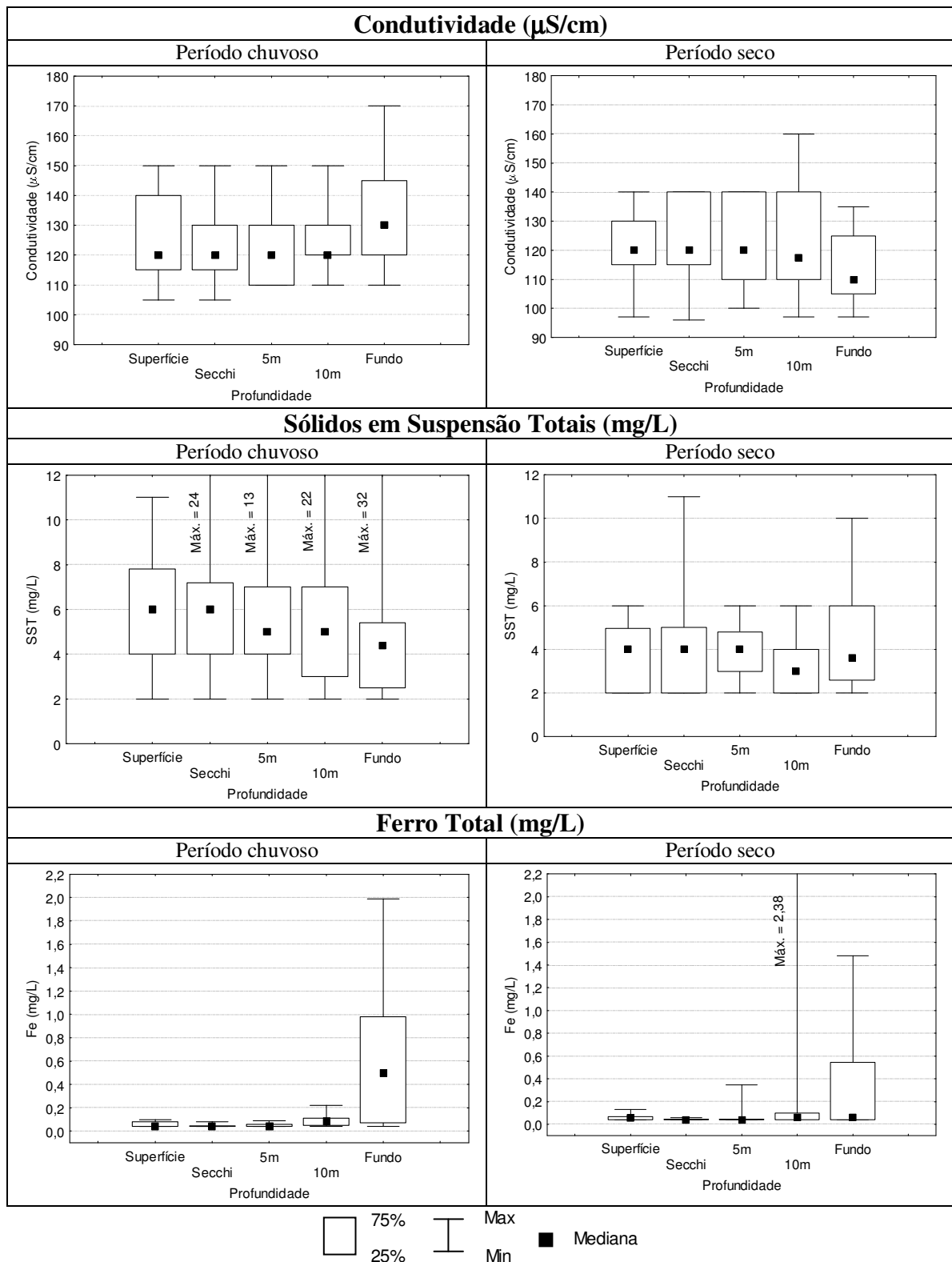


Figura 5.5 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)**, **sólidos em suspensão totais (mg/L)** e **ferro total (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.1 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si e significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si e significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície e cinco metros.
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fe Total (mg/L)	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si. Fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros e dez metros significativamente diferente do Secchi.	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.2 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade				
	SUP	SEC	CIN	DEZ	FUN
T (°C)	X	X	X	X	X
OD (mg/L)					X
N-NH ₄ (mg/L)	X	X	X		
N-NO ₃ (mg/L)					
N-NO ₂ (mg/L)					
P-PO ₄ (µg/L)					
PT-PO ₄ (µg/L)					
Turb (uT)					
Cor (uC)					X
Alc (mg/L)					
Cl (mg/L)			X		
Conduct (µS/cm)					
pH	X	X	X		
SST (mg/L)	X	X	X	X	
Fe Total (mg/L)					

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, DEZ-dez metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se as tabelas da estatística descritiva (Tabelas 5.1 e 5.2) e os gráficos “box-whisker” (Figura 5.1) observa-se que a maior variação dos valores da temperatura ocorreram durante o período chuvoso (estação quente). Mesmo não havendo grande oscilação da temperatura nesse período, típico das regiões tropicais (SCHÄFER, 1984), a coluna d’água encontrava-se estratificada nesse período (Figura 5.36), como será comentado mais detalhadamente no item 5.2.1.1. Apenas os valores de temperatura medidos no fundo apresentaram diferenças estatisticamente significativas (considerando-se o nível de significância de 5%) das demais profundidades avaliadas (Quadro 5.1).

No período seco (abril a setembro), representando a estação fria (outono e inverno), observa-se pequena variação na temperatura (Tabela 5.2 e Figura 5.1) com ausência de diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades (Quadro 5.1).

Ao avaliarem-se as diferenças entre as temperaturas encontradas durante os períodos chuvoso e seco, observa-se que em todas as profundidades foram encontradas diferenças

estatisticamente significativas (ao nível de significância, α , de 5%) entre os dois períodos (Quadro 5.2), confirmando a influência de uma estação quente e chuvosa e outra estação seca e fria.

Os valores do oxigênio dissolvido (OD) nas diferentes profundidades no período chuvoso (Tabela 5.1 e Figura 5.1) retratam a ocorrência de um gradiente de concentração de OD, com as maiores concentrações sendo encontradas na superfície, na profundidade de extinção do disco de Secchi e a 5 metros da superfície, e as menores nas camadas mais profundas (10 metros da superfície e a um metro do fundo). A diferença da distribuição do OD na estação 1 pode ser claramente visualizada na Figura 5.1. A concentração de oxigênio dissolvido no fundo e a 10 metros foi significativamente menor ($\alpha = 5\%$) que as concentrações encontradas nas outras profundidades (Quadro 5.1).

Principalmente durante o dia a diferença de distribuição do oxigênio dissolvido entre as camadas superficiais e profundas da coluna d'água é mais evidente. Na zona eufótica devido à intensa atividade fotossintética ocorre maior produção de oxigênio, enquanto na zona afótica, devido à decomposição microbiana da matéria orgânica, ocorre consumo. A temperatura elevada do hipolímnio de lagos tropicais (maioria superior a 20°C) induz à perdas mais rápidas de oxigênio e acelera os processos de decomposição da matéria orgânica. Em todos os meses monitorados foram observadas elevadas temperaturas (19 a 26°C) no hipolímnio na estação 1, o que provavelmente contribuiu para períodos de anoxia nessa profundidade (Tabela e Figura 5.1).

No período seco, observa-se aumento da concentração de OD nas camadas profundas da estação 1 (Tabela 5.2 e Figura 5.1). Os valores de OD entre as profundidades durante o período seco não apresentaram diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) (Quadro 5.1) com menor variação das concentrações em toda a coluna. A melhor distribuição do OD pode indicar o período de circulação da coluna d'água.

Quando se comparou a concentração de OD entre os períodos chuvoso e seco, observou-se que apenas na profundidade do fundo foi encontrada diferença estatisticamente significativa no nível adotado (Quadro 5.2). A ocorrência de concentrações semelhantes de oxigênio dissolvido, independentemente da estação do ano, na maior parte da coluna d'água deve-se provavelmente à produção primária do fitoplâncton durante todo o período.

Ao analisar-se os valores de pH tanto no período chuvoso quanto no seco (tabelas 5.1 e 5.2 e figura 5.1) observa-se um pH de neutro a levemente alcalino (pH 7 - 8,5) em todas as profundidades.

Apesar da pequena faixa de variação observada, o pH medido nas camadas mais profundas da coluna d'água (10 metros da superfície e a um metro do fundo) foi significativamente menor do que o das profundidades mais superficiais nos dois períodos, chuvoso e seco (Figura 5.1 e Quadro 5.1). Essa diferença é esperada, uma vez que a atividade fotossintética na zona eufótica consome gás carbônico, bicarbonatos e carbonatos, ocasionando a elevação do pH, enquanto no fundo a decomposição da matéria orgânica, assim como a respiração, geram gás carbônico e ácidos orgânicos causando a redução do pH (SAYER *et al.*, 1994).

Comparando-se os valores de pH entre os dois períodos (Quadro 5.2) observa-se que o pH no período seco foi significativamente menor nas profundidades da superfície, Secchi e 5 metros. Os menores valores de pH observados no período seco podem ser devido tanto à menor atividade fotossintética devido às temperaturas mais baixas nessa época, quanto à provável circulação da massa d'água nesse período possibilitando aumento da concentração de ácidos orgânicos, presentes no fundo, nas camadas mais superficiais da coluna d'água.

As concentrações de amônia medidas na profundidade do fundo da estação 1 foram significativamente maiores que as das outras profundidades no período chuvoso (Figura 5.2 e Quadro 5.1). As menores concentrações de nitrogênio amoniacal no epilímnio contrastando com maiores no hipolímnio podem estar relacionadas ao maior consumo pelo fitoplâncton nas camadas superficiais e maior produção do íon amônio no fundo, tanto através da decomposição da matéria orgânica quanto da redução do nitrato em condições anaeróbias.

No período seco, provavelmente devido à quebra da estratificação térmica (Figura 5.36), a concentração do íon amônio esteve igualmente distribuída não sendo encontradas diferenças significativas entre as profundidades ($\alpha = 5\%$). Segundo ESTEVES (1998) a distribuição da amônia na coluna d'água em regiões tropicais está bastante relacionada com o período de estratificação térmica, encontrando-se mais homogênea durante a circulação da massa d'água.

Quando avaliada a diferença das concentrações de amônia entre os dois períodos (Quadro 5.2), observa-se que no período seco as concentrações foram significativamente maiores nas camadas mais superficiais (superfície, Secchi e 5 metros), possivelmente relacionado com a

circulação da massa d'água e carreamento da amônia do fundo. Contudo analisando-se os valores da amônia no período chuvoso (Figura e Tabela 5.2), observa-se elevadas concentrações (valores máximos) que podem estar relacionados a eventos de chuva e carreamento de matéria orgânica.

Por outro lado, analisando-se os resultados das outras formas de nitrogênio, nitrato e nitrito (Figura e Tabela 5.2), não foram observadas diferenças da concentração desses compostos quando comparadas as profundidades em cada período (Quadro 5.1), ou mesmo quando comparadas as concentrações medidas entre os dois períodos (Quadro 5.2).

Da mesma forma, as concentrações de ortofosfato e fósforo total não apresentaram diferenças significativas ($\alpha = 5\%$) nem entre as profundidades nem entre os períodos seco e chuvoso (Quadros 5.1 e 5.2). Apesar dos testes estatísticos (baseados na diferença entre medianas) não terem apontado diferenças entre as profundidades, observa-se na Figura 5.3 variação da concentração tanto de ortofosfato quanto de fósforo total, com maiores valores nas camadas mais profundas. Através da análise dos valores encontrados para os nutrientes, tanto fósforo quanto nitrogênio, pode-se inferir que o reservatório encontrou-se na maior parte do período em condições de mesotrofia (índice de Vollenweider para as formas de nitrogênio e fósforo total).

Analisando-se a turbidez na coluna d'água da estação 1 (Tabelas 5.1 e 5.2 e Figura 5.3) observa-se que os valores medidos no fundo foram significativamente maiores que os das camadas superficiais (Quadro 5.1). Não foi observada diferença significativa ($\alpha = 5\%$) comparando-se os dois períodos (Quadro 5.2).

Na Figura 5.4 observa-se nitidamente a diferença significativa ($\alpha = 5\%$) entre a cor do fundo e a medida na superfície, Secchi e 5 metros. Os maiores valores de cor são, provavelmente, devido a maior concentração de ferro total dissolvido nas camadas do fundo, como mostrado na Figura 5.5.

A alcalinidade total medida na profundidade do fundo da coluna d'água da estação 1 no período chuvoso foi significativamente maior ($\alpha = 5\%$) que a observada na superfície, profundidade do Secchi e 5 metros da superfície (Figura 5.4 e Quadro 5.1). A maior alcalinidade no fundo pode estar relacionada com a concentração mais elevada de ácidos fracos provenientes da degradação de matéria orgânica, principalmente em condições de

anaerobiose. Além disso, as concentrações mais elevadas de amônia no fundo durante o período chuvoso (Figura 5.2) podem ter contribuído para o aumento da alcalinidade.

No período seco não foram observadas diferenças significativas da alcalinidade quando comparadas as profundidades (Quadro 5.1). Da mesma forma, não houve diferença quando comparadas as concentrações medidas entre os dois períodos (quadro 5.2).

A concentração de cloretos medida na coluna d'água (Tabelas 5.1 e 5.2 e Figura 5.4) não apresentou diferenças significativas ($\alpha = 5\%$) quando comparadas as profundidades em ambos os períodos, chuvoso e seco (Quadro 5.1). Porém, quando comparadas as concentrações entre os dois períodos (Quadro 5.2) observou-se que apenas na profundidade de cinco metros da superfície a concentração de cloretos no período chuvoso foi significativamente maior do que no período seco, embora a faixa de variação das concentrações tenha sido baixa: período chuvoso entre 8 e 9 mg / L e período seco entre 6 e 9 mg/L. A ocorrência de chuvas e carreamento de material alóctone, talvez de forma pontual, pode ter contribuído para a maior concentração de cloretos nesse período.

Apesar das medidas da condutividade elétrica não terem apresentado diferenças significativas ($\alpha = 5\%$) entre as profundidades, ou mesmo entre os períodos seco e chuvoso (Quadros 5.1 e 5.2), na Figura 5.5 observa-se que no período chuvoso existe um leve aumento da condutividade na camada do fundo, devido, provavelmente, à maior concentração de íons nessa profundidade. No período seco, os valores da condutividade parecem estar levemente aumentados nas profundidades do Secchi e 5 metros se compararmos com o período chuvoso.

Os valores de sólidos em suspensão totais (Tabelas 5.1 e 5.2 e Figura 5.5) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades (Quadro 5.1) em nenhum dos períodos. Contudo quando comparadas as concentrações entre os períodos, chuvoso e seco, (Quadro 5.2) foi observado que a concentração de SST foi significativamente maior ($\alpha = 5\%$) no período chuvoso. O aumento da concentração de partículas em suspensão deve estar relacionada com a ocorrência de chuvas que promovem o carreamento de material alóctone.

Provavelmente devido às baixas concentrações de oxigênio (condições redutoras) encontradas no hipolímnio da estação 1, observa-se na Figura 5.5 que as concentrações de ferro total encontradas nas camadas do fundo (dez metros da superfície e fundo) no período chuvoso são significativamente maiores ($\alpha = 5\%$) que as medidas na superfície, Secchi e 5 metros (Quadro

5.1). Apesar do teste estatístico (baseado na diferença entre medianas) não ter apontado diferenças significativas entre as profundidades no período seco, as concentrações medidas no fundo apresentam uma variação visivelmente maior que nas outras profundidades (Figura 5.5). Tanto que não foram encontradas diferenças significativas entre os dois períodos, para nenhuma das profundidades, com o teste Mann-Whitney.

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 1

A Figura 5.6 apresenta a variação temporal da profundidade de extinção do disco de Secchi. Podem ser observadas profundidades maiores, indicando maior transparência e, por conseguinte, maior incidência de luz, nos meses correspondentes ao período seco, com destaque para os meses de junho a setembro.

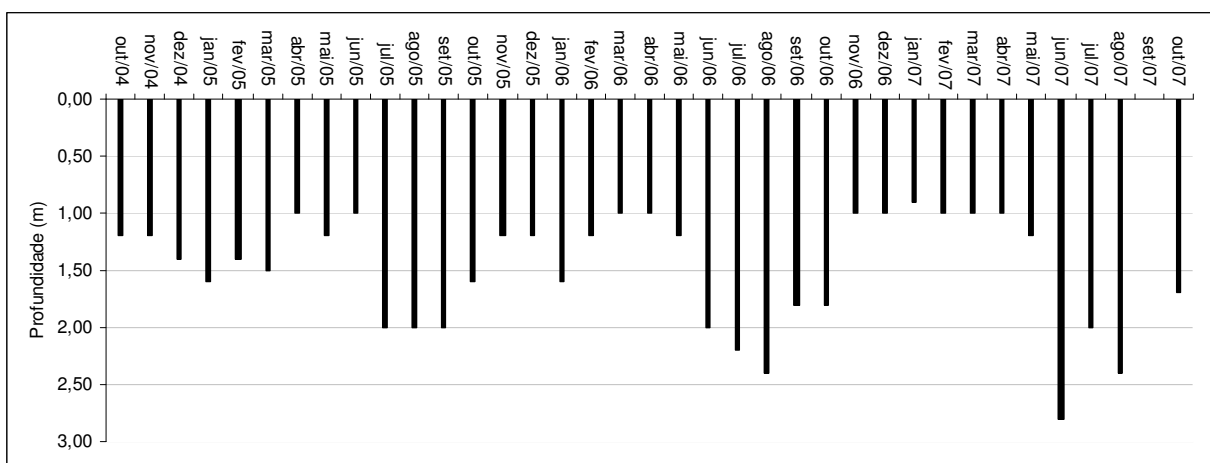


Figura 5.6 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** no período de outubro/04 a outubro/07 – Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Desta forma observa-se que a zona eufótica (valor da profundidade do disco de Secchi multiplicada por 3) dos meses mais frios (período seco) é maior se comparada ao período quente, meses de chuva. A turbulência causada pelas chuvas, assim como o carreamento de material em suspensão, podem ser os fatores responsáveis pela menor transparência nesse período. Os valores da profundidade do Secchi (Figura 5.7) medidos no período seco foram significativamente maiores ($\alpha = 5\%$) que no período chuvoso.

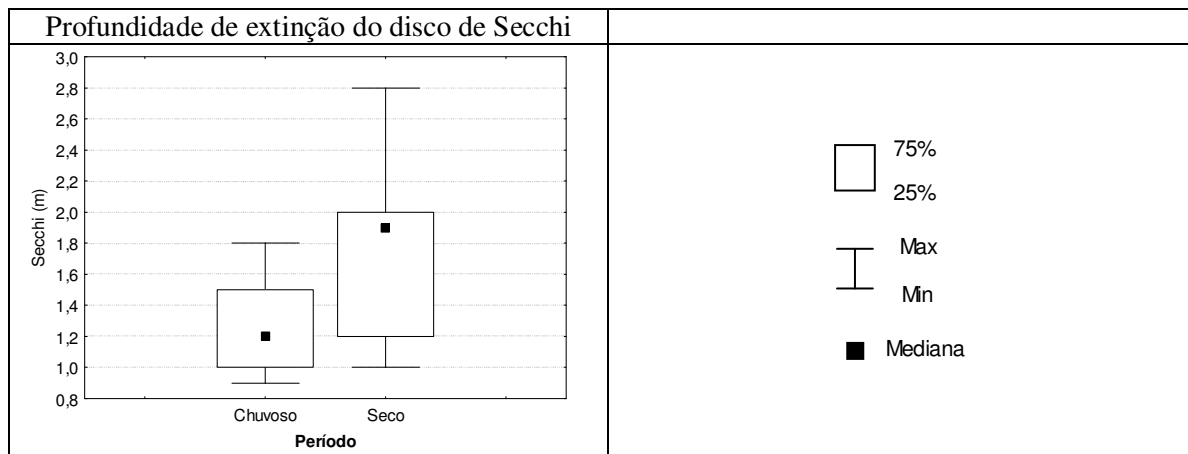


Figura 5.7 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.

5.1.1.2 Parâmetros bióticos

As Figuras 5.8 e 5.9 e os Quadros 5.3 e 5.4 apresentam os resultados dos períodos chuvoso e seco.

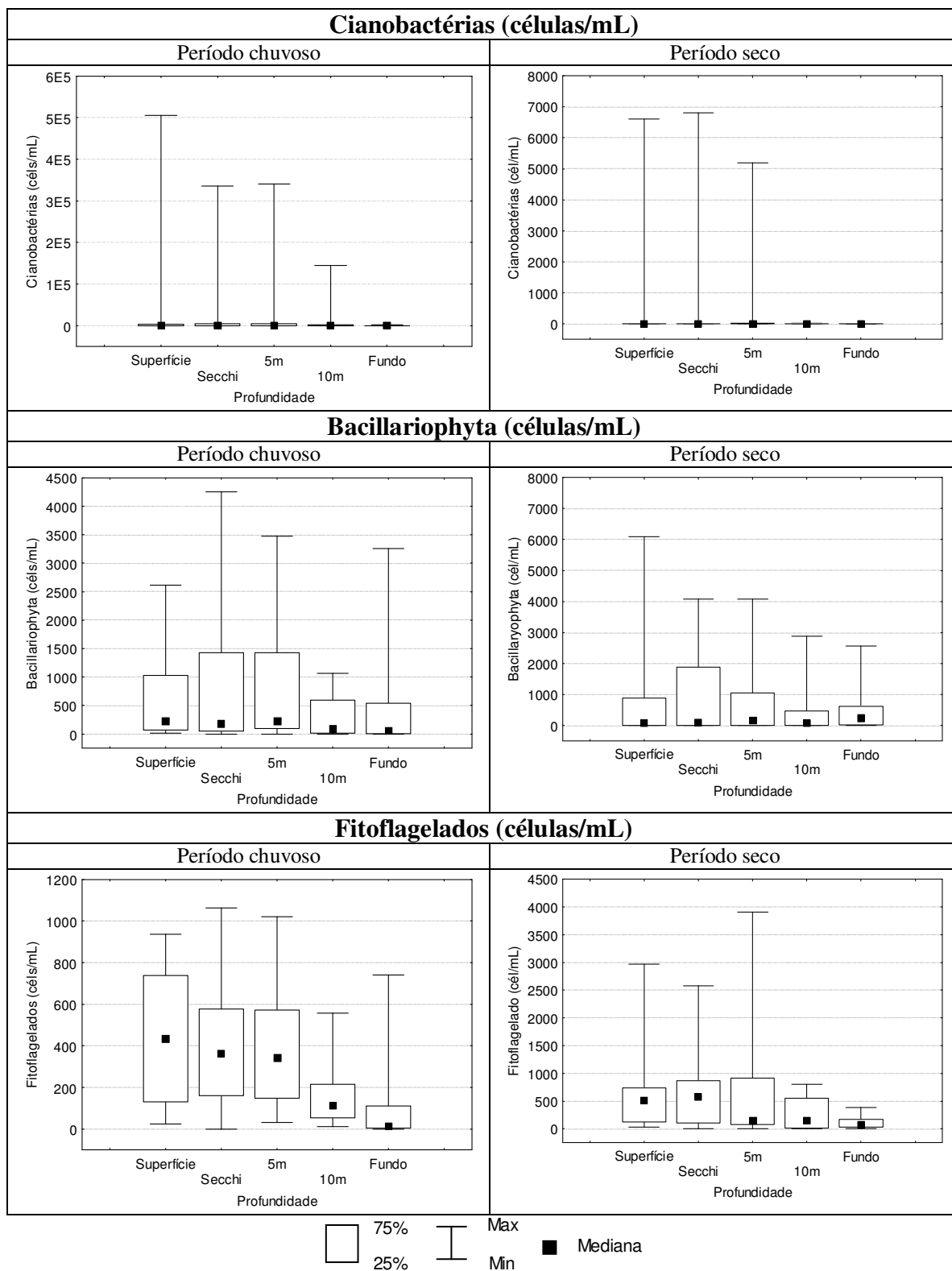


Figura 5.8 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG

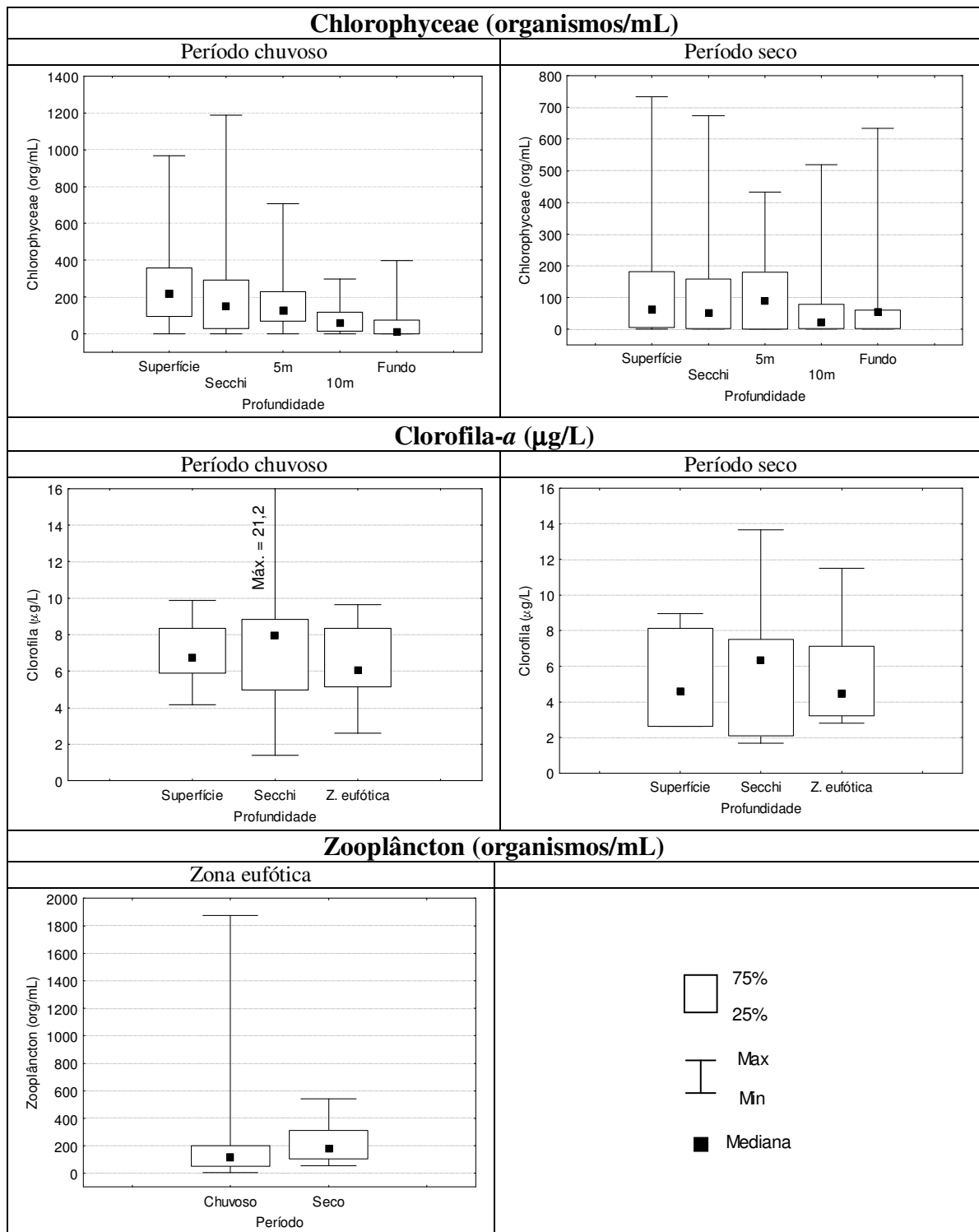


Figura 5.9 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila (µg/L)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.3 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fito (cél/mL)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Chloro (org/mL)	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si. Fundo significativamente diferente da superfície, Secchi e cinco metros e dez metros significativamente diferente da superfície.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.4 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade				
	SUP	SEC	CIN	DEZ	FUN
Ciano (cel/mL)	X	X	X	X	
Bac (cél/mL)					
Fito (cél/mL)					
Chloro (org/mL)	X				
Zoo (org/mL)	X	X	NR	NR	NR
Cl-a (µg/L)			NR	NR	NR

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, DEZ-dez metros, FUN- um metro do fundo, NR- não realizado.

Nota: - A diferença na concentração do zooplâncton é atribuída a toda a zona eufótica.
- X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se a distribuição das cianobactérias na coluna d'água da estação 1 (Figura 5.8), observa-se que não houve diferença significativa entre as profundidades em nenhum dos períodos, chuvoso e seco (Quadro 5.3). Contudo foi observada diferença significativa ($\alpha = 5\%$) entre os dois períodos (Quadro 5.4). No período chuvoso a concentração de células foi significativamente maior que no período seco. A sazonalidade da ocorrência das cianobactérias já foi relatada em muitos trabalhos e geralmente está relacionada com o

período de estratificação térmica da coluna d'água (JONES, 1997, SHERMAN *et al.*, 1998, FIGUEREDO e GIANI, 2001.).

Em relação aos outros grupos do fitoplâncton observam-se diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) entre as camadas mais profundas e as superficiais tanto para os fitoflagelados quanto para as algas Chlorophyceae. No período chuvoso (Figuras 5.8 e 5.9) pode-se observar maior concentração desses dois grupos na zona eufótica.

Contudo, quando comparados os dois períodos, apenas foi observada diferença significativa da concentração das Chlorophyceae na superfície (Quadro 5.3). A maior concentração desse grupo no período chuvoso pode estar relacionada às maiores taxas de crescimento devido às condições favoráveis como elevada temperatura (Figura 5.1) e concentração de nutrientes (Figura 5.2).

Torna-se importante ressaltar que o grupo dos fitoflagelados compreende as classes Cryptophyceae e Chlamydomonadales, agrupadas por apresentarem interesse sanitário comum, estando presentes, no geral, em águas ricas em matéria orgânica (BRANCO, 1986).

A medida de clorofila-a foi realizada apenas nas profundidades da zona eufótica. Desta forma, amostras das profundidades da superfície, Secchi e final da zona eufótica foram analisadas quanto à concentração de clorofila-a. Analisando-se a Figura 5.9 observa-se que a concentração clorofila-a manteve um padrão de distribuição tanto entre as profundidades quanto entre os dois períodos não apresentando diferenças significativas ($\alpha = 5\%$). A ausência de diferenças entre os dois períodos deve-se provavelmente ao fato da comunidade fitoplanctônica ter se mantido semelhante durante os dois períodos.

O zooplâncton apresentou concentrações significativamente superiores no período seco (Figura 5.9 e Quadro 5.4). As diferenças entre as profundidades nos dois períodos não foram avaliadas, uma vez que a coleta para a análise quantitativa do zooplâncton foi feita através do arraste de toda a zona eufótica. A menor concentração do zooplâncton no período chuvoso pode ser explicada pela maior instabilidade do ambiente aquático nesse período (variações da turbidez, transparência, regime de chuvas, etc.) que afetariam a comunidade zooplanctônica.

5.1.2 Estação 2

As Tabelas 5.3 e 5.4 a seguir apresentam a estatística descritiva dos parâmetros analisados na estação 2 nos períodos chuvoso, outubro a março, (Tabela 5.3) e seco, abril a setembro, (Tabela 5.4) durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a junho de 2006.

5.1.2.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.10 a 5.14 apresentam gráficos no período chuvoso e seco de outubro de 2004 a junho de 2006 para a estação 2, e os Quadros 5.5 e 5.6 mostram os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

Como no item anterior, a discussão conjunta será efetuada após a apresentação de todos os resultados.

Tabela 5.3 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 2 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	13	13	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	14	12
	Méd. aritm.	26	6,5	0,78	0,01	0,37	21	27	4	16	53	7	131	8	5	492	591	354	188	251	6
	Méd. geom.	26	6,4	0,15	0,01	0,26	19	25	4	15	53	7	130	8	5		258	287	134	110	5
	Mediana	26	7,0	0,15	0,01	0,23	21	24	4	15	52	8	130	8	5	129	172	425	132	120	5
	Perc. 10%	25	5,0	0,01	0,01	0,10	10	20	3	9	49	5	115	8	3	0	76	101	75	13	3
	Perc. 90%	28	7,8	1,98	0,01	0,76	29	39	5	20	57	9	150	8	7	1223	1150	568	336	887	6
	Desv. Pad.	1	1,2	1,51	0,00	0,32	7	9	1	5	3	2	13	0	2	773	755	198	142	343	3
Secchi	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Méd. aritm.	26	6,2	0,62	0,01	0,24	21	25	4	16	52	7	130	8	5	17444	481	433	168	251	6
	Méd. geom.	26	6,1	0,16	0,01	0,20	19	23	4	15	52	7	130	8	5			342		110	5
	Mediana	26	6,6	0,17	0,01	0,22	20	21	4	15	52	7	128	8	5	172	170	408	126	120	5
	Perc. 10%	25	5,0	0,01	0,01	0,10	8	16	3	8	49	5	116	8	4	0	5	132	9	13	3
	Perc. 90%	29	7,1	2,63	0,02	0,44	31	34	5	20	56	9	150	8	8	1923	1201	660	399	887	12
	Desv. Pad.	1	1,1	0,98	0,01	0,15	8	10	2	6	3	2	14	0	2	63792	559	308	142	343	4
5 metros	Nº dados	13	13	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	26	5,5	0,53	0,01	0,30	25	28	4	17	53	8	132	8	6	514	625	435	252		
	Méd. geom.	26	5,4	0,22	0,01	0,22	23	26	4	16	53	7	131	8	5		257	372	150		
	Mediana	25	5,0	0,15	0,01	0,20	20	21	4	15	53	8	132	8	6	42	280	520	159		
	Perc. 10%	25	4,0	0,08	0,01	0,10	10	17	3	8	48	6	115	8	3	0	36	102	47		
	Perc. 90%	27	6,9	1,68	0,01	0,74	39	48	6	29	58	9	150	8	9	1793	1260	617	458		
	Desv. Pad.	1	1,1	0,74	0,00	0,25	11	12	1	7	4	1	14	0	3	923	766	198	296		
Fundo	Nº dados	13	13	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	24	2,0	0,76	0,01	0,30	28	32	6	45	55	7	134	7	6	426	353	130	62		
	Méd. geom.	24	1,7	0,39	0,01	0,23	26	30	6	35	55	7	134	7	6		109				
	Mediana	25	2,0	0,41	0,01	0,21	20	29	6	31	54	8	136	7	6	42	128	101	77		
	Perc. 10%	23	1,0	0,09	0,01	0,10	15	20	3	11	51	6	120	7	4	0	6	32	4		
	Perc. 90%	25	3,7	2,42	0,02	0,63	44	44	8	90	60	9	150	8	8	1228	683	212	110		
	Desv. Pad.	1	1,2	0,85	0,01	0,22	13	15	3	31	4	2	11	0	2	658	559	116	43		

Tabela 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 2 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	9	9	9	9	10	6
	Méd. aritm.	23	5,2	1,15	0,01	0,67	18	22	4	14	52	8	127	8	3	16	836	458	68	114	7
	Méd. geom.	23	5,0	0,65	0,01	0,42	17	21	4	13	52	8	126	8	3		86		26	72	6
	Mediana	22	5,2	0,82	0,01	0,52	20	20	4	12	53	8	130	8	4	0	75	600	47	75	6
	Perc. 10%	21	3,5	0,15	0,01	0,10	7	16	2	7	47	7	108	7	2	0	1	0	2	11	3
	Perc. 90%	26	6,7	2,83	0,02	1,87	23	29	5	28	55	10	140	8	5	124	4320	847	324	249	14
	Desv. Pad.	2	1,2	1,11	0,00	0,65	6	5	1	8	3	1	13	0	1	41	1447	354	101	94	4
Secchi	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	11	11	11	11	10	9
	Méd. aritm.	23	5,2	1,07	0,01	0,37	20	23	4	14	54	8	127	8	4	35	749	532	105	114	5
	Méd. geom.	23	5,1	0,62	0,01	0,23	17	23	4	13	53	8	126	8	4		93	327		72	4
	Mediana	22	5,1	0,77	0,01	0,27	20	20	4	15	52	8	130	8	4	0	81	449	91	75	5
	Perc. 10%	20	3,5	0,15	0,01	0,03	8	19	2	8	50	6	108	7	2	0	2	43	7	11	1
	Perc. 90%	26	6,9	2,61	0,02	0,90	32	35	6	22	60	10	140	8	6	7	2108	770	247	249	10
	Desv. Pad.	3	1,3	1,01	0,00	0,32	9	7	1	6	4	1	13	0	1	114	1025	449	102	94	3
5 metros	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	23	4,7	1,20	0,01	0,64	20	27	4	16	54	8	128	8	4	32	789	518	143		
	Méd. geom.	22	4,5	0,61	0,01	0,50	18	25	4	15	54	8	128	8			65	259			
	Mediana	22	4,6	0,81	0,01	0,56	20	23	4	15	53	8	130	8	4	0	72	420	37		
	Perc. 10%	20	3,0	0,12	0,01	0,11	9	17	2	11	51	7	110	7	1	0	2	21	0		
	Perc. 90%	25	6,9	3,14	0,02	1,32	35	46	7	23	60	10	140	8	9	287	3498	1660	632		
	Desv. Pad.	2	1,5	1,23	0,00	0,42	9	12	2	5	4	1	11	0	3	96	1301	516	237		
Fundo	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	22	3,1	1,54	0,01	0,65	21	32	5	42	55	8	132	7	5	24	746	361	101		
	Méd. geom.	22		0,93	0,01	0,45	19	29	5	28	55	8	131	7	5		68	103			
	Mediana	22	3,0	1,20	0,01	0,77	20	28	4	20	55	8	140	7	4	0	30	240	26		
	Perc. 10%	20	0,5	0,18	0,01	0,04	11	20	3	11	51	7	115	7	3	0	2	3	0		
	Perc. 90%	25	5,8	3,56	0,02	1,00	36	57	11	103	60	10	140	8	10	211	3453	1541	557		
	Desv. Pad.	2	2,1	1,34	0,00	0,38	9	14	4	40	3	1	11	0	3	70	1191	495	182		

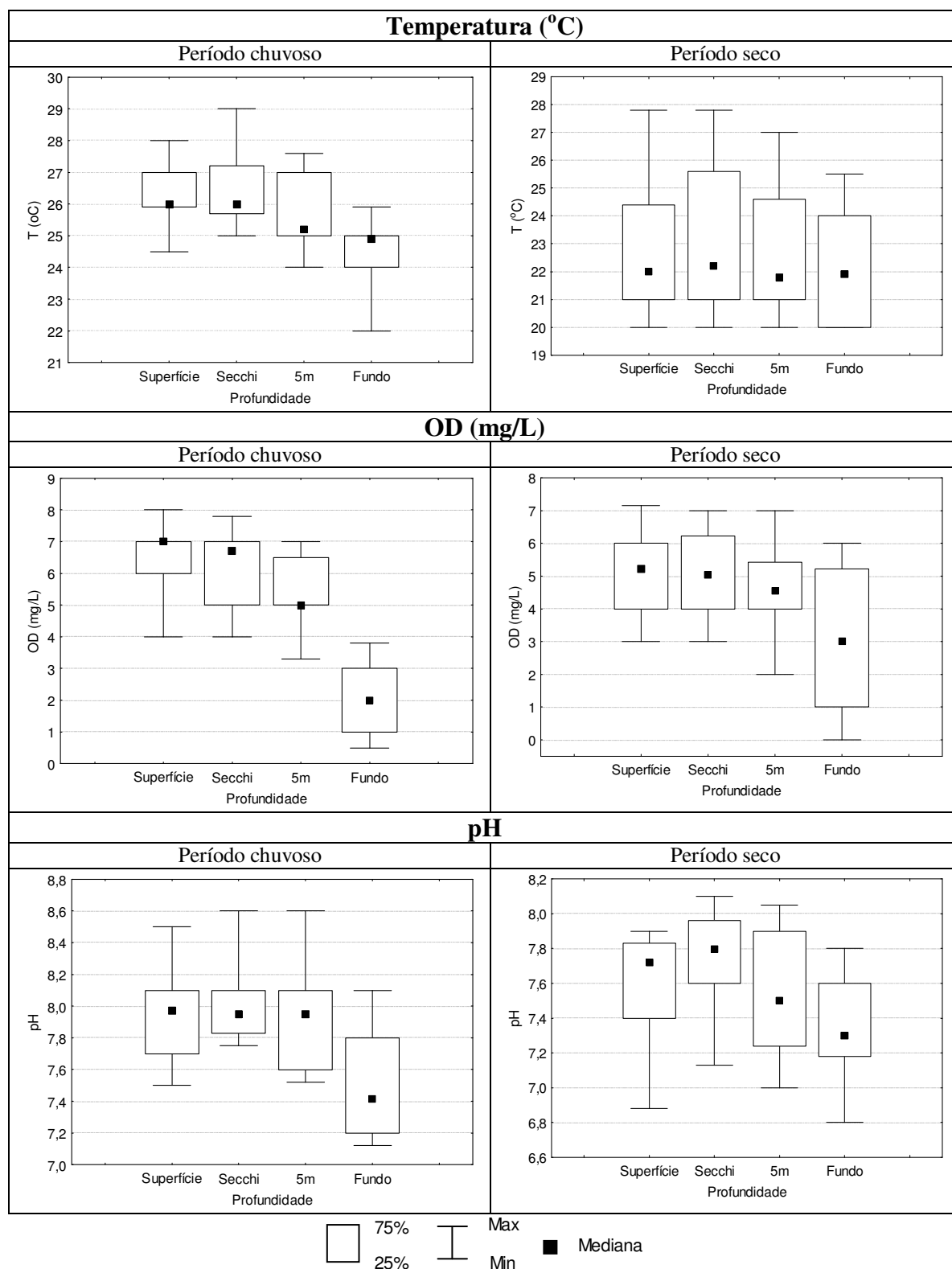


Figura 5.10 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.

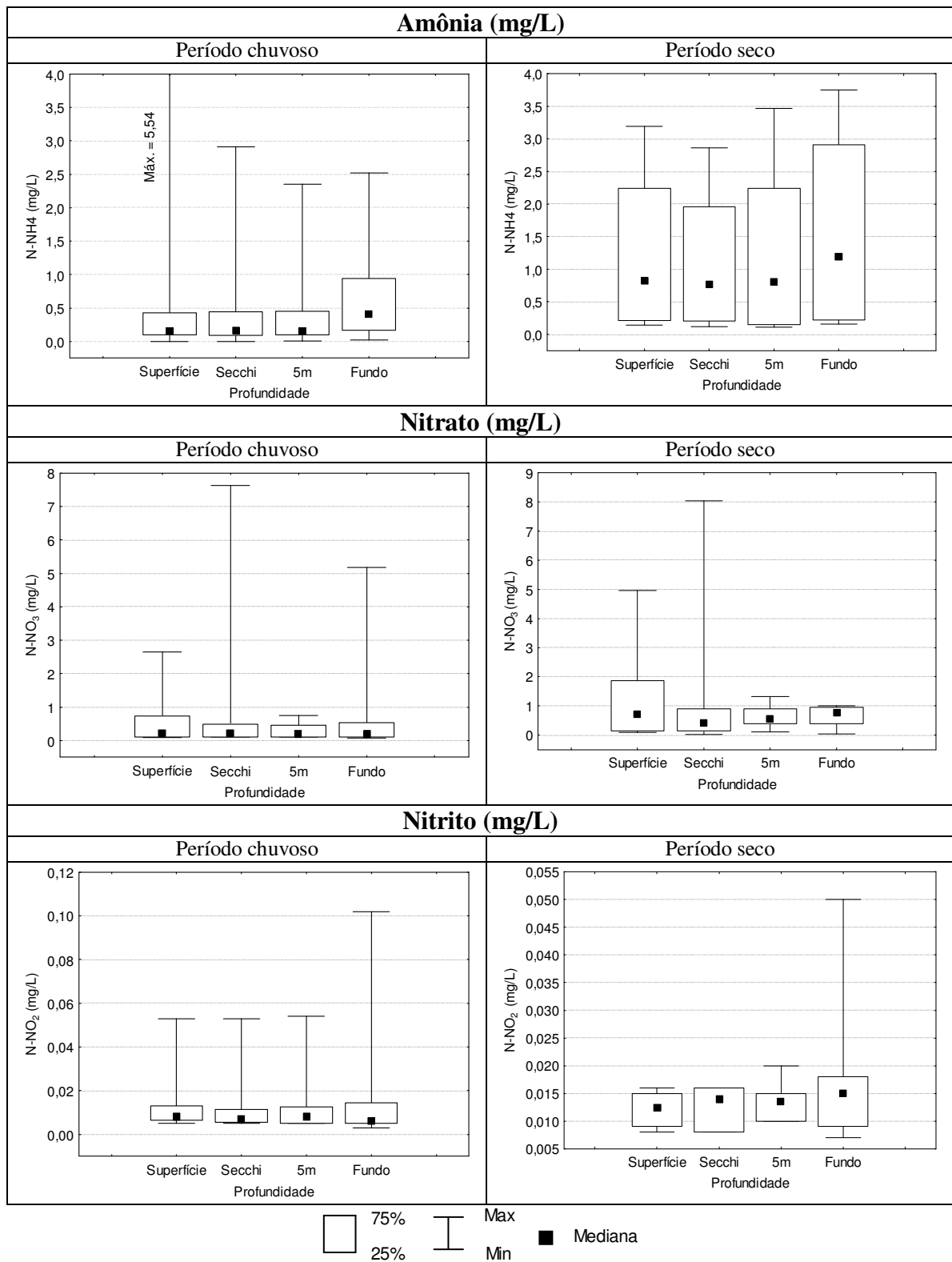


Figura 5.11 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **amônio** (mg/L), **nitrito** (mg/L) e **nitrate** (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG

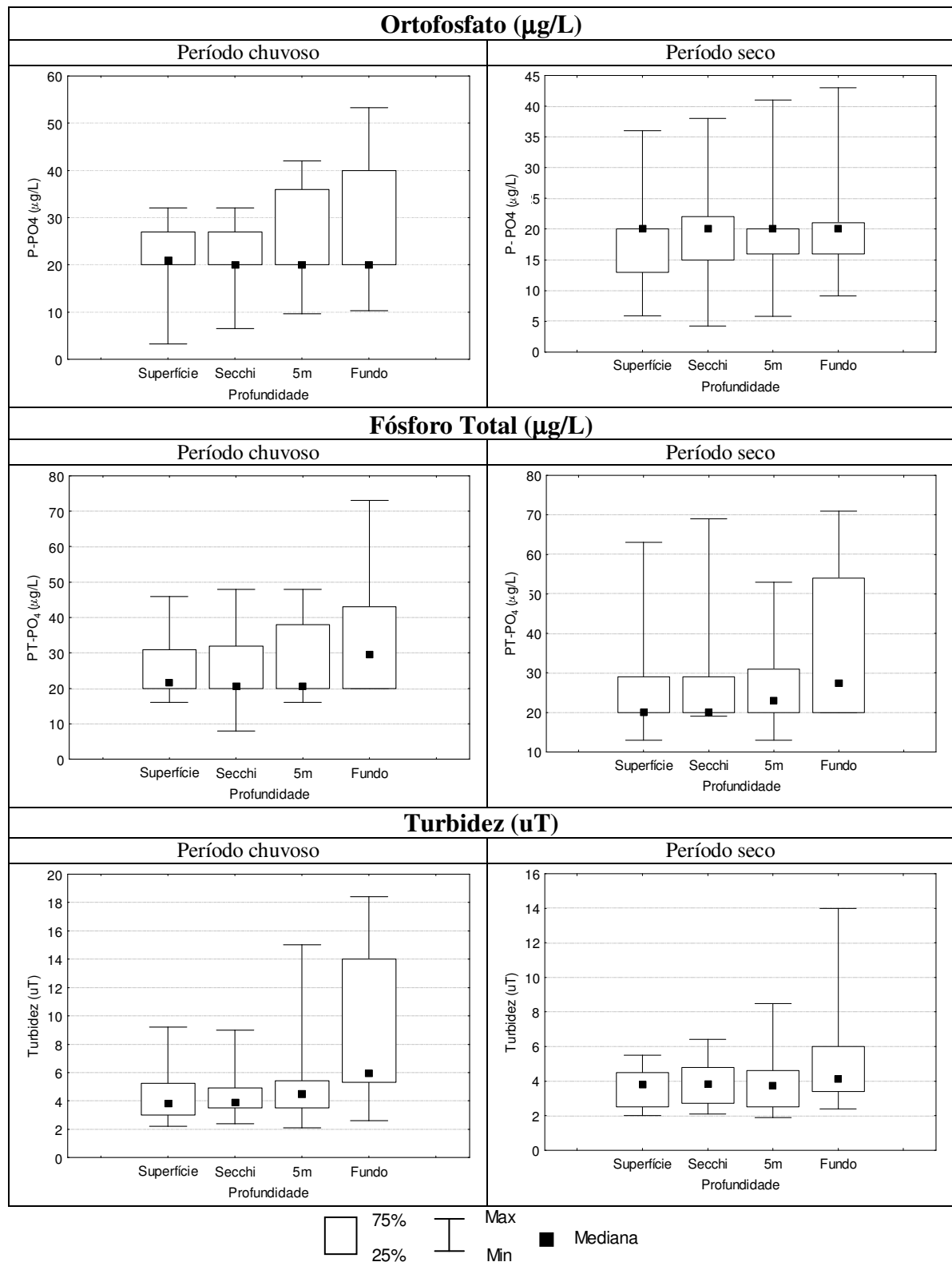


Figura 5.12 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato ($\mu\text{g/L}$)**, **fósforo total ($\mu\text{g/L}$)** e **turbidez (uT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.

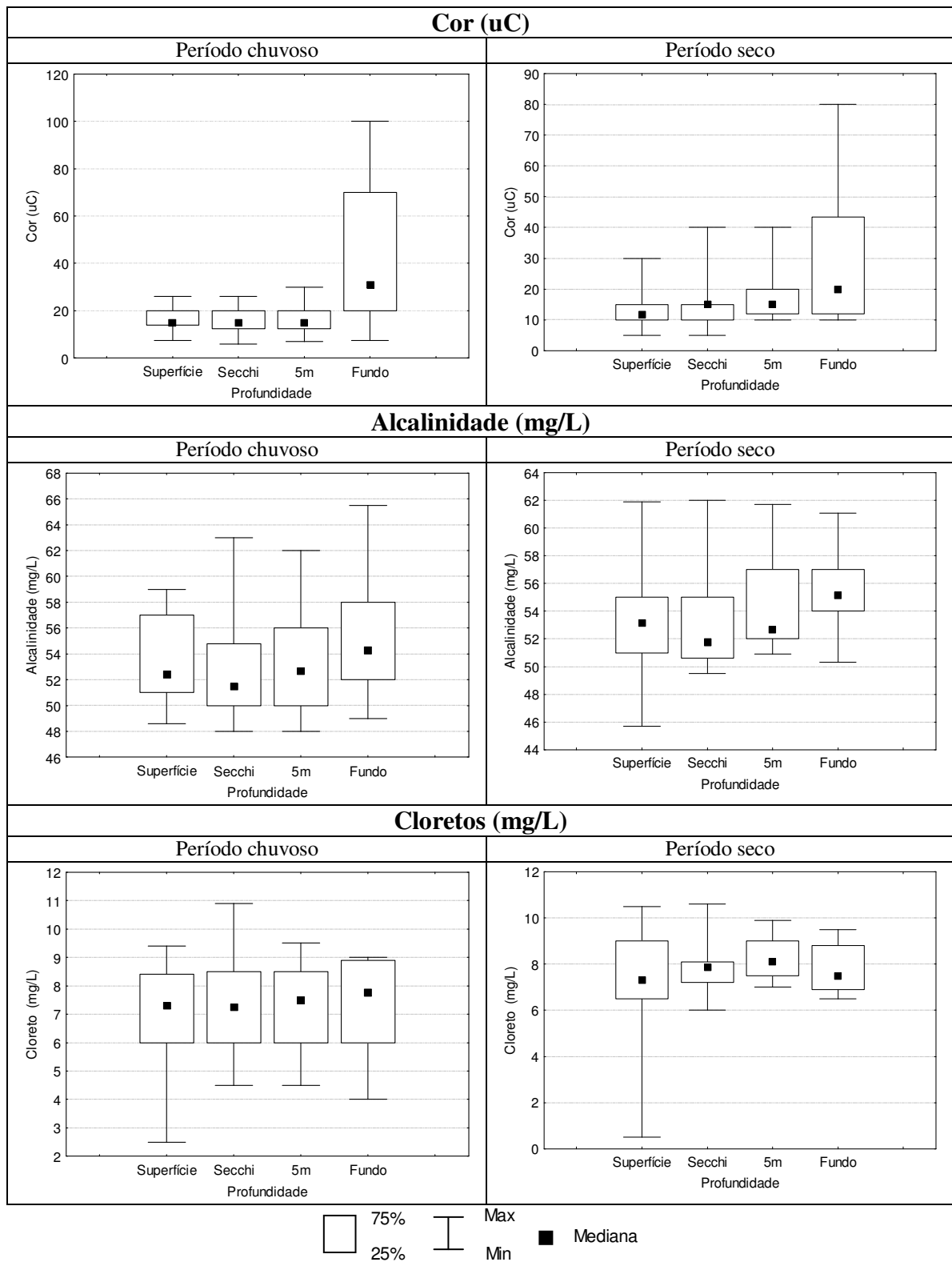


Figura 5.13 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloreto (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.

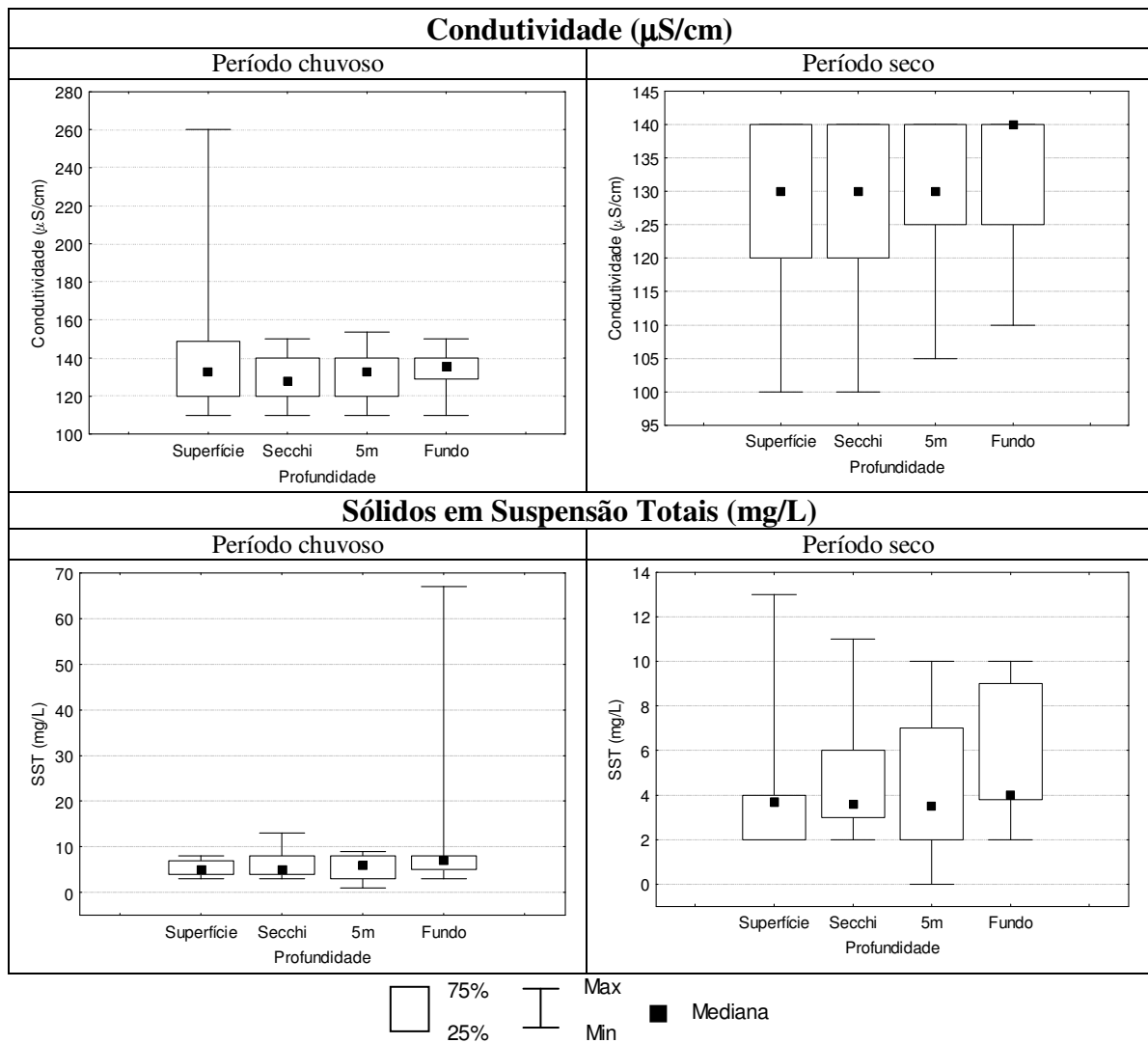


Figura 5.14 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)** e **sólidos em suspensão totais (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.5 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.6 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
T (°C)	X	X	X	X
OD (mg/L)	X			
N-NH ₄ (mg/L)				
N-NO ₃ (mg/L)				
N-NO ₂ (mg/L)				
P-PO ₄ (µg/L)				
PT-PO ₄ (µg/L)				
Turb (uT)				
Cor (uC)				
Alc (mg/L)				
Cl (mg/L)				
Conduct (µS/cm)				
pH	X		X	
SST (mg/L)	X	X		

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se os resultados obtidos na estação 2 podemos verificar que o comportamento da coluna d'água, principalmente referente à temperatura, distribuição de oxigênio dissolvido e pH, foi semelhante ao observado na estação 1. Na Figura 5.10 e Quadro 5.5, observa-se que no período chuvoso as temperaturas medidas no fundo foram significativamente menores (ao nível de significância de 5%) que nas camadas superficiais (superfície, Secchi e 5 metros). Enquanto no período seco não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades. Porém quando comparados os dois períodos, como relatado para a estação 1, as temperaturas no período chuvoso (outubro a março) foram significativamente superiores às do período seco e frio (Quadro 5.6). Na Figura 5.10 observa-se nitidamente a distribuição homogênea dos valores de temperatura da superfície até o fundo.

As concentrações de oxigênio dissolvido na estação 2 foram significativamente menores ($\alpha = 5\%$) no fundo durante o período chuvoso (Figura 5.10 e Quadro 5.5) e não apresentaram diferenças significativas durante o período seco, como observado para a estação 1. Quando comparados os dois períodos (Quadro 5.6) a concentração de OD foi significativamente

diferente apenas na superfície. Os maiores valores de OD na superfície pode ter sido devido à maior taxa fotossintética durante o período chuvoso.

Assim como na estação 1, os valores de pH medidos no período chuvoso da estação 2 foram significativamente menores no fundo em relação às outras profundidades (Figura 5.10 e Quadro 5.5). E, quando comparados ambos os períodos, o pH no período seco foi significativamente menor nas profundidades da superfície e 5 metros.

Embora as concentrações de nutrientes medidas (amônia, nitrato, nitrito, ortofosfato e fósforo total) não tenham apresentado diferenças significativas entre as profundidades ou mesmo comparando-se as profundidades entre os dois períodos, na Figura 5.11 e Tabelas 5.3 e 5.4 observa-se que a faixa de variação das concentrações de amônia foi maior no período seco.

Considerando os valores de ortofosfato e fósforo total no período chuvoso observa-se uma maior variação das concentrações nas camadas mais profundas apesar de não terem sido verificadas diferenças significativas nas medianas entre as profundidades (Figura 5.12 e Quadro 5.5).

Observa-se que os valores da turbidez (Figura 5.12) e cor (Figura 5.13) foram significativamente maiores no fundo que nas outras profundidades (Quadro 5.5) durante o período chuvoso, assim como relatado para a estação 1. Embora no período seco não tenha sido encontrada diferença significativa entre a mediana da cor do fundo em relação às outras profundidades, na Figura 5.13 pode-se notar que os valores alcançaram maiores magnitudes nessa profundidade.

O resultado do teste estatístico Mann-Whitney (Quadro 5.6) indicou concentração significativamente maior ($\alpha = 5\%$) de sólidos em suspensão totais na superfície e na profundidade do disco de Secchi durante o período chuvoso, como ocorrido na estação 1.

Importante ressaltar que nenhum dos parâmetros abióticos avaliados apresentaram diferenças significativas entre as profundidades durante o período seco parecendo indicar a ocorrência de circulação da coluna d'água (Quadro 5.5).

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 2

Da mesma forma que na estação 1 pode-se observar a maior transparência da coluna d'água nos período seco, com valores do desaparecimento do disco de secchi significativamente maiores ($\alpha = 5\%$) nesse período (Figuras 5.15 e 5.16).

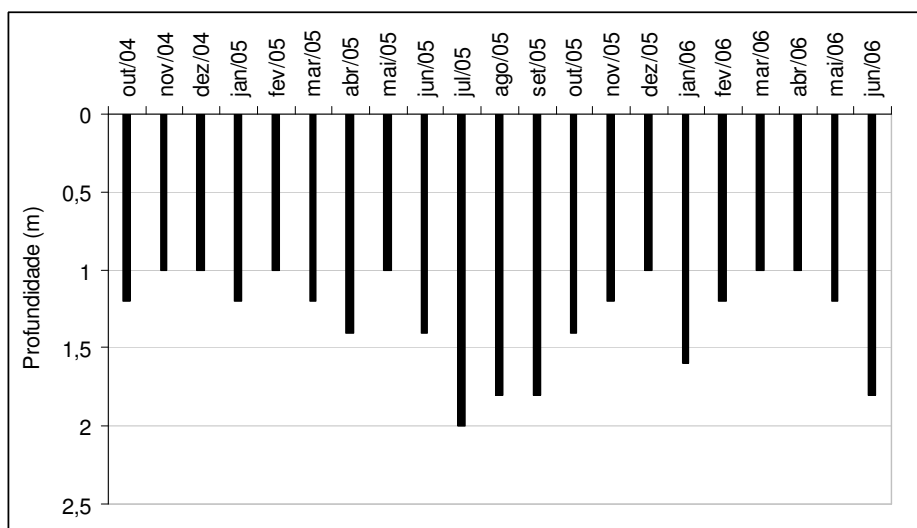


Figura 5.15 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 2. Vargem das Flores/MG.

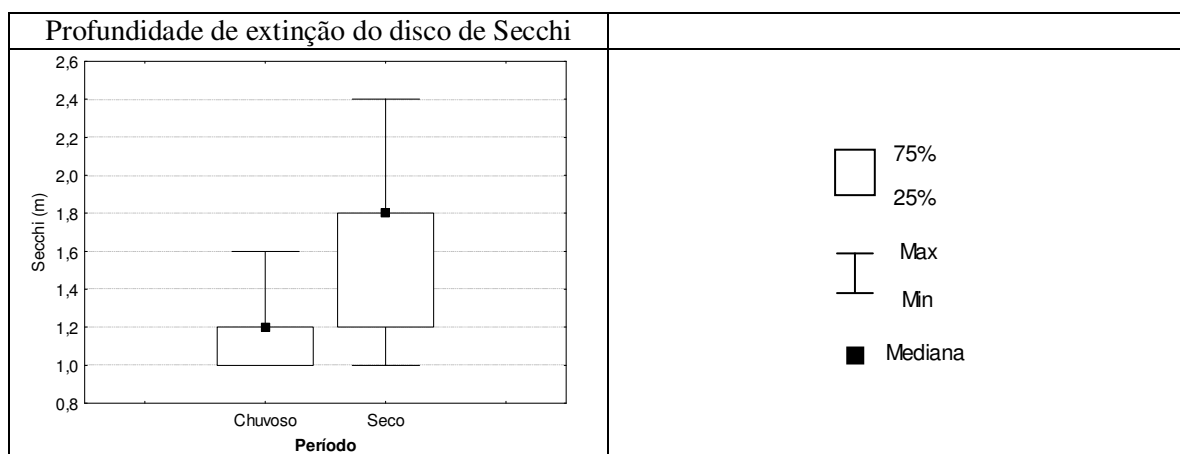


Figura 5.16 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.

5.1.2.2 Parâmetros bióticos

As Figuras 5.17 e 5.18 e os Quadros 5.7 e 5.8 apresentam os resultados dos períodos chuvoso e seco.

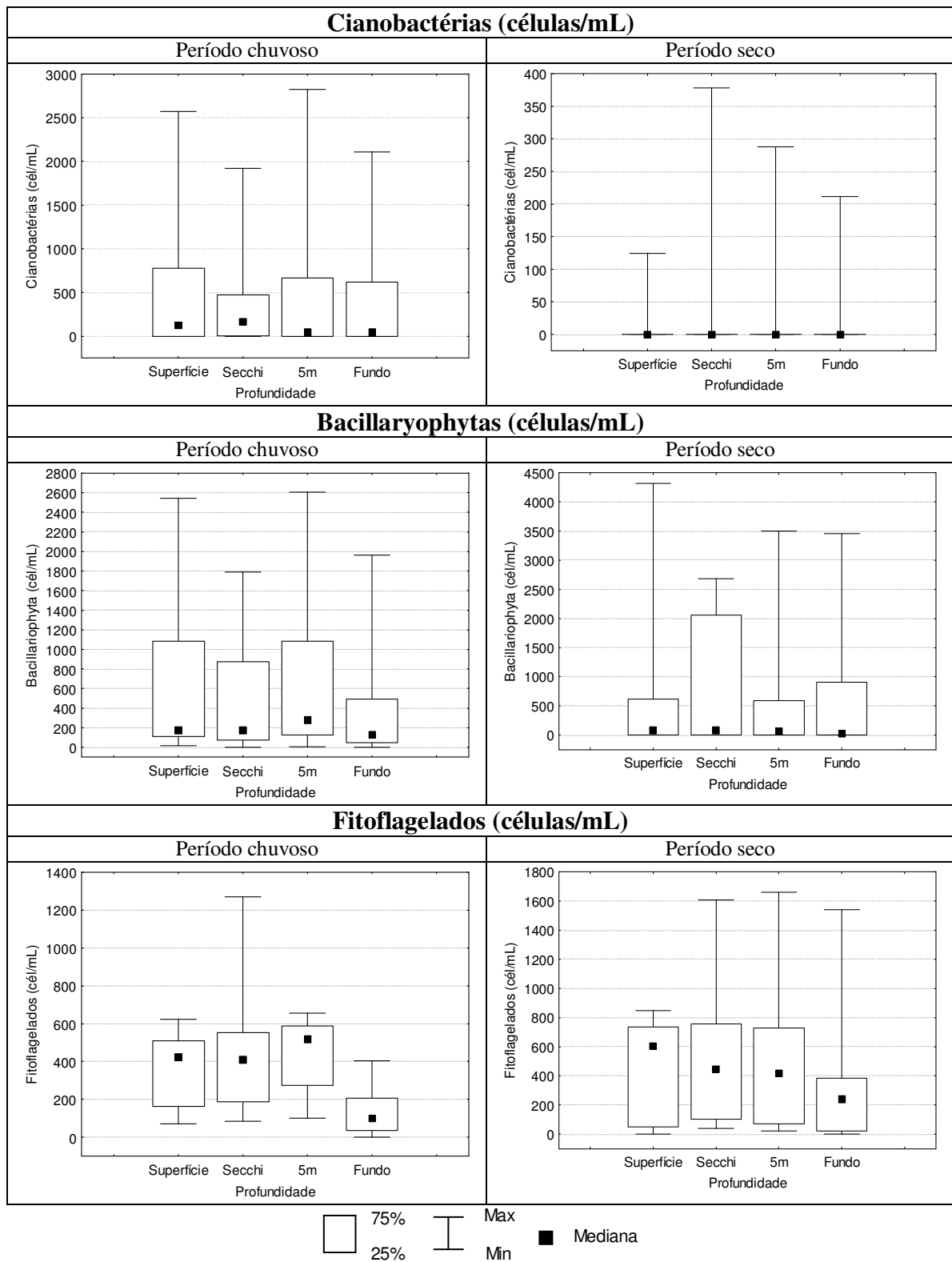


Figura 5.17 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG

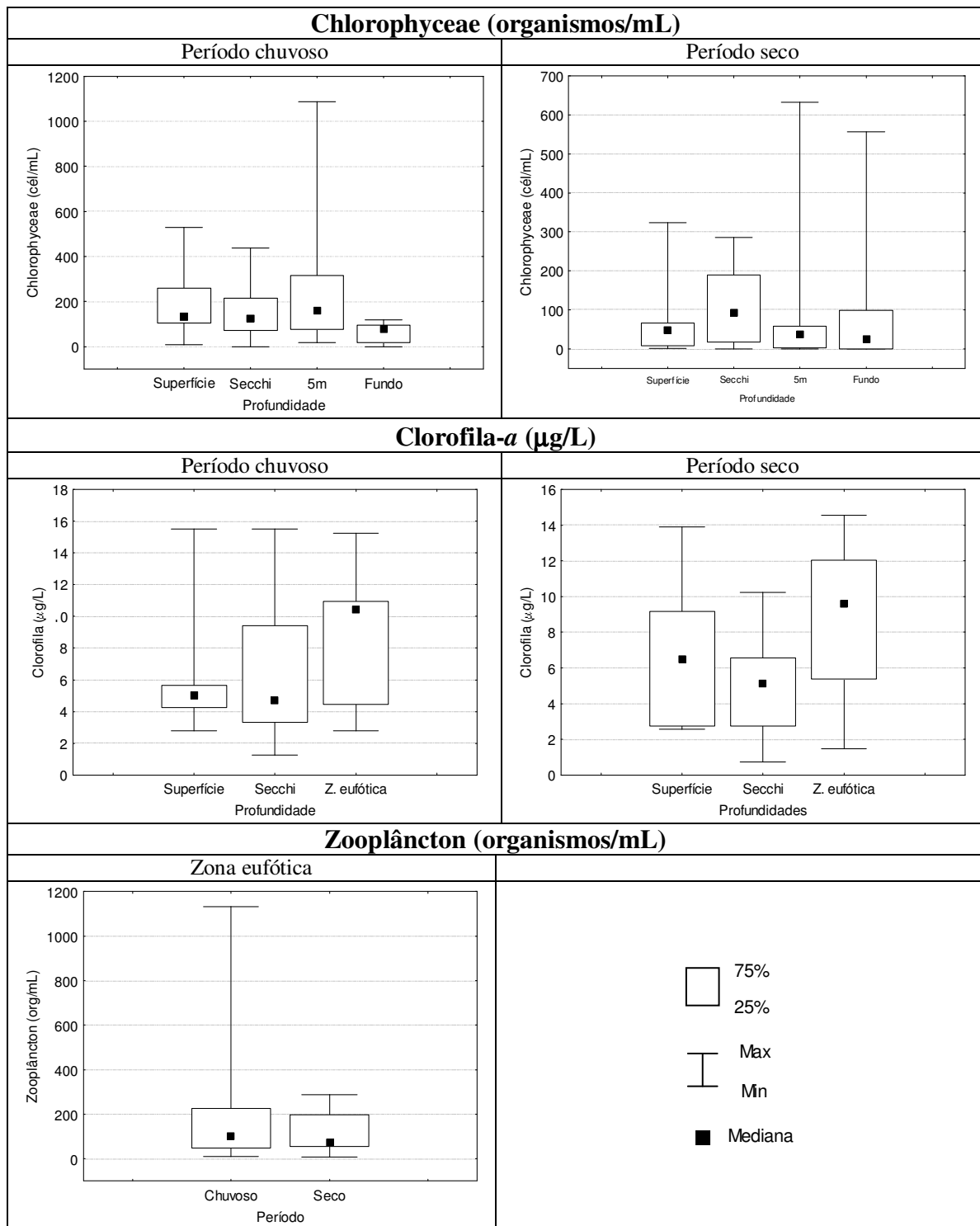


Figura 5.18 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila ($\mu\text{g/L}$)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.7 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fito (cél/mL)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades do Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Chloro (org/mL)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.8 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
Ciano (cel/mL)	X	X		X
Bac (cél/mL)				
Fito (cél/mL)				
Chloro (org/mL)	X			
Zoo (org/mL)			NR	NR
Cl-a (µg/L)			NR	NR

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo, NR- não realizado.

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

A distribuição do fitoplâncton também seguiu o mesmo padrão observado para a estação 1. A ocorrência sazonal das cianobactérias também pode ser observada, com a maior concentração de células no período chuvoso e número significativamente reduzido no período seco (Figura 5.17e Quadro 5.8).

A maior concentração de cianobactérias no período chuvoso pode estar relacionada tanto às temperaturas mais elevadas, quanto à estratificação da coluna d'água durante os meses do

verão, com a formação de uma zona eufótica com menor turbulência. A maior estabilidade da coluna d'água encontra-se como um fator importante para o estabelecimento das cianobactérias no ambiente. Além disso, devido à presença das espécies de cianobactérias possuidoras de aerótopos, a estratificação da coluna d'água pode favorecer o grupo, em detrimento aos outros grupos do fitoplâncton, pela capacidade dessas migrarem na coluna d'água obtendo maiores concentrações de nutrientes encontradas nas camadas mais profundas da coluna d'água durante o período de estratificação.

Quanto aos outros grupos do fitoplâncton tanto os fitoflagelados quanto as Chlorophyceae apresentaram concentrações significativamente menores (ao nível de significância de 5%) na profundidade do fundo em relação às profundidades do Secchi e 5 metros no período chuvoso (Quadro 5.7). Porém, não foram observadas diferenças na distribuição do fitoplâncton entre as profundidades durante o período seco. A ocorrência de circulação da coluna d'água durante esse período pode ter influenciado na distribuição do fitoplâncton. As espécies encontradas durante os meses mais frios, como as Bacillariophyceae (diatomáceas), podem ser carregadas pelo movimento da água durante a circulação.

As concentrações do zooplâncton medidas na zona eufótica não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os períodos chuvoso e seco.

A concentração de clorofila-a não apresentou variação entre as profundidades ou mesmo quando comparados os dois períodos. Isso talvez seja devido ao fato da clorofila-a ter sido medida apenas nas profundidades da zona eufótica, onde o fitoplâncton parece estar uniformemente distribuído.

5.1.3 Estação 3

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam a estatística descritiva dos parâmetros analisados na estação 3 nos períodos chuvoso, outubro a março, (Tabela 5.5) e seco, abril a setembro, (Tabela 5.6) durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a junho de 2006.

5.1.3.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.19 a 5.23 apresentam gráficos no período chuvoso e seco de outubro de 2004 a outubro de 2006 para a estação 3, e os Quadros 5.9 e 5.10 os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 3 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	13	9
	Méd. aritm.	26	5,8	0,69	0,02	0,54	18	28	6	19	50	8	131	8	14	713	534	481	154	348	6
	Méd. geom.	26	5,7	0,21	0,01	0,28	18	25	5	18	46	8	131	8	9		213	413	122	246	5
	Mediana	26	5,6	0,25	0,01	0,17	20	20	5	18	53	8	130	8	9	144	174	492	146	329	4
	Perc. 10%	24	5,0	0,01	0,01	0,10	13	19	3	13	49	6	115	8	5	0	51	187	61	78	3
	Perc. 90%	28	7,0	2,18	0,03	1,07	21	47	8	30	58	9	150	8	12	2588	1591	758	240	529	13
	Desv. Pad.	1	0,8	0,90	0,03	0,73	4	13	3	7	13	1	13	0	23	1080	719	237	95	282	3
Secchi	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13
	Méd. aritm.	26	5,8	0,62	0,02	0,63	20	25	5	18	54	7	131	8	13	15084	532	420	136	348	7
	Méd. geom.	26	5,7	0,20	0,01	0,29	19	24	5	17	54	7	130	8	8					246	5
	Mediana	26	5,9	0,20	0,01	0,19	20	20	5	16	54	7	130	8	7	107	260	421	136	329	5
	Perc. 10%	24	4,0	0,01	0,01	0,10	12	19	3	13	49	6	115	8	4	0	6	87	8	78	3
	Perc. 90%	28	7,5	2,13	0,03	1,41	25	39	7	30	61	10	150	8	17	2039	1156	645	284	529	12
	Desv. Pad.	1	1,1	0,81	0,01	0,96	6	8	2	6	4	2	12	0	23	54907	848	232	104	282	4
5 metros	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	25	5,6	0,74	0,02	0,46	23	28	6	22	55	8	130	8	6	270	491	428	195		
	Méd. geom.	25	5,5	0,32	0,01	0,24	22	26	6	21	55	7	130	8	6		151				
	Mediana	25	5,5	0,20	0,01	0,20	20	22	5	21	55	8	130	8	6	3	151	389	106		
	Perc. 10%	24	5,0	0,07	0,01	0,09	16	20	3	11	53	5	115	8	4	0	34	45	0		
	Perc. 90%	27	7,0	2,18	0,03	0,77	37	46	9	35	60	10	150	8	8	854	1060	894	638		
	Desv. Pad.	1	0,9	0,99	0,01	0,70	8	11	4	9	3	2	13	0	1	494	857	368	252		
Fundo	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	25	4,7	0,79	0,02	0,53	27	31	7	23	55	8	132	8	8	308	473	268	184		
	Méd. geom.	25	4,5	0,39	0,01	0,31	26	29	6	21	55	8	131	8	7		96				
	Mediana	25	5,0	0,31	0,02	0,33	23	30	6	22	55	8	130	8	7	22	116	157	66		
	Perc. 10%	24	3,0	0,15	0,01	0,10	20	20	4	11	51	6	116	7	5	0	15	4	0		
	Perc. 90%	27	6,0	2,18	0,02	0,80	42	48	10	34	60	10	150	8	12	854	1060	636	638		
	Desv. Pad.	1	1,4	0,96	0,01	0,65	10	12	3	8	3	2	12	0	3	489	866	244	259		

Tabela 5.6 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 3 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	10	6
	Méd. aritm.	23	5,1	1,03	0,01	1,42	15	26	5	18	54	8	128	8	5	2	684	559	55	350	7
	Méd. geom.	23	4,6	0,57	0,01	0,63	14	26	5	17	54	8	127	8	5		97	288		243	5
	Mediana	23	5,2	0,74	0,01	0,71	17	25	5	17	53	8	135	8	5	0	81	435	57	201	7
	Perc. 10%	21	2,5	0,10	0,01	0,10	8	20	3	11	49	7	100	7	3	0	3	21	0	68	2
	Perc. 90%	26	7,5	2,69	0,02	4,97	21	36	6	27	61	10	145	8	8	17	2587	1854	152	792	14
	Desv. Pad.	2	1,9	1,07	0,01	1,86	6	7	1	6	5	1	18	0	2	6	1006	568	58	299	5
Secchi	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	10	10
	Méd. aritm.	23	5,0	1,08	0,02	0,90	16	27	5	15	54	8	127	8	6	143	828	675	41	350	7
	Méd. geom.	23	4,5	0,58	0,02	0,61	15	26	5	15	54	8	126	8	6			269		243	6
	Mediana	23	5,1	0,60	0,02	0,70	19	27	5	15	54	8	135	8	6	0	26	274	21	201	7
	Perc. 10%	20	2,0	0,11	0,01	0,09	7	20	4	10	52	6	104	7	3	0	2	39	0	68	3
	Perc. 90%	27	7,5	2,97	0,02	2,46	21	37	7	22	60	10	140	8	10	498	2054	1408	101	792	12
	Desv. Pad.	2	2,0	1,13	0,00	0,81	6	7	1	5	4	2	16	0	3	278	1238	1024	48	299	4
5 metros	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	23	5,3	1,08	0,01	0,91	18	27	5	20	54	8	127	8	5	195	739	565	155		
	Méd. geom.	23	4,7	0,61	0,01	0,52	17	25	5	19	54	8	126	8	5			186			
	Mediana	22	5,9	0,71	0,02	0,73	20	24	5	20	54	8	130	8	5	0	23	265	26		
	Perc. 10%	20	2,4	0,12	0,01	0,09	9	20	4	13	52	6	103	7	3	0	0	7	0		
	Perc. 90%	26	7,5	2,55	0,02	2,18	22	44	7	31	58	9	145	8	8	889	3668	2515	1069		
	Desv. Pad.	2	1,9	1,03	0,01	0,84	5	10	1	8	2	1	17	0	2	379	1267	802	345		
Fundo	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	23	4,4	0,99	0,02	0,70	21	30	5	20	55	8	128	8	5	99	770	410	50		
	Méd. geom.	22	4,0	0,67	0,02	0,39	21	28	5	20	55	8	127	8	4		59	171			
	Mediana	22	4,3	0,73	0,02	0,48	21	29	5	20	54	8	130	8	4	0	22	400	45		
	Perc. 10%	20	2,0	0,24	0,01	0,09	17	20	4	15	52	7	103	7	3	0	1	10	0		
	Perc. 90%	26	6,5	2,16	0,02	2,32	24	50	7	26	61	10	145	8	10	889	3860	1316	195		
	Desv. Pad.	2	1,8	0,82	0,00	0,83	3	13	1	4	4	1	16	0	3	296	1325	440	61		

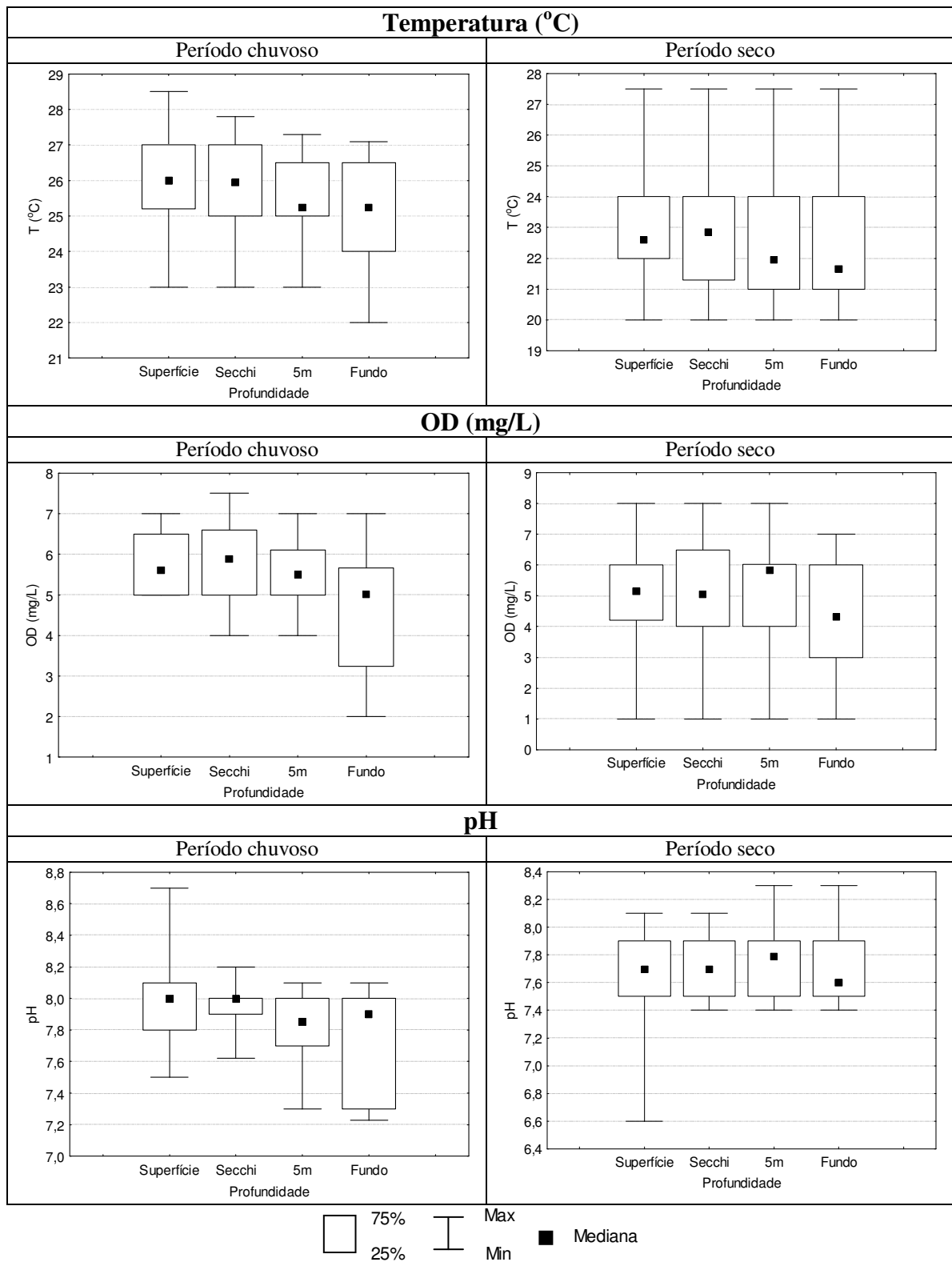


Figura 5.19 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.

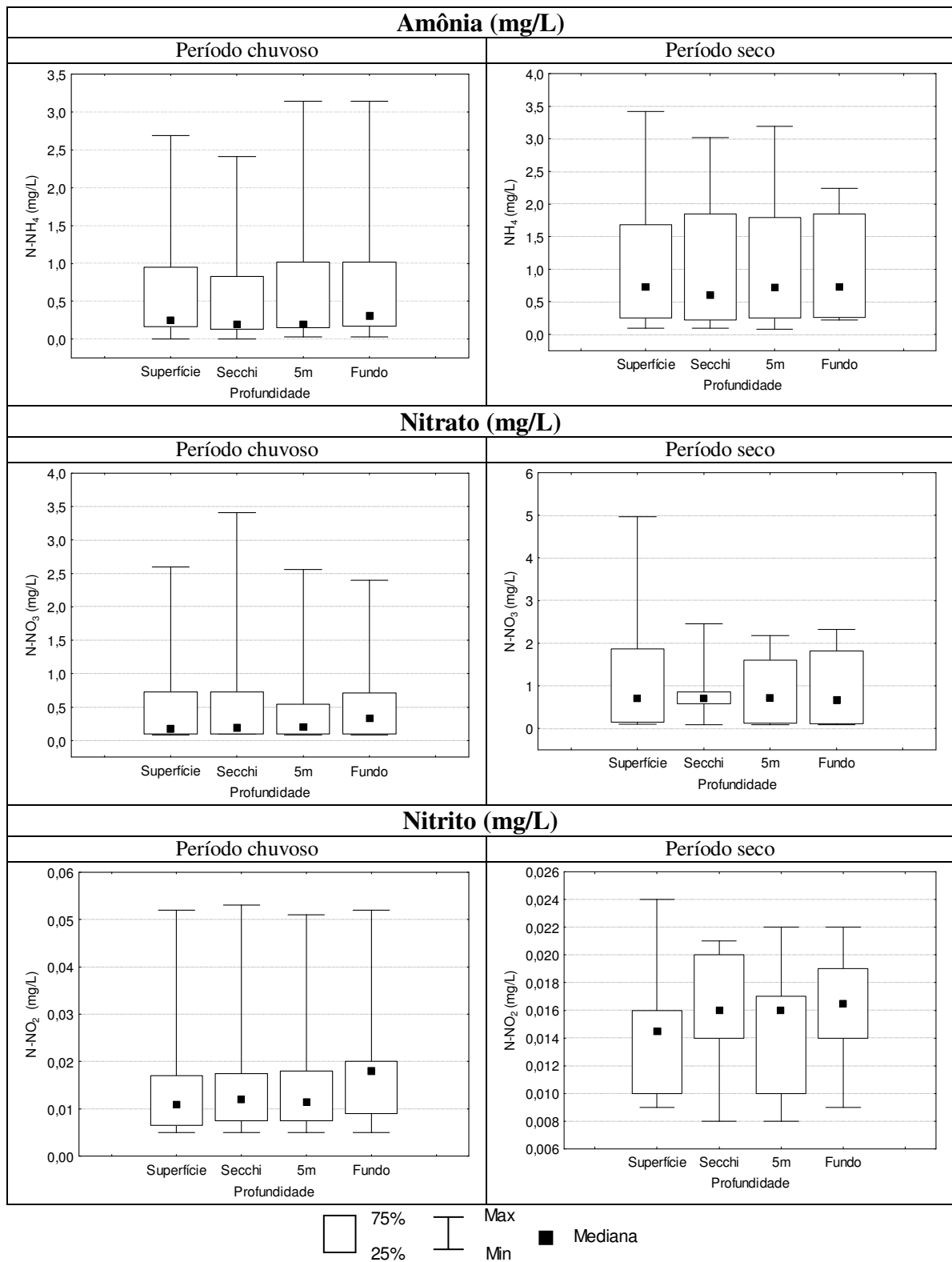


Figura 5.20 – Gráficos “box=whisker” dos **parâmetros amônio (mg/L), nitrate (mg/L) e nitrito (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG

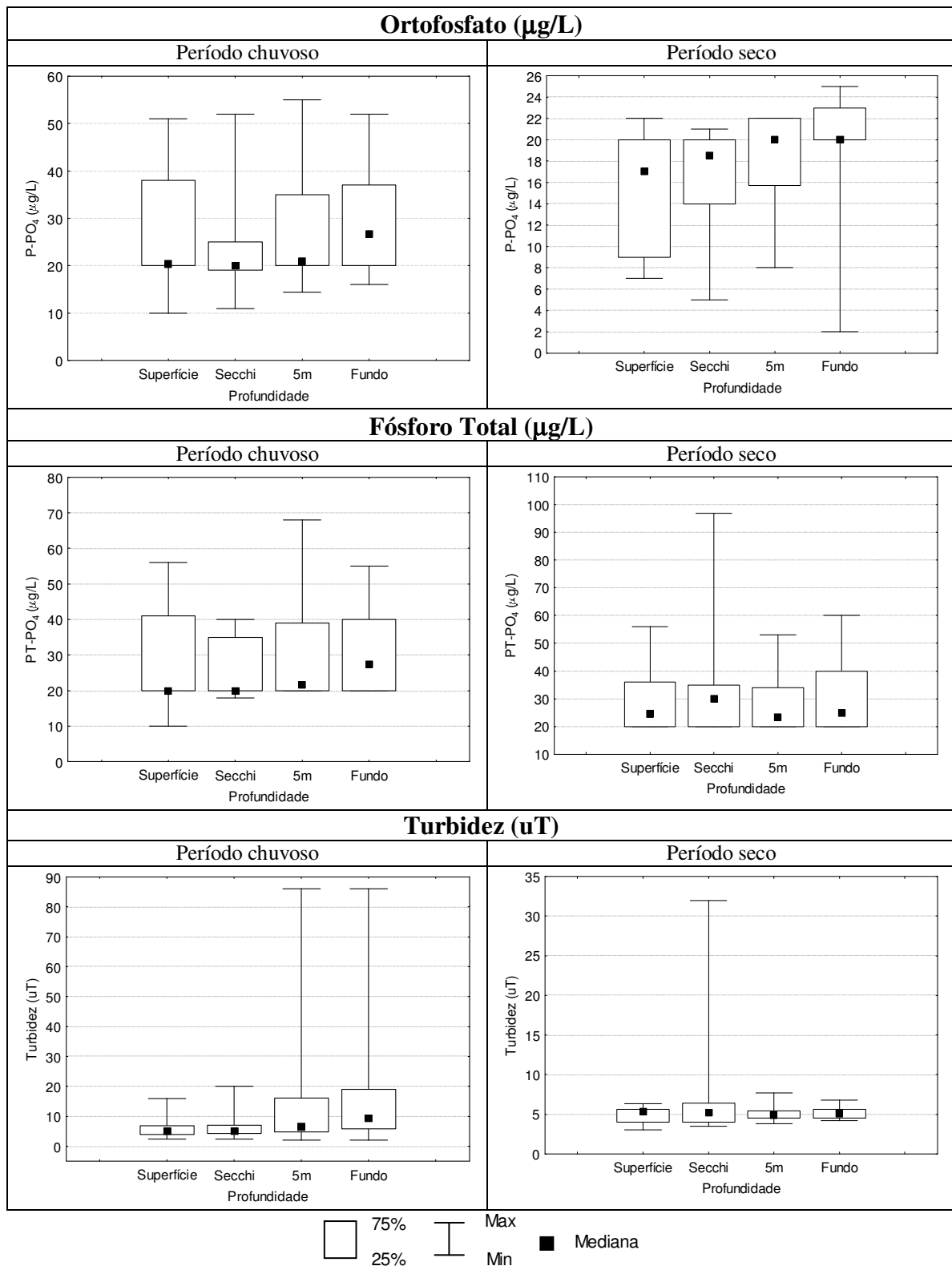


Figura 5.21 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato ($\mu\text{g/L}$)**, **fósforo total ($\mu\text{g/L}$)** e **turbidez (μT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.

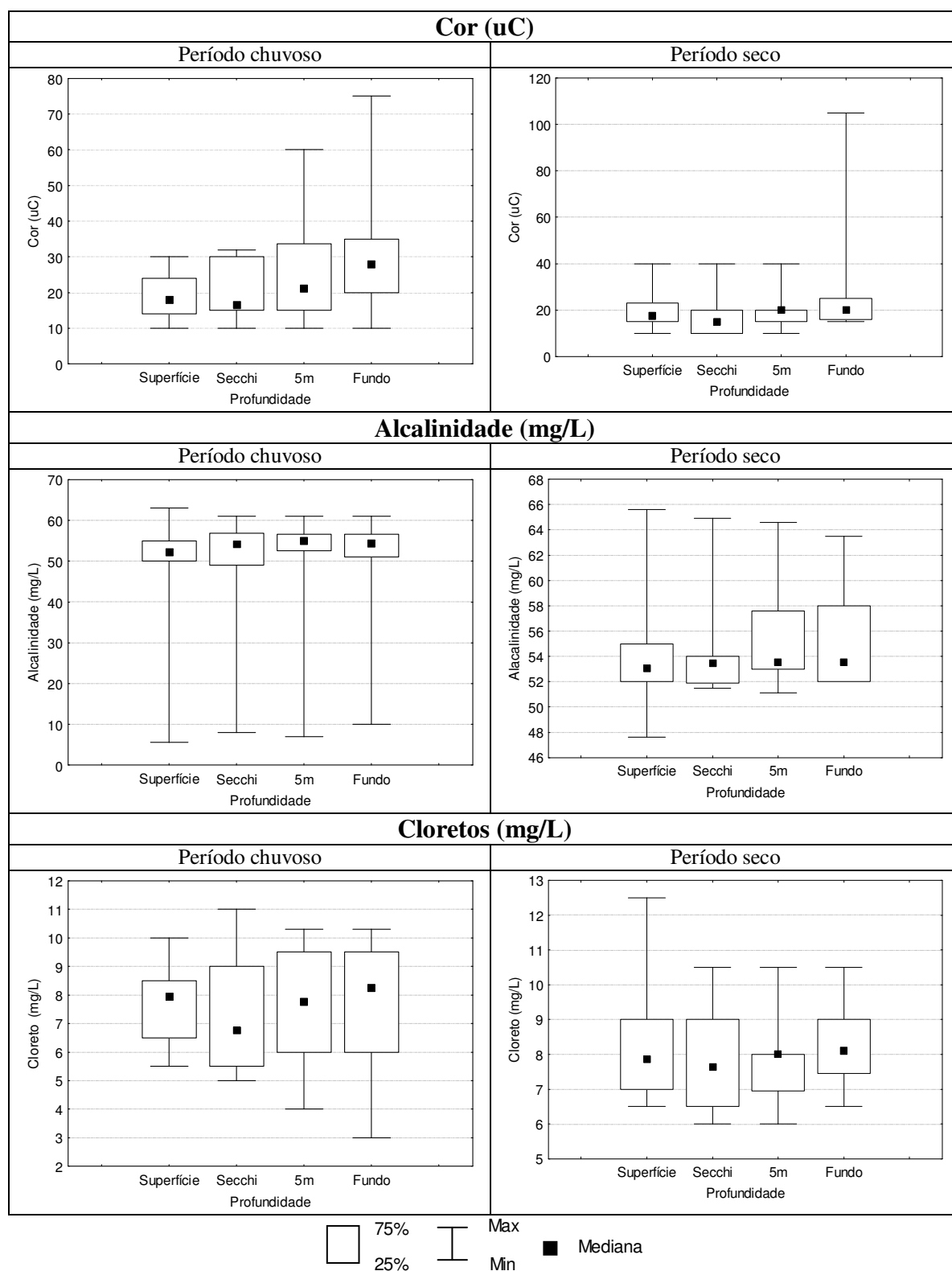


Figura 5.22 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloro (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.

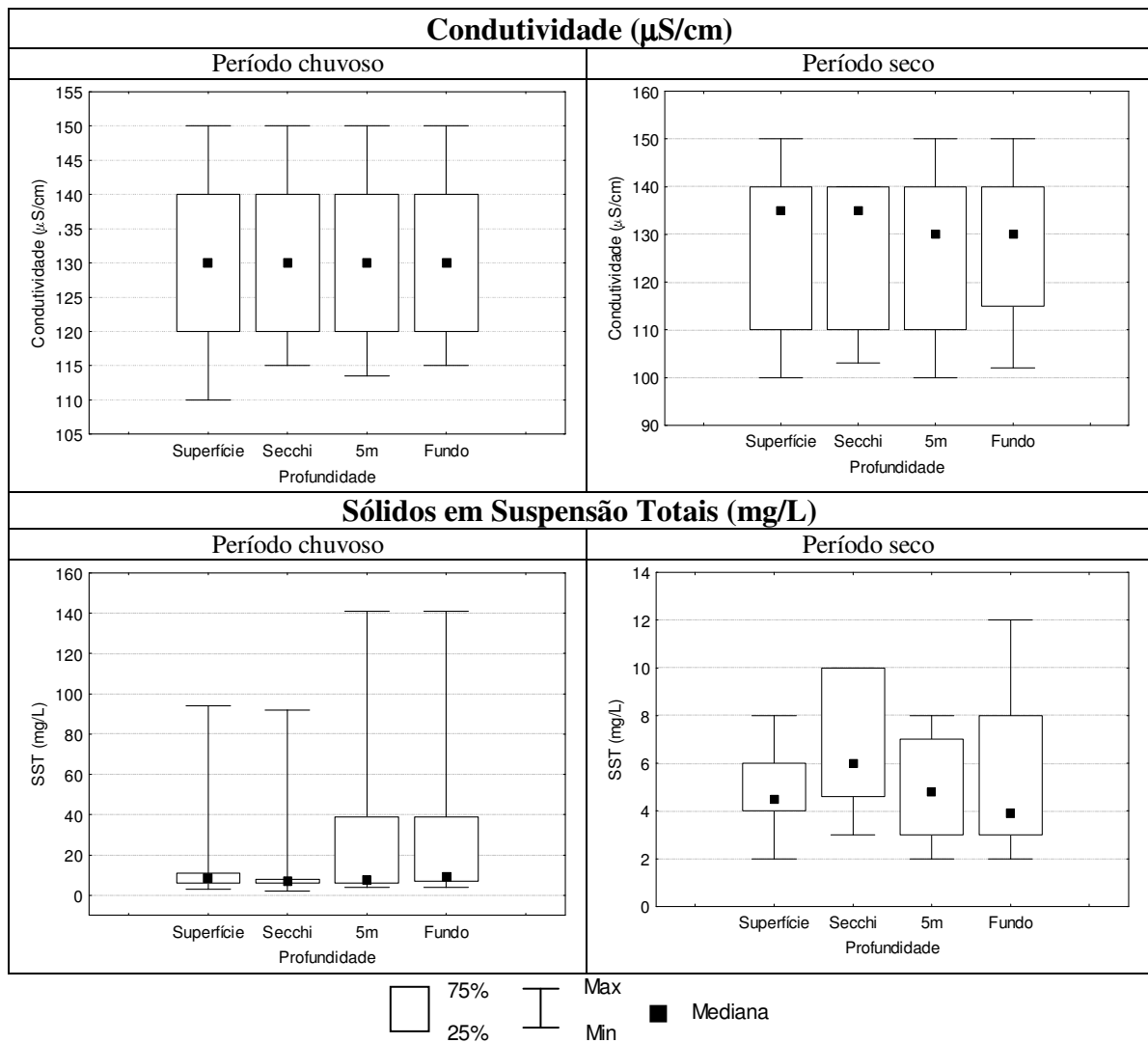


Figura 5.23 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)** e **sólidos em suspensão totais (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.9 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.10 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
T (°C)	X	X	X	X
OD (mg/L)				
N-NH ₄ (mg/L)				
N-NO ₃ (mg/L)				
N-NO ₂ (mg/L)				
P-PO ₄ (µg/L)				
PT-PO ₄ (µg/L)				
Turb (uT)				
Cor (uC)				
Alc (mg/L)				
Cl (mg/L)				
Conduct (µS/cm)				
pH		X		
SST (mg/L)	X			X

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se os resultados obtidos durante o monitoramento da estação 3 observa-se um comportamento diferenciado do encontrado nas análises das estações 1 e 2. Não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades para nenhum dos parâmetros avaliados, tanto no período chuvoso quanto no período seco (Quadro 5.9).

As únicas diferenças encontradas entre os dois períodos foram a temperatura significativamente menor no período seco para todas as profundidades, o pH da profundidade do Secchi mais elevado no período chuvoso e os sólidos em suspensão totais com valores superiores na superfície e no fundo na mesma época (Quadro 5.10).

A menor profundidade dessa estação, pode levar à alterações mais frequentes na dinâmica da coluna d'água tanto pela ação dos ventos quanto pela chegada do córrego Água Suja nesse ponto. A maior frequência de circulação da massa d'água pode ser a razão pela qual não foram observadas diferenças entre as profundidades nessa estação.

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 3

A profundidade de extinção do disco de Secchi foi significativamente menor (ao nível de significância de 5%) no período chuvoso em relação ao período seco, como observado nas estações 1 e 2. Apesar de não ter sido observada diferenças significativas nas concentrações dos parâmetros abióticos avaliados, a transparência da coluna d'água foi comprovadamente um fator de diferenciação entre os dois períodos (Figuras 5.24 e 5.25).

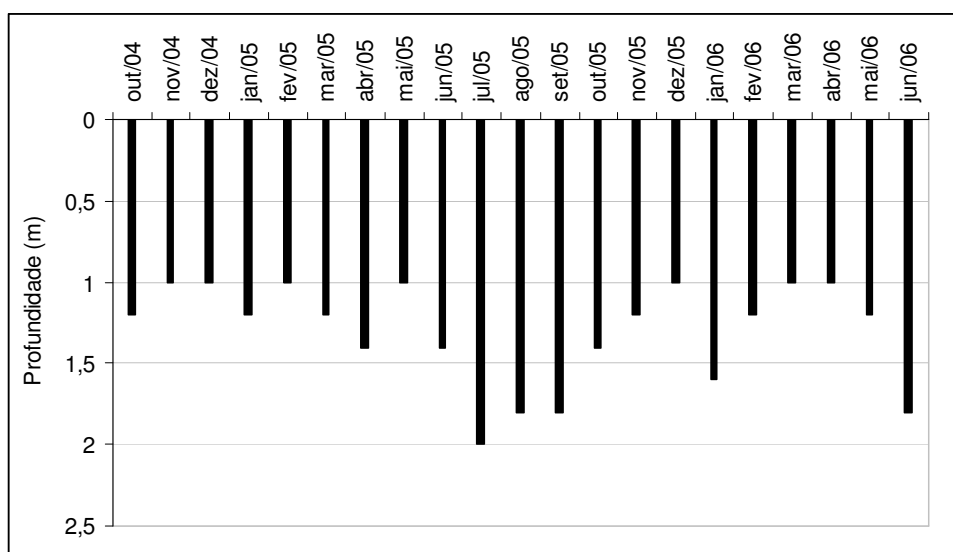


Figura 5.24 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 3. Vargem das Flores/MG.

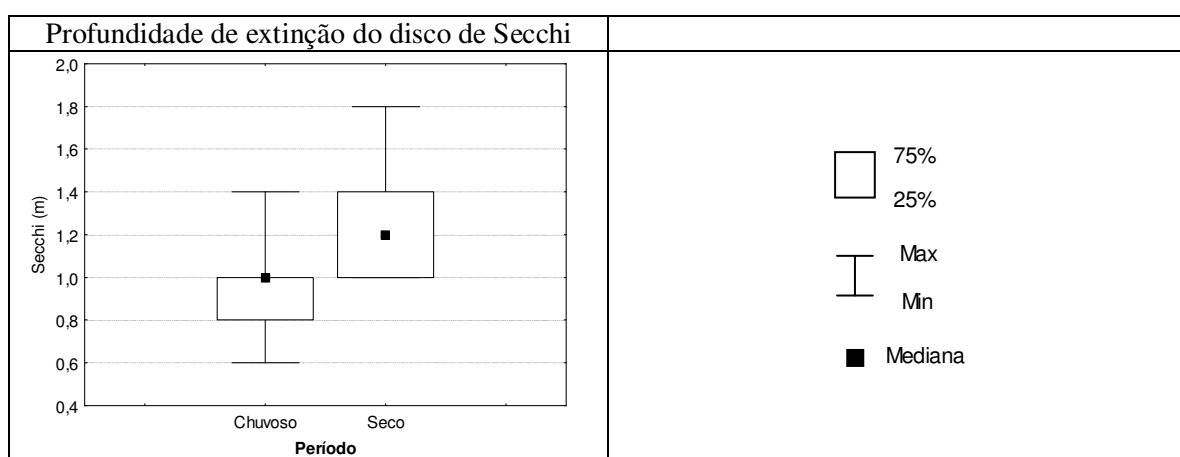


Figura 5.25 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.

5.1.3.2 Parâmetros bióticos

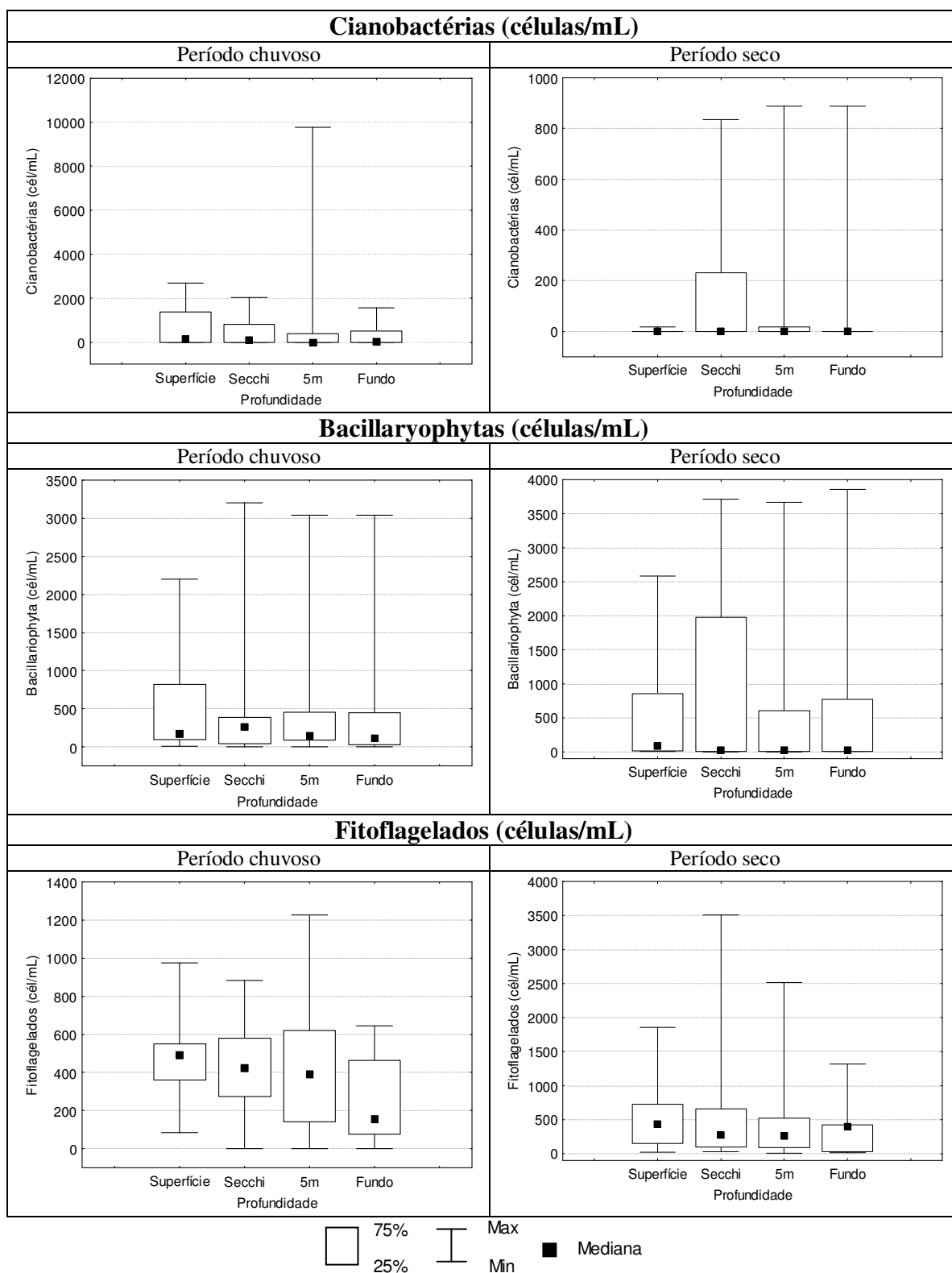


Figura 5.26 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG

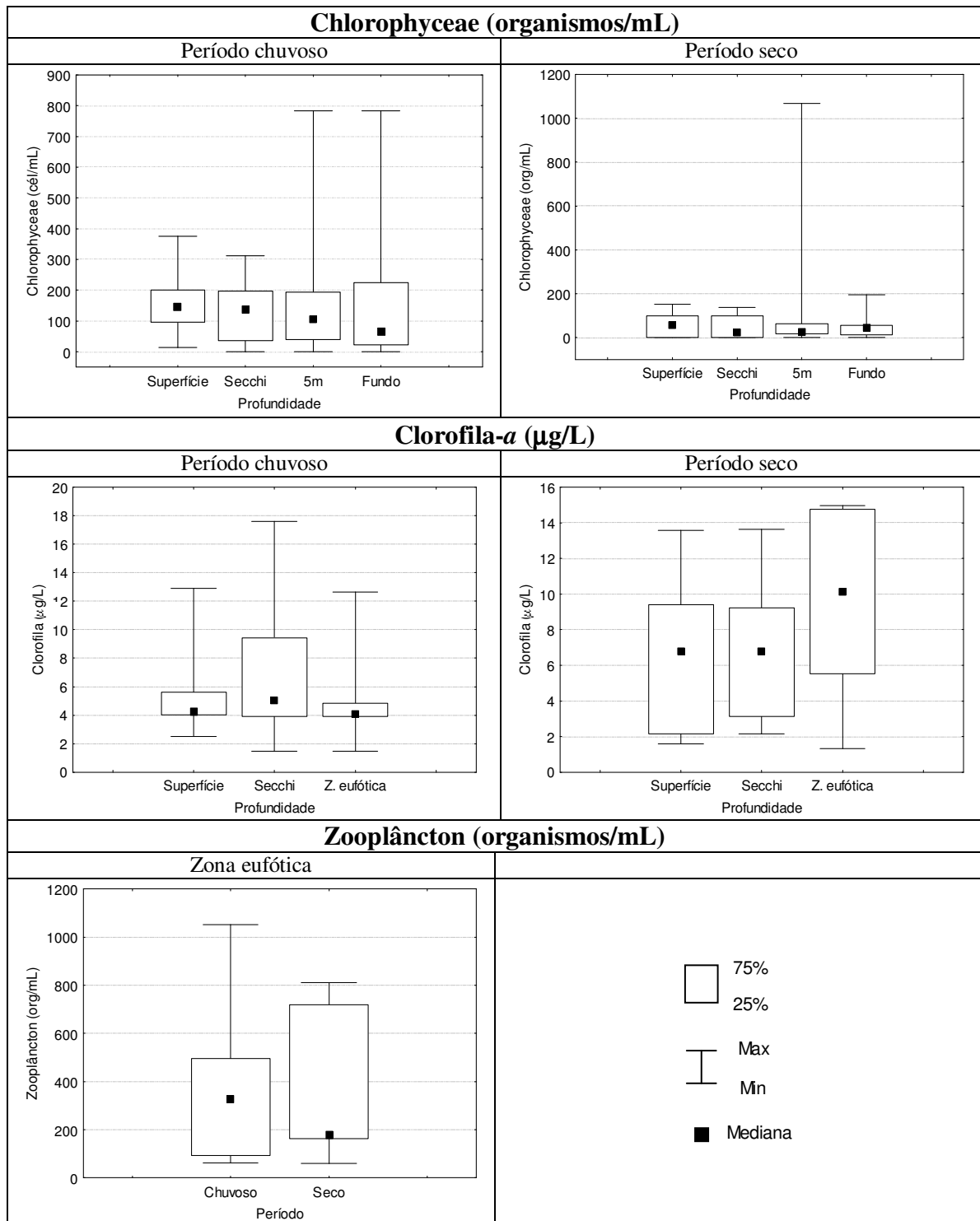


Figura 5.27 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila (µg/L)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.11 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fito (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Chloro (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.12 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
Ciano (cel/mL)	X			
Bac (cél/mL)				
Fito (cél/mL)				
Chloro (org/mL)	X	X		
Zoo (org/mL)			NR	NR
Cl-a (µg/L)			NR	NR

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo, NR- não realizado.

Como observado para os parâmetros abióticos avaliados na estação 3, também os constituintes bióticos não apresentaram diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) entre as profundidades em ambos os períodos (Quadro 5.11).

Quando comparadas as diferenças na distribuição do fitoplâncton entre os períodos chuvoso e seco pode-se observar que a concentração de cianobactérias foi significativamente maior na

superfície do período chuvoso. O grupo das Chlorophyceae também foi significativamente maior no período chuvoso nas profundidades da superfície e do secchi (Quadro 5.12).

5.1.4 Estação 4

As Tabelas 5.7 e 5.8 apresentam a estatística descritiva dos parâmetros analisados na estação 4 nos períodos chuvoso, outubro a março, (Tabela 5.7) e seco, abril a setembro, (Tabela 5.8) durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a junho de 2006.

5.1.4.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.28 a 5.32 apresentam gráficos no período chuvoso e seco de outubro de 2004 a junho de 2006 para a estação 4, enquanto os Quadros 5.13 e 5.14 informam os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

Tabela 5.7 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 4 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	13	10
	Méd. aritm.	26	6,0	0,66	0,02	0,74	32	37	5	19	54	8	131	8	7	446	499	491	176	372	5
	Méd. geom.	26	5,8	0,23	0,01	0,32	30	34	4	18	54	8	130	8	7		218	350		205	4
	Mediana	26	5,8	0,26	0,01	0,28	29	38	4	20	53	8	130	8	8	50	281	470	104	256	5
	Perc. 10%	24	4,6	0,02	0,01	0,08	20	20	3	10	50	6	115	8	5	0	47	75	7	48	1
	Perc. 90%	28	8,0	2,13	0,03	2,04	52	51	7	30	59	10	150	8	10	1352	1183	834	537	821	10
	Desv. Pad.	2	1,3	0,81	0,02	1,11	14	14	2	7	4	1	13	0	2	701	545	326	208	462	3
Secchi	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13
	Méd. aritm.	26	5,9	0,70	0,02	0,55	30	31	5	18	55	8	130	8	6	33466	610	457	273	372	6
	Méd. geom.	26	5,8		0,01	0,25	28	29	4	18	55	8	130	8	5					205	5
	Mediana	26	5,7	0,28	0,01	0,18	25	28	5	18	55	8	130	8	5	115	242	366	116	256	5
	Perc. 10%	24	4,0	0,01	0,01	0,08	20	20	3	11	52	6	115	8	2	0	4	88	0	48	3
	Perc. 90%	28	8,0	2,02	0,03	0,76	44	49	7	30	60	10	150	8	8	15169	1183	916	820	821	10
	Desv. Pad.	2	1,4	0,93	0,02	1,00	12	12	2	6	3	1	12	0	2	120185	1025	334	323	462	4
5 metros	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	26	5,6	0,76	0,01	0,46	28	31	4	17	55	8	132	8	7	321	544	419	196		
	Méd. geom.	26	5,5	0,33	0,01	0,25	26	30	4	16	55	8	131	8	6		199	301			
	Mediana	26	5,0	0,32	0,01	0,20	24	32	4	16	54	8	130	8	7	43	281	429	143		
	Perc. 10%	24	4,7	0,10	0,01	0,10	20	20	3	10	51	6	116	8	5	0	30	66	5		
	Perc. 90%	28	7,2	2,07	0,02	1,12	47	48	6	23	60	10	150	8	9	982	1542	764	448		
	Desv. Pad.	2	1,0	1,04	0,01	0,57	12	11	1	6	4	2	12	0	2	420	743	289	190		
Fundo	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	13	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	25	3,2	0,84	0,02	0,39	28	37	6	40	56	8	134	8	9	347	471	266	138		
	Méd. geom.	25	2,9	0,55	0,01	0,24	26	34	6	31	56	8	133	8	7		89	96			
	Mediana	25	3,2	0,68	0,01	0,15	22	39	6	32	55	8	135	8	8	50	224	161	110		
	Perc. 10%	23	1,0	0,14	0,01	0,10	20	20	4	11	51	6	119	7	5	0	2	4	0		
	Perc. 90%	27	5,0	1,96	0,03	0,71	48	69	9	80	60	10	150	8	14	1330	1297	504	313		
	Desv. Pad.	1	1,4	0,73	0,02	0,48	12	18	2	27	3	2	12	0	4	590	648	242	137		

Tabela 5.8 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 4 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	10	6
	Méd. aritm.	23	5,6	1,07	0,02	0,92	18	26	4	16	54	8	127	8	4	374	903	745	97	256	8
	Méd. geom.	22	5,4	0,64	0,01	0,46	17	25	4	16	54	8	126	8	4		116	345	29	164	7
	Mediana	22	5,9	0,85	0,02	0,62	20	23	4	15	53	8	130	8	4	0	87	692	32	184	10
	Perc. 10%	20	3,6	0,14	0,01	0,08	9	20	3	11	52	6	101	7	2	0	4	18	2	43	3
	Perc. 90%	26	7,5	2,13	0,02	3,25	24	42	5	21	58	9	145	8	8	2354	3496	2263	368	712	13
	Desv. Pad.	2	1,5	0,89	0,01	1,18	5	10	1	4	2	1	17	1	2	814	1345	717	122	272	4
Secchi	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	10	10
	Méd. aritm.	23	5,5	1,09	0,02	0,88	20	30	4	16	55	8	128	8	5	123	768	579	88	256	7
	Méd. geom.	23	5,4	0,65	0,02	0,44	19	28	4	16	55	8	127	8	4		103	279		164	6
	Mediana	22	5,8	0,91	0,02	0,46	20	26	4	15	54	8	130	8	5	0	96	438	84	184	7
	Perc. 10%	20	3,8	0,14	0,01	0,09	10	20	3	11	52	7	103	7	2	0	4	29	1	43	2
	Perc. 90%	27	7,5	2,75	0,02	3,30	28	50	5	22	60	10	150	8	7	616	2308	1389	200	712	13
	Desv. Pad.	3	1,4	1,02	0,01	1,22	6	12	1	4	4	1	18	0	2	337	1031	567	90	272	4
5 metros	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	9	9	9		
	Méd. aritm.	22	5,0	1,26	0,02	1,22	21	31	4	16	55	8	127	8	5	157	901	643	125		
	Méd. geom.	22	4,8	0,74	0,01	0,44	21	29	4	16	55	8	126	8	4		85	308			
	Mediana	22	4,7	0,87	0,02	0,48	20	31	4	16	54	8	130	8	4	0	32	658	65		
	Perc. 10%	20	3,2	0,16	0,01	0,07	16	20	3	12	51	6	100	7	3	0	2	20	0		
	Perc. 90%	26	7,2	2,91	0,02	5,32	29	50	6	20	61	9	150	8	8	1253	4605	1942	407		
	Desv. Pad.	3	1,6	1,17	0,01	2,03	5	13	1	4	4	1	19	0	2	443	1590	633	137		
Fundo	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	22	4,2	1,28	0,02	0,75	24	41	5	25	54	8	130	8	6	0	940	478	74		
	Méd. geom.	22		0,89	0,01	0,38	24	33	5	22	54	8	128	8	5		66	109			
	Mediana	22	4,5	1,15	0,02	0,57	21	31	5	20	54	8	140	8	4	0	24	120	84		
	Perc. 10%	20	0,9	0,23	0,01	0,07	20	20	4	15	53	6	105	7	3	0	1	3	0		
	Perc. 90%	25	6,5	2,80	0,03	2,40	34	92	6	50	56	10	145	8	13	0	4675	2216	271		
	Desv. Pad.	2	2,2	1,03	0,01	0,86	6	31	1	15	1	1	17	0	5	0	1572	719	88		

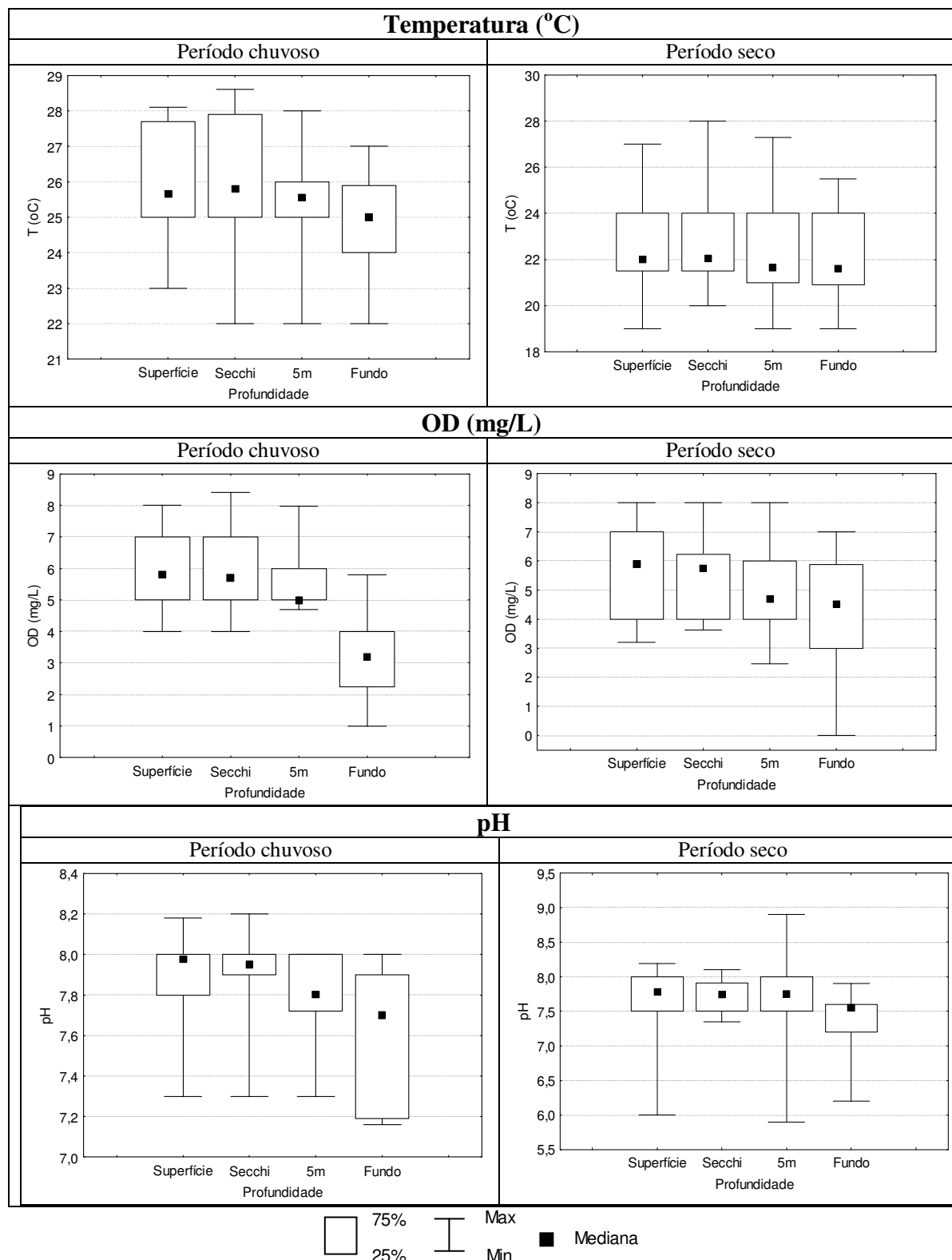


Figura 5.28 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.

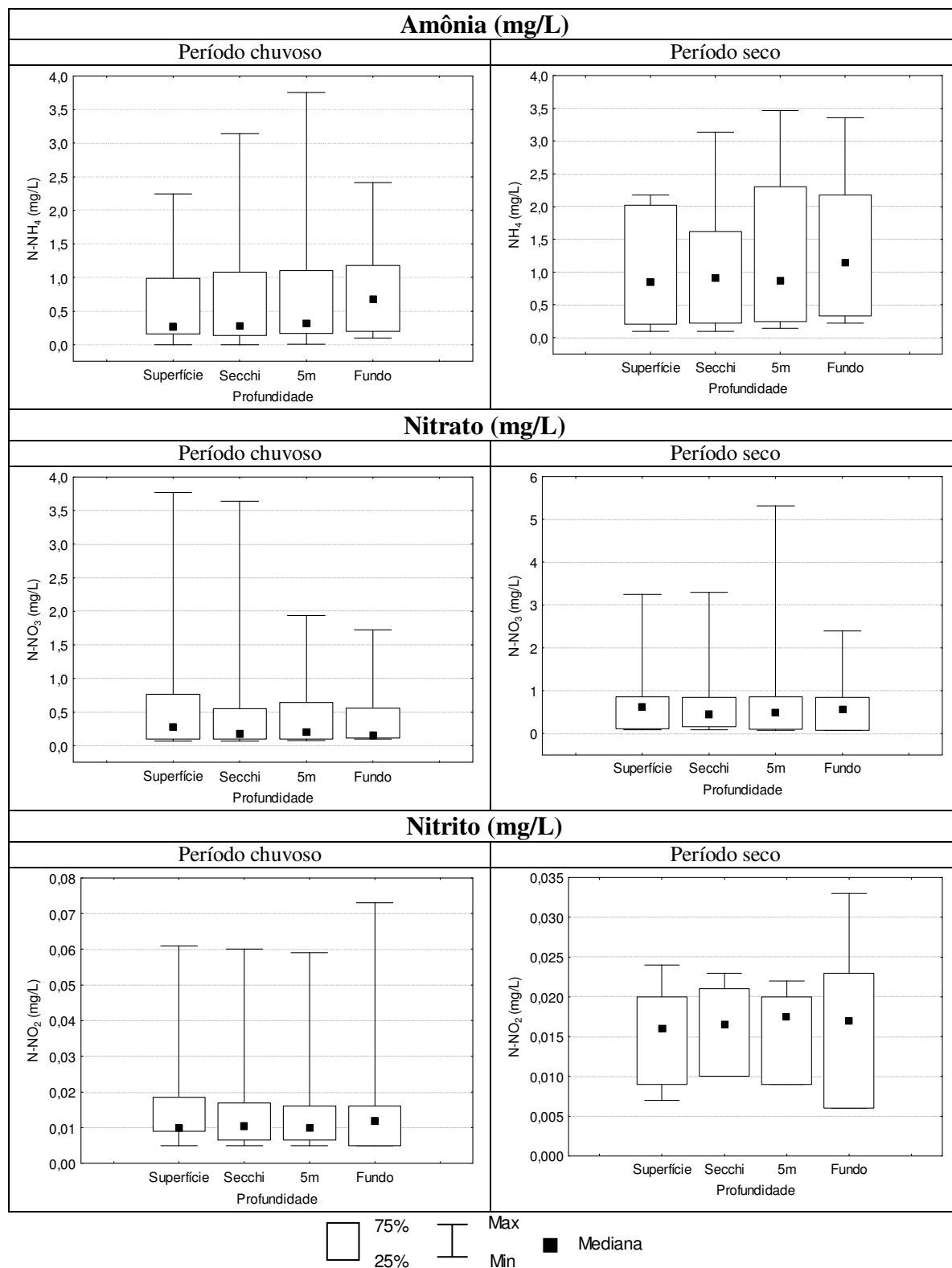


Figura 5.29 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **amônio (mg/L)**, **nitrato (mg/L)** e **nitrito (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG

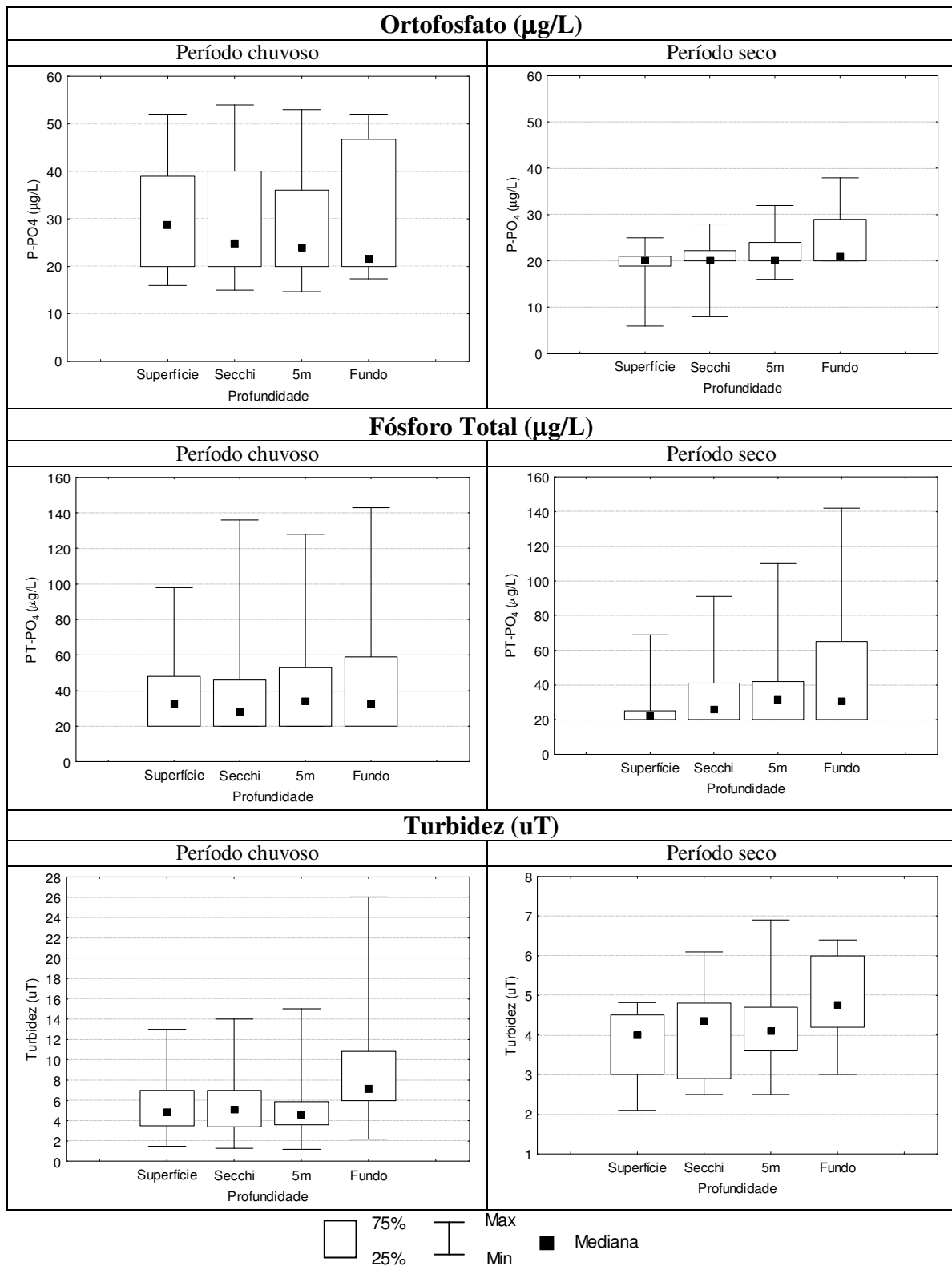


Figura 5.30 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato ($\mu\text{g/L}$)**, **fósforo total ($\mu\text{g/L}$)** e **turbidez (uT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.

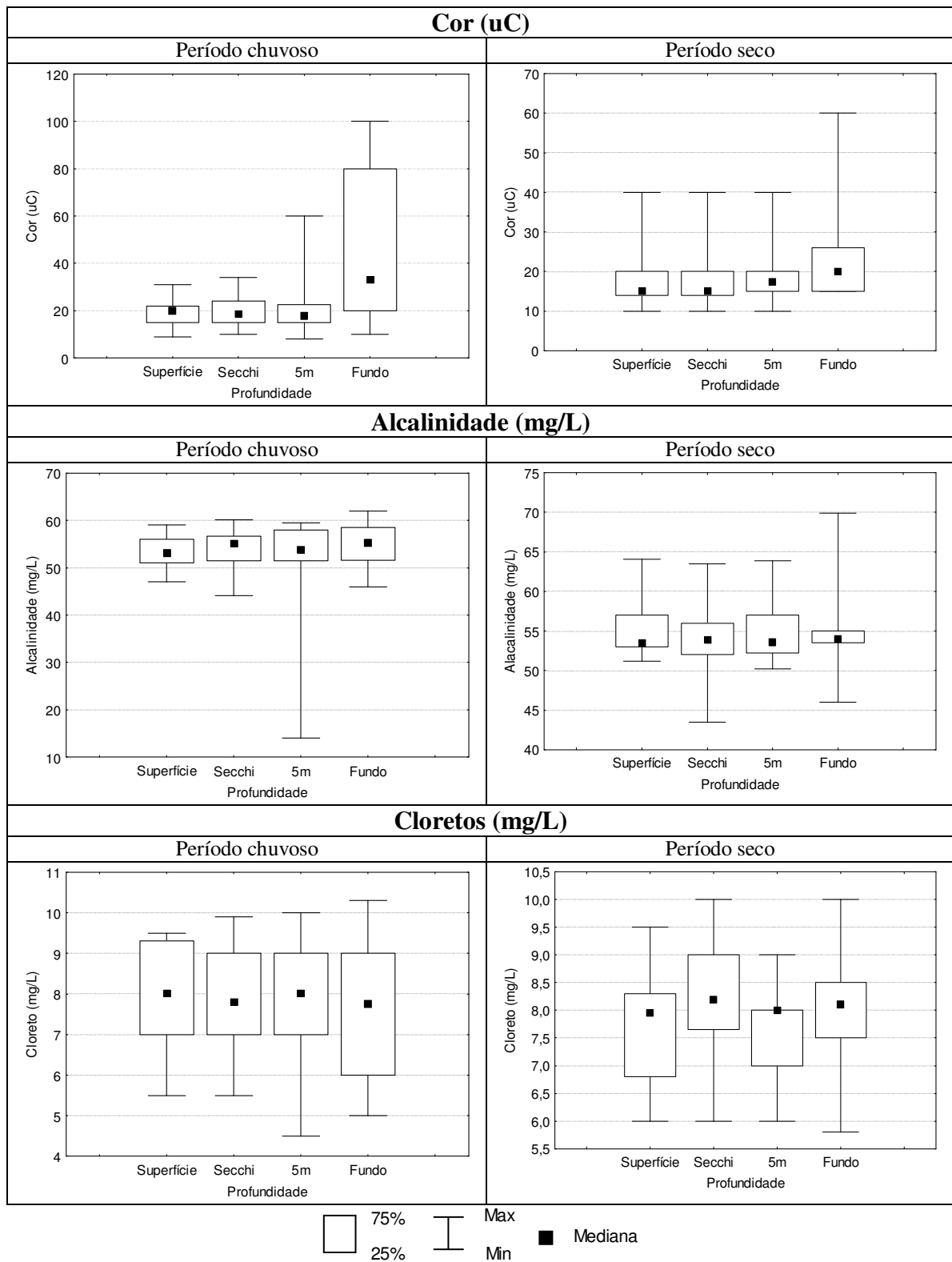


Figura 5.31 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloreto (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.

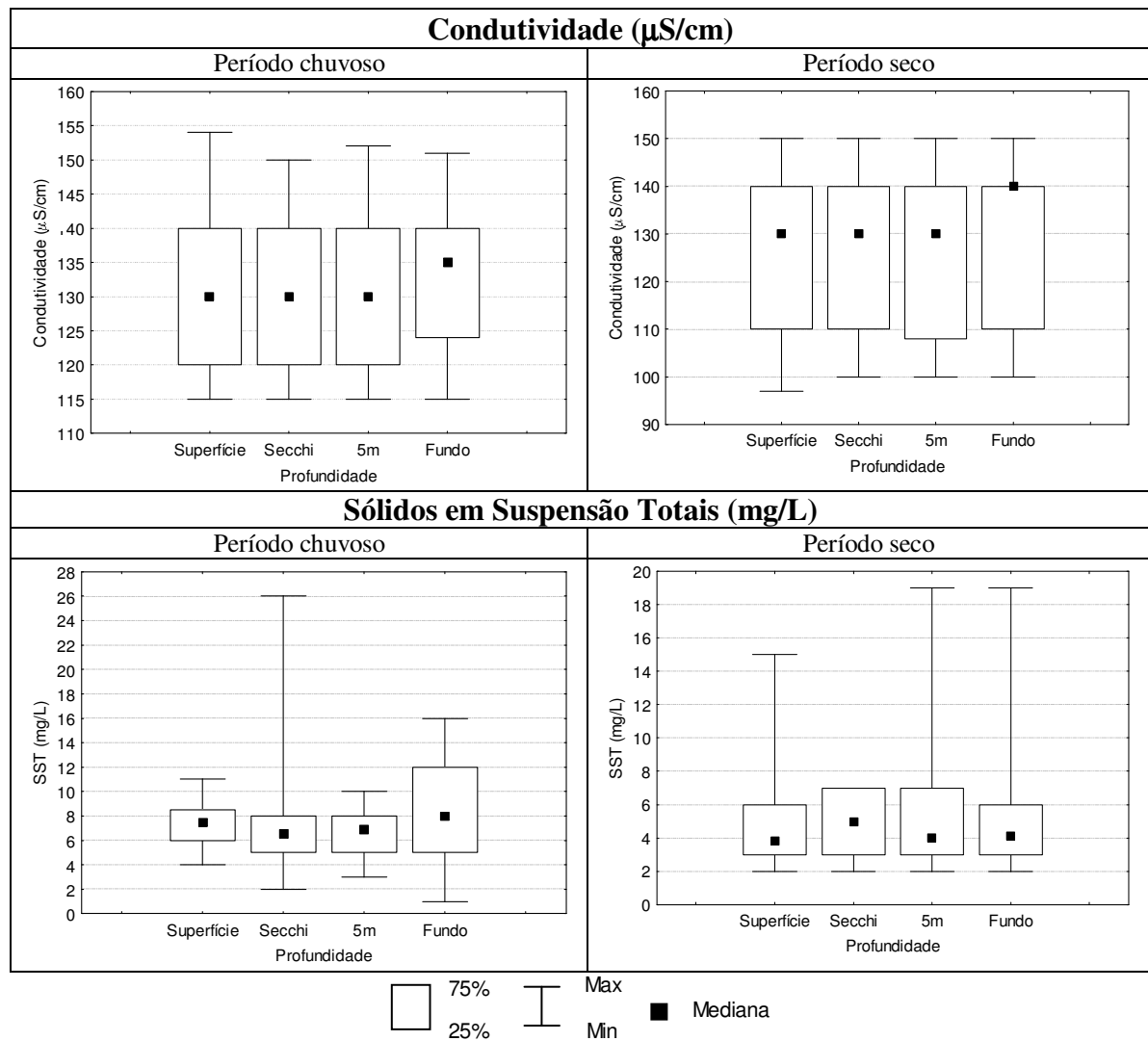


Figura 5.32 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)** e **sólidos em suspensão totais (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.13 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.14 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
T (°C)	X	X	X	X
OD (mg/L)				
N-NH ₄ (mg/L)				
N-NO ₃ (mg/L)				
N-NO ₂ (mg/L)				
P-PO ₄ (µg/L)	X			
PT-PO ₄ (µg/L)				
Turb (uT)				
Cor (uC)				
Alc (mg/L)				
Cl (mg/L)				
Condut (µS/cm)				
pH				
SST (mg/L)	X		X	X

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Avaliando-se os resultados dos parâmetros da estação 4 observa-se os parâmetros abióticos não variaram de acordo com a profundidade nos períodos estudados (chuvoso e seco), com exceção do OD que apresentou concentrações significativamente menores no fundo durante a estação chuvosa (Quadro 5.13). Como ocorrido na estação 3 não ficou evidenciado o período de estratificação térmica da coluna d'água.

Ao se comparar os períodos chuvoso e seco, observou-se diferenças na temperatura da água em todas as profundidades com valores significativamente menores no período seco, correspondente aos meses mais frios (Quadro 5.14). As concentrações de ortofosfato no período chuvoso foram significativamente maiores (ao nível de significância de 5%) na superfície. Provavelmente, devido às chuvas houve maior aporte de matéria orgânica alóctone carregada pelo ribeirão Betim. A influência deste corpo d'água na estação 4 pode também ser responsável pela manutenção da circulação na coluna d'água dessa região.

Da mesma forma, as concentrações de sólidos em suspensão total (SST) foram maiores (diferença estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%) no período chuvoso nas profundidades da superfície, e 5 metros e fundo.

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 4

Como observado nas outras estações a profundidade de extinção do disco de Secchi foi estatisticamente maior no período seco, quando comparados os dois períodos. A maior transparência da água foi observada no mês de julho de 2005 (Figuras 5.33 e 5.34).

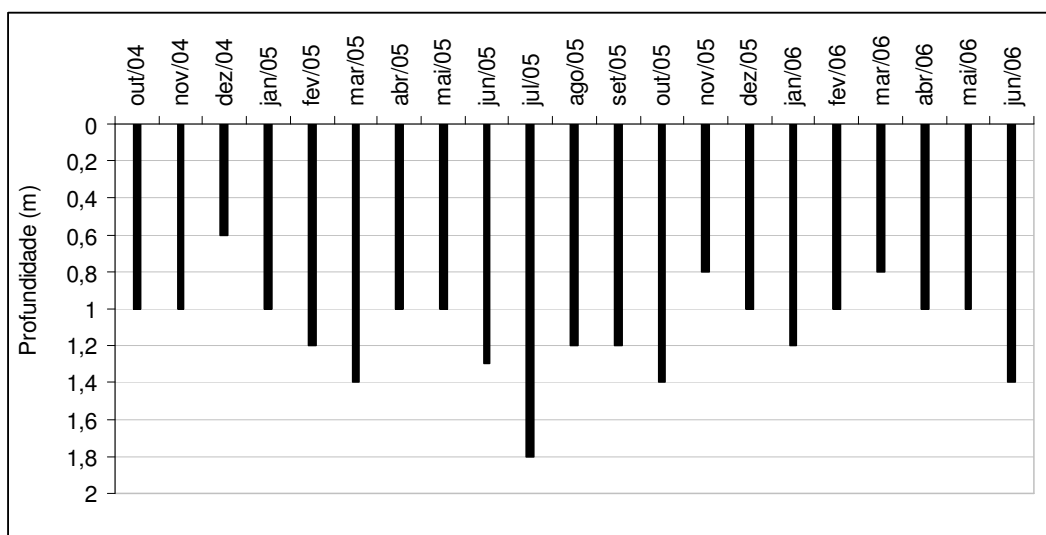


Figura 5.33 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 4. Vargem das Flores/MG.

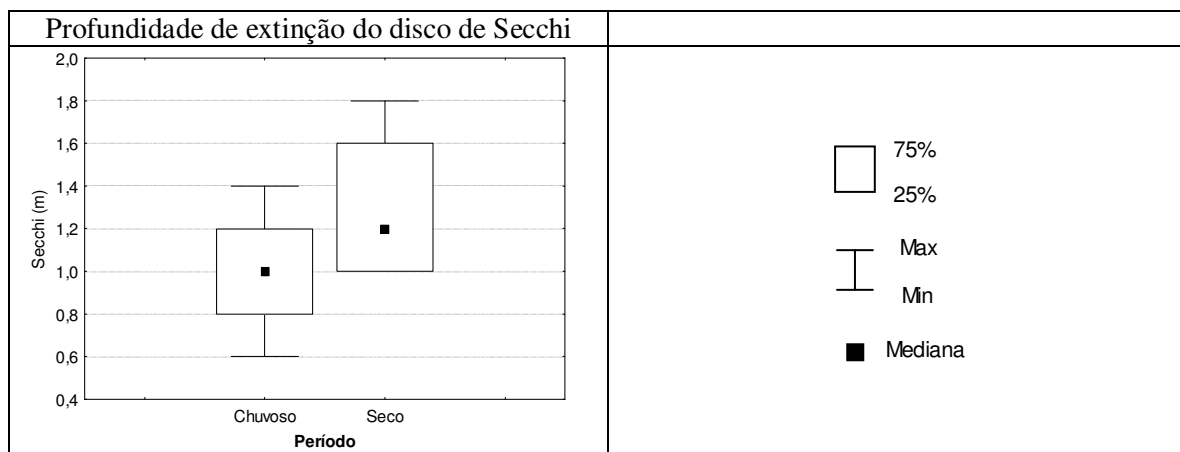


Figura 5.34 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.

5.1.4.2 Parâmetros bióticos

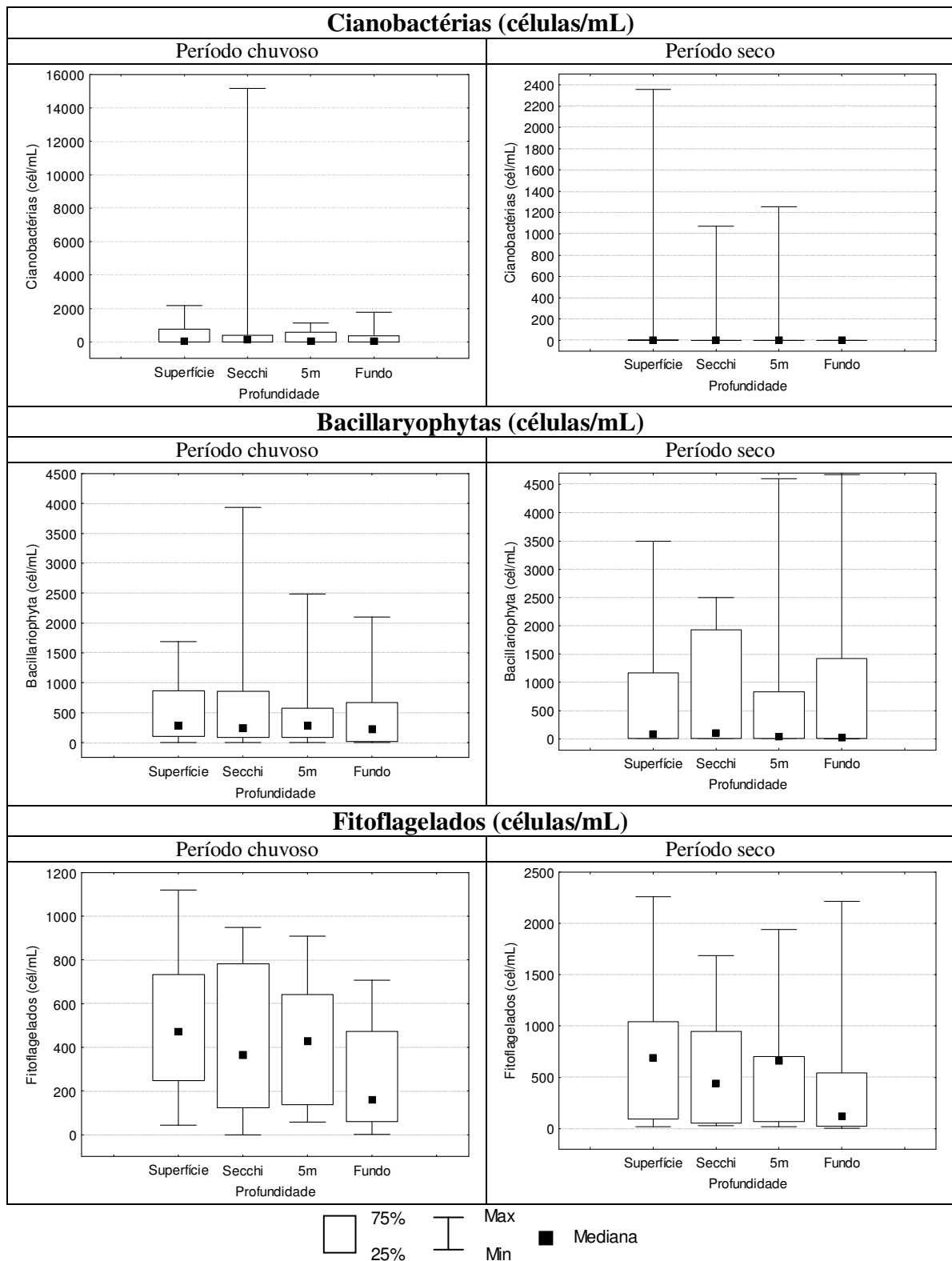


Figura 5.35 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG

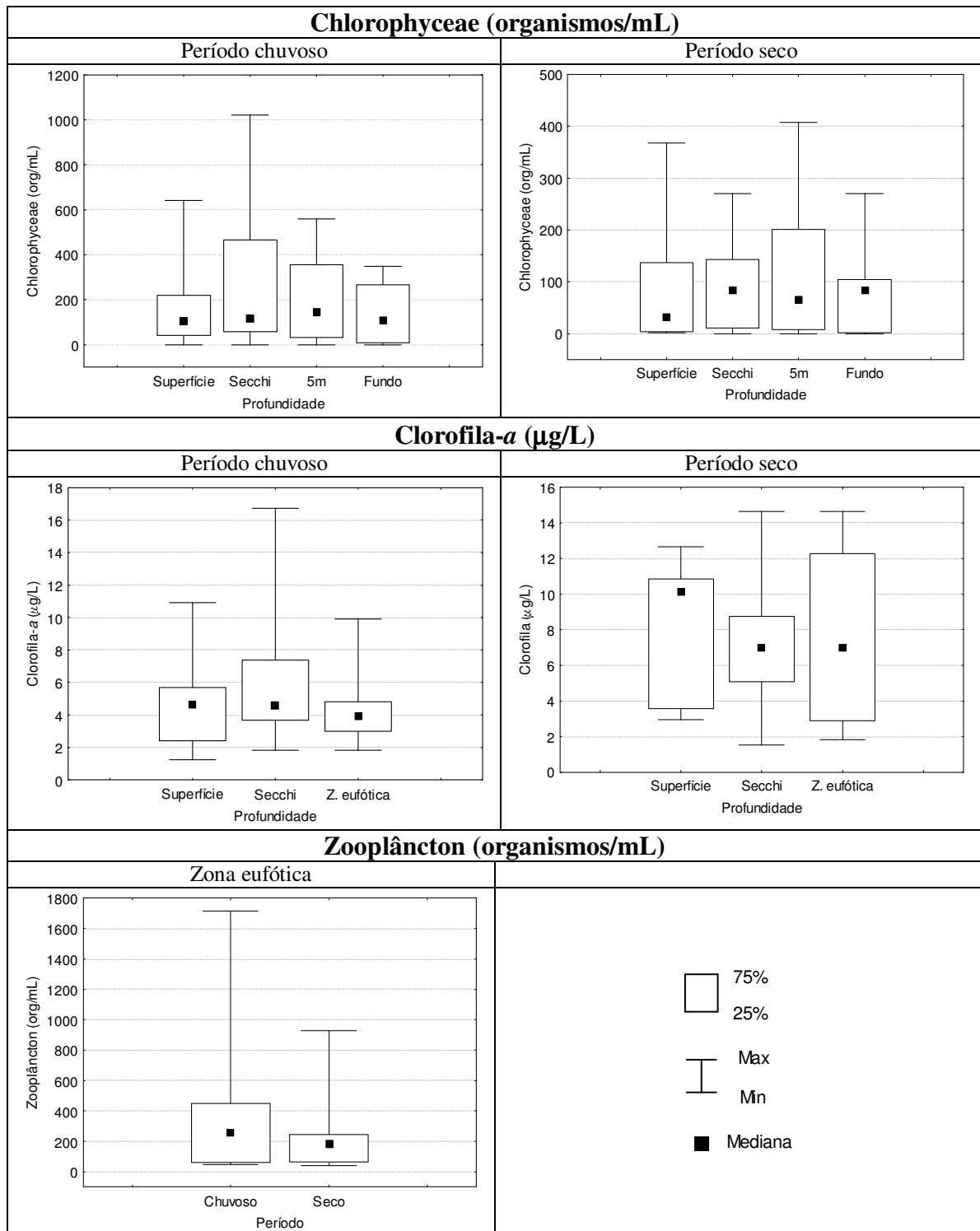


Figura 5.36 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila (µg/L)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.15 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso		Período seco	
	Resultado		Resultado	
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Fito (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Chloro (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	

A análise da estação 4 demonstrou que não houve diferenças significativas entre as profundidades para nenhum dos parâmetros bióticos avaliados (Quadro 5.15). Da mesma forma, os testes estatísticos Mann-Whitney não indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5%, na estação 4 (Quadro não apresentado).

5.2 Avaliação comparativa dos parâmetros bióticos e abióticos nas estações de amostragem do reservatório

5.2.1 Parâmetros abióticos

5.2.1.1 Avaliação temporal das quatro estações de amostragem

Os gráficos de avaliação temporal de alguns parâmetros abióticos, considerados importantes para a caracterização limnológica das quatro estações de amostragem e que mostraram maiores variações, são apresentados nas Figuras 5.37 a 5.42. Importante salientar que os parâmetros foram determinados em profundidades específicas. Para a estação-1: superfície, Secchi, final da zona eufótica (até junho/2006), 5m e 10m da superfície e 1m do fundo. Para as demais estações: superfície, Secchi, final da zona eufótica, 5m da superfície e 1m do fundo. Apesar da amostragem não ter sido distribuída em intervalos iguais ao longo da coluna d'água, o programa gráfico utilizado (Surfer 8.0) dispõe do recurso de interpolação dos dados, representando mesmo os valores faltantes ao longo do tempo em toda a coluna. Para minimizar as possíveis discrepâncias da interpolação, foram incluídos os valores medidos no final da zona eufótica. Os pontos destacados nos gráficos a seguir indicam as profundidades amostradas em cada estação durante os meses estudados.

Ressalta-se ainda que alguns gráficos não apresentam a mesma escala, devido à diferença de magnitude dos valores observados, caso dos parâmetros N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT. Além disso, devido à utilização de metodologias de análise dos nutrientes com limite de detecção capaz de medir pequenas concentrações ($\geq 0,005$ mg/L) a partir de janeiro e fevereiro de 2005, para a construção dos gráficos de nitrato, ortofosfato e fósforo total foram considerados apenas os valores obtidos a partir desse período.

Acredita-se que o emprego das metodologias analíticas que apresentam limites de detecção capazes de medir as concentrações desses nutrientes no ambiente seja imprescindível para a avaliação da dinâmica do fitoplâncton.

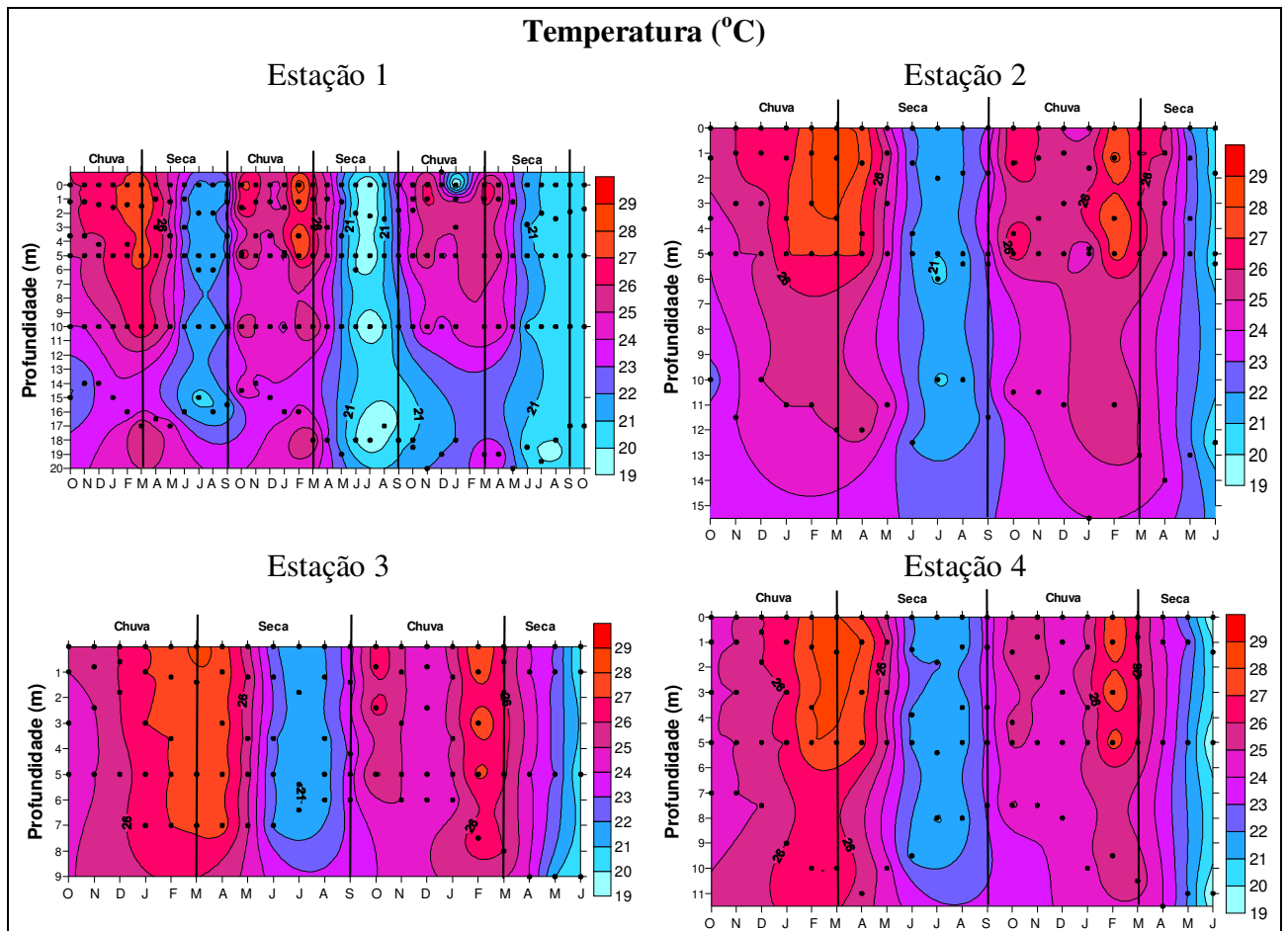


Figura 5.37 - Perfil térmico (°C) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Os gráficos da Figura 5.37 demonstram visualmente o que foi observado anteriormente para cada estação (itens 5.1.1 a 5.1.4). O perfil térmico das estações 1 e 2 é caracterizado pela ocorrência de estratificação térmica durante os meses mais quentes (outubro a março) e circulação da massa de água durante o período seco e frio (abril a setembro). Observa-se ainda o padrão de circulação monomítico na zona pelágica do reservatório (estação 1 e 2) com circulação da coluna d'água ocorrendo uma vez por ano.

A diferença encontrada entre as profundidades, com maior estabilidade da coluna d'água durante o período chuvoso, coincide com temperaturas ambiente mais elevadas características da estação (verão).

Comportamento térmico semelhante foi observado na lagoa da Pampulha (Belo Horizonte/MG), com isoterмия da coluna d'água e circulação durante o período seco e

estratificação no período chuvoso, embora a coluna d'água apresentasse instabilidade devido às fortes chuvas ocorridas (FIGUEREDO e GIANI, 2001).

Como visto anteriormente, embora existam diferenças entre as temperaturas da água das estações 3 e 4 quando avaliados os períodos chuvoso e seco, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades em nenhum dos períodos. Pode-se observar nos gráficos das estações 3 e 4 (Figura 5.37) freqüentes períodos de circulação da coluna d'água, não sendo possível identificar a ocorrência do período com estratificação térmica definido.

No estudo realizado por Souza (2003) avaliando os parâmetros de qualidade da água de Vargem das Flores através da análise de dados secundários obtidos desde o início de sua operação em 1973 até 2002, foi observado um comportamento térmico semelhante. Houve o estabelecimento de uma estratificação térmica nos meses mais quentes e maior possibilidade de ocorrência de circulação da coluna d'água nos meses de junho, julho e agosto para as estações 1 e 2 e no período de maio até agosto para as estações 3 e 4.

A menor profundidade das estações 3 e 4 pode favorecer a maior influência dos ventos, chuvas e mesmo insolação diária, levando ao aquecimento da massa de água, o que explicaria a maior homogeneidade do perfil térmico nesses pontos. Infelizmente devido à falta de dados climatológicos da represa, não será possível comprovar a influência dos fatores climáticos no comportamento térmico das estações de estudo. Contudo, segundo Souza (2003) as quatro estações amostrais foram diferenciadas em relação à sua localização. As estações 1 e 2, localizadas na zona limnética da represa, apresentavam temperaturas ambiente inferiores às verificadas nas estações 3 e 4, indicando que as interferências de fatores como correntes de vento, intensidade e incidência da radiação solar, volume da coluna d'água, dentre outros, foram consideráveis no comportamento diferenciado das estações amostrais.

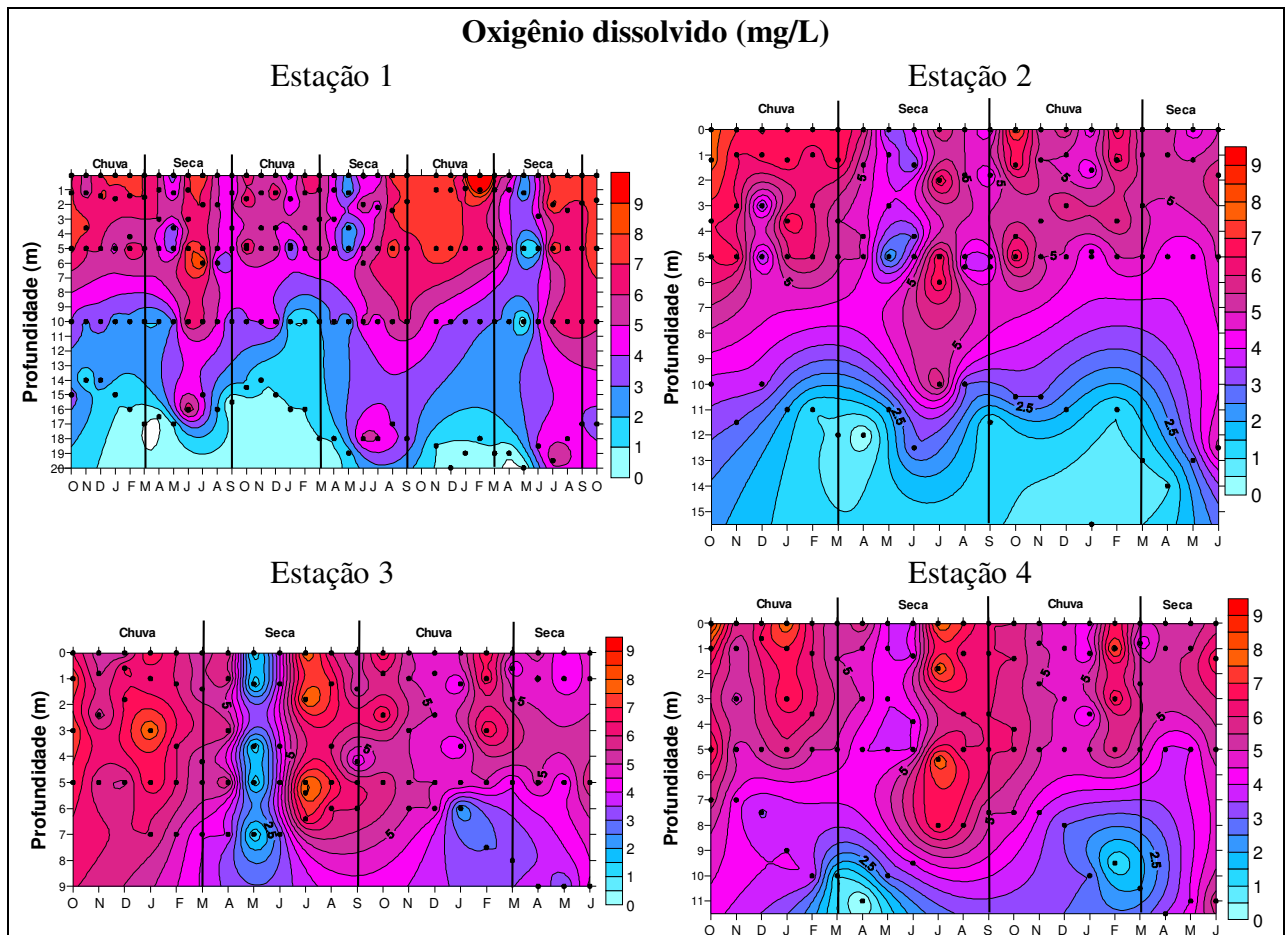


Figura 5.38 - Perfil da distribuição da concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Assim como ocorre a estratificação térmica da coluna d'água, os lagos e reservatórios podem apresentar também uma estratificação química. O perfil de distribuição do oxigênio dissolvido na coluna d'água (Figura 5.38) das quatro estações evidencia um perfil de estratificação química semelhante ao perfil térmico. Contudo na estação 4, não estratificada termicamente, pode ser observada a estratificação química com concentrações de OD significativamente menores no fundo (valores de $p < 0,05$ no teste estatístico de Kruskal-Wallis) nos meses de transição entre o período chuvoso e seco. Da mesma forma, as estações 1 e 2 apresentaram-se estratificadas durante os meses mais quentes (período chuvoso) ocorrendo a circulação nos meses mais frios (período seco) com aumento da concentração de OD no hipolímnio. Em geral, no mês de julho, foi observada a circulação completa da massa d'água e distribuição mais uniforme do OD. Observa-se ainda que durante a estratificação ocorreram períodos de anoxia no fundo das estações 1, 2 e 4.

Segundo KALFF (2002), os fatores apontados como responsáveis pela redução do oxigênio dissolvido com o aumento da profundidade, perfil clinogrado, podendo chegar à ausência de oxigênio no hipolímnio, são: a extensão do período de estratificação térmica, o volume do hipolímnio, concentração de matéria orgânica e a temperatura da água. Devido à elevada temperatura do hipolímnio de lagos tropicais (maioria superior a 20°C), as perdas de oxigênio são rápidas e grandes, juntamente com o aumento dos processos de decomposição tanto aeróbios quanto anaeróbios.

Analisando-se o perfil de distribuição do oxigênio dissolvido da estação 3, observa-se no mês de maio de 2005 um forte déficit de oxigênio em toda a coluna d'água (1,0 mg/L OD). Esse fato pode ter ocorrido devido à circulação da massa de água, possivelmente pela ação dos ventos, levando ao enriquecimento da coluna d'água com compostos redutores, provenientes do hipolímnio, consumindo assim grande parte do oxigênio dissolvido para a oxidação desses compostos (KALFF, 2002).

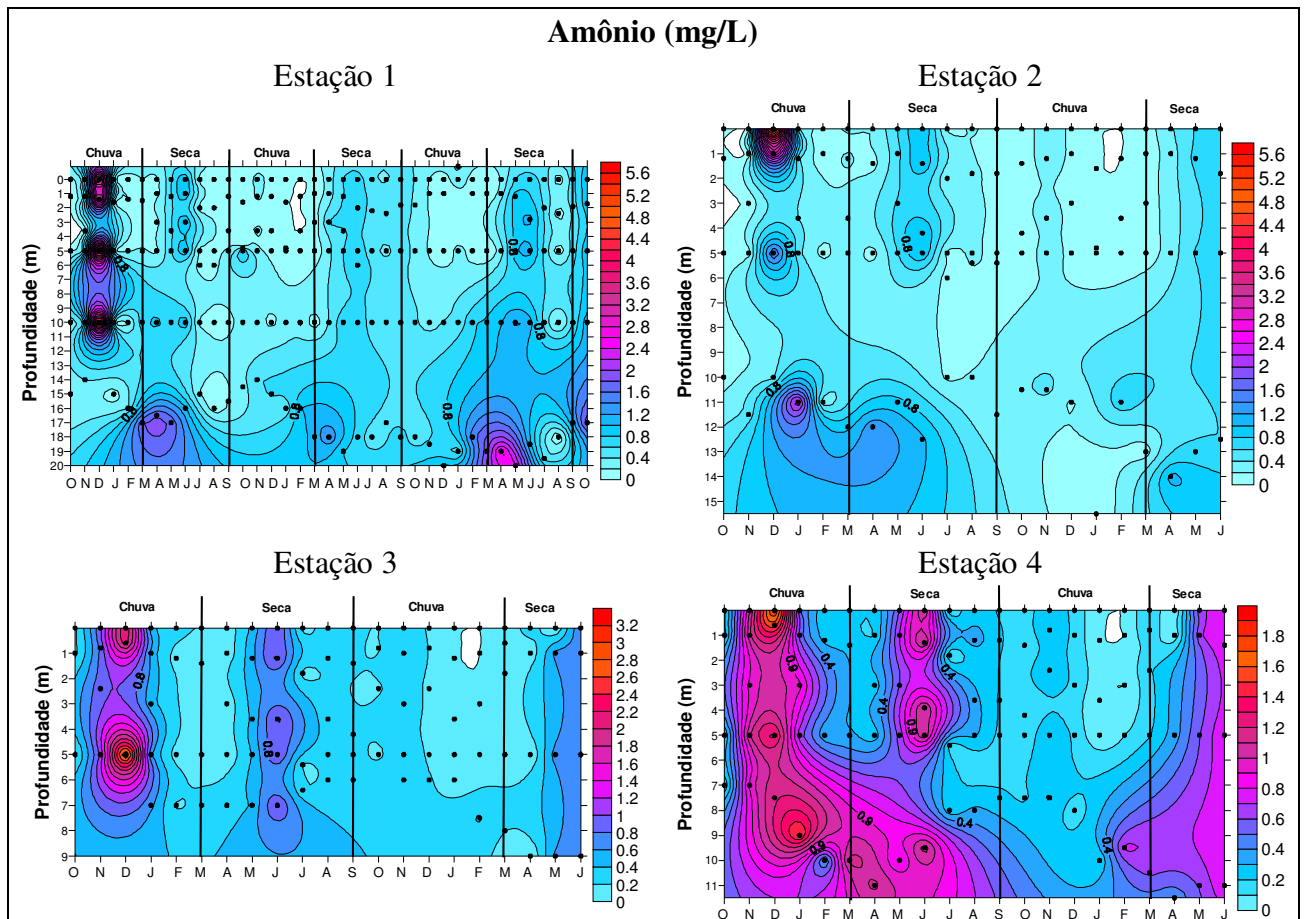


Figura 5.39 - Perfil da distribuição da concentração de amônio (mg/L) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4. Nota: escalas diferentes.

As fontes de nitrogênio que podem ser utilizadas pelas cianobactérias e microalgas são o nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) ou amônia (NH_4^+), além do nitrogênio atmosférico para as espécies capazes de fixá-lo. Contudo, o nitrato e o íon amônio representam as principais fontes de nitrogênio para o fitoplâncton em ecossistemas aquáticos, sendo que a via preferencial de obtenção desse nutriente é a amônia por já se encontrar na forma reduzida (OLIVER e GANF, 2000).

O perfil de distribuição do íon amônio na coluna d'água das quatro estações indica a maior concentração desse composto no início do monitoramento, principalmente se for avaliado o período de 3 anos de monitoramento da estação 1.

Observam-se concentrações mais elevadas de amônia (Figura 5.39) no período chuvoso compreendido entre outubro/04 e janeiro/05 em todas as estações. O aumento da concentração desse nutriente pode ter sido devido à maior carga orgânica carregada pelas chuvas do período.

Em um estudo realizado em três reservatórios na Austrália, monitorando a qualidade da água e a ocorrência de florações de cianobactérias, o aumento da concentração de nutrientes foi relacionado à ocorrência do período de chuvas (JONES, 1997). No reservatório de Gargalheiras, no Rio Grande do Norte, também foi observada maior concentração de nitrogênio na coluna d'água no período chuvoso em comparação com a estação seca (CHELLAPPA e COSTA, 2003).

Após esse período inicial do monitoramento, as concentrações de amônia medidas até junho de 2006 não apresentaram grandes variações entre os períodos seco e chuvoso. Contudo, na estação 1, ao final do último período chuvoso (a partir de abril de 2007) pode-se observar maiores concentração de amônia no hipolímnio, provavelmente relacionada à anoxia observada (Figura 5.38).

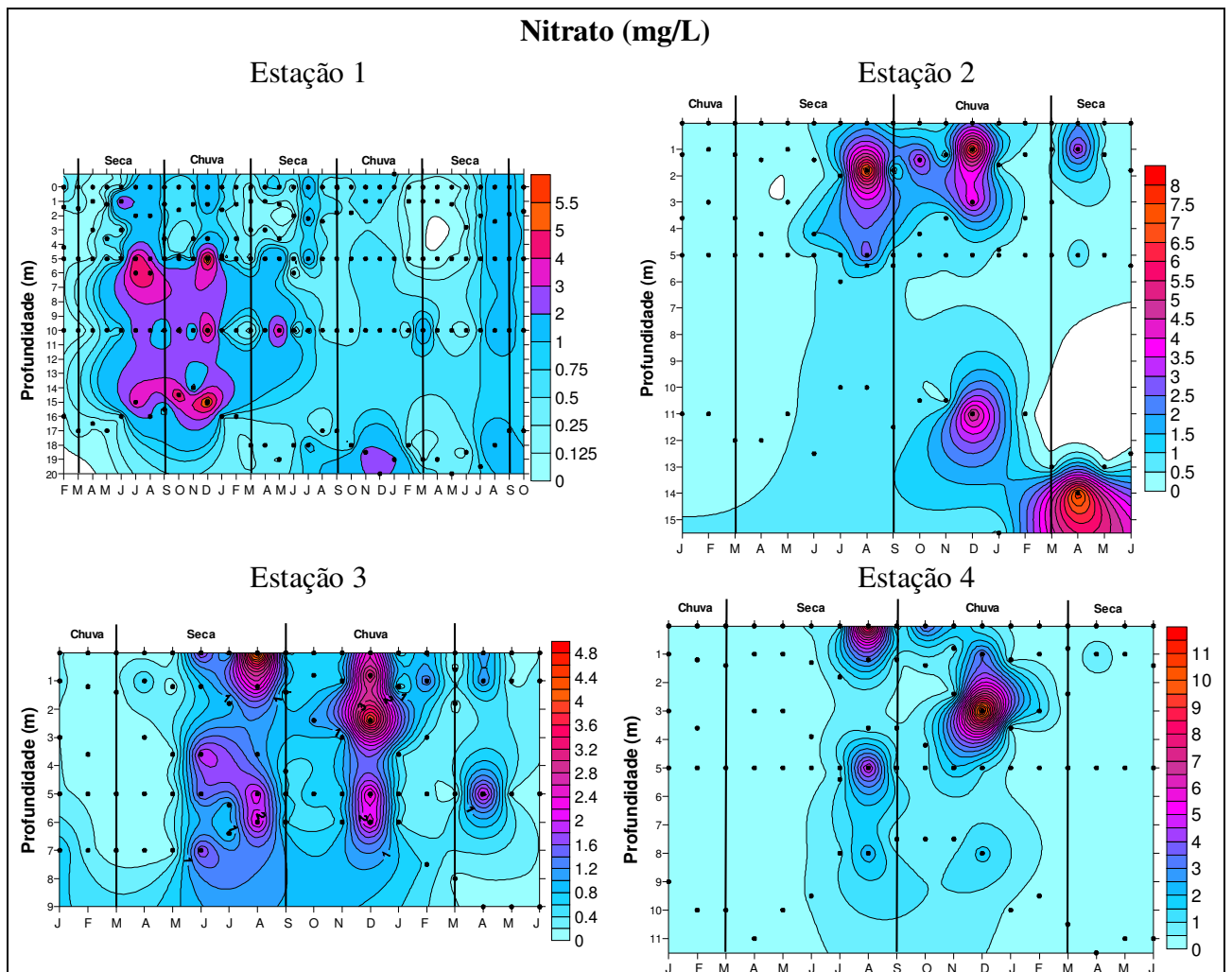


Figura 5.40 - Perfil da distribuição da concentração de nitrato (mg/L) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4. Nota: escalas diferentes.

Analisando-se o perfil de distribuição das concentrações de nitrato (Figura 5.40) constata-se o aumento da concentração de nitrato em todas as estações, coincidente com a maior distribuição de oxigênio dissolvido na coluna d'água durante a circulação (Figura 5.38). Na presença de oxigênio dissolvido pode ocorrer a oxidação química ou biológica (ação das bactérias nitrificantes) da amônia levando à produção de nitrito e nitrato (KALFF, 2002).

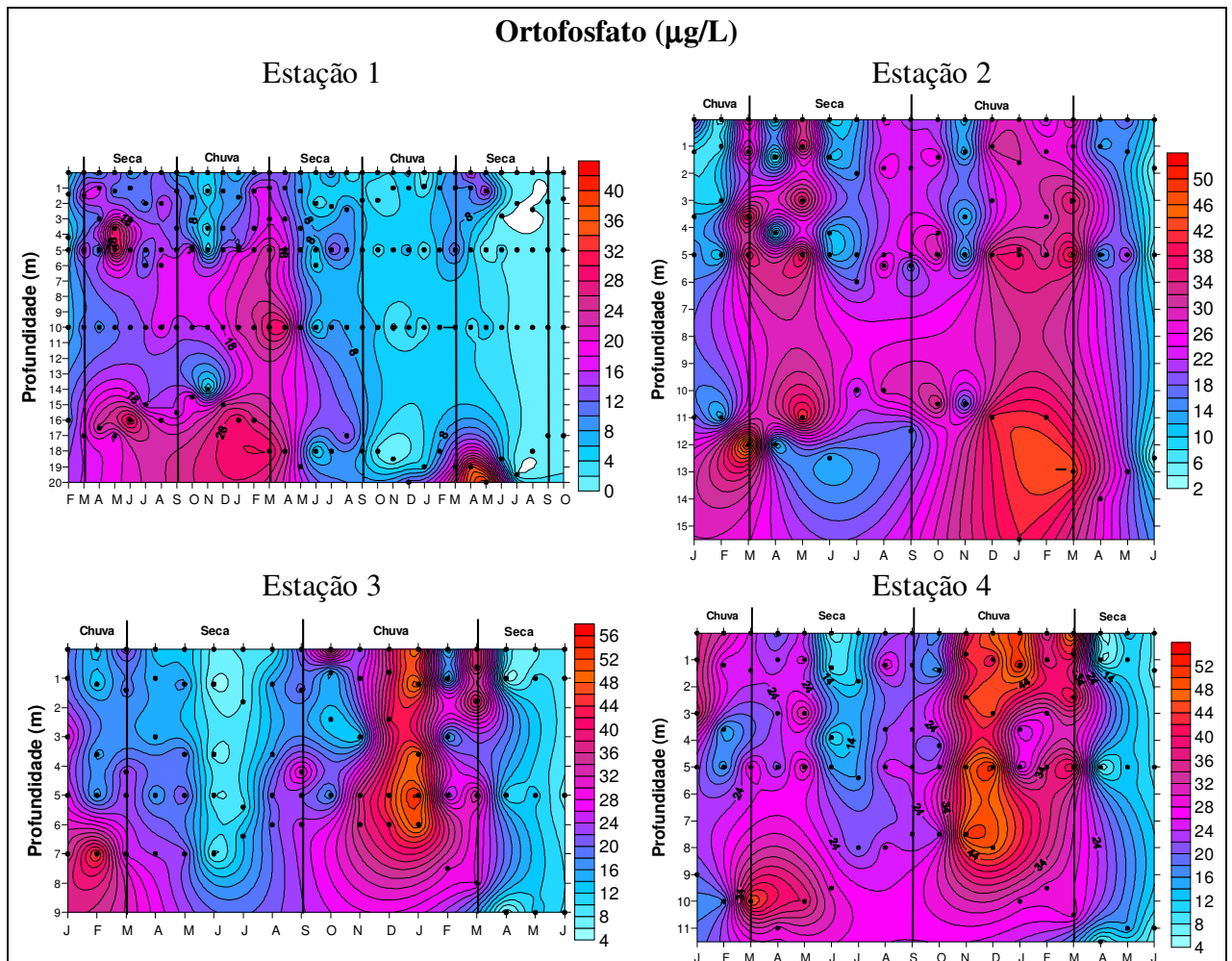


Figura 5.41 - Perfil da distribuição da concentração de ortofosfato ($\mu\text{g/L}$) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Nota: escalas diferentes.

As concentrações dos nutrientes, fósforo e nitrogênio, exercem grande influência na produtividade dos ecossistemas aquáticos por fazerem parte de processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos e, consequentemente, importantes no estudo do grupo das cianobactérias. O fósforo, além de ser considerado o maior responsável pela eutrofização artificial, é o principal fator limitante da produtividade primária em reservatórios (STRAŠKRABA e TUNDISI, 2000).

A principal forma de fósforo assimilada pelo fitoplâncton é o ortofosfato (PO_4^{3-}). Considerando-se o período de janeiro de 2005 a junho de 2006 observa-se uma distribuição semelhante das concentrações de ortofosfato na coluna d'água de todas as estações. No

entanto não foi possível verificar se esse comportamento similar se manteve a partir de julho de 2006, já que o somente a estação 1 foi monitorada a partir desse período. As concentrações de ortofosfato na estação 1 mostraram uma queda acentuada no período de chuva subsequente, retornando para valores mais altos no hipolímnio após o retorno da estratificação. Essas maiores concentrações foram observadas nos períodos com baixas concentrações de oxigênio dissolvido (Figura 5.38).

De acordo com Stauffer (1985), em condições de baixa concentração de oxigênio no hipolímnio quantidades substanciais de fosfato podem ser liberadas do sedimento e transportadas para o epilímnio levando à fertilização interna do ambiente. Esse transporte de fosfato pode se dar tanto pela desestratificação completa ou parcial da coluna d'água, quanto por difusão em caso de formação de fortes gradientes de concentração de fosfato entre o hipolímnio e as águas superficiais.

No caso das estações 3 e 4, o aumento da concentração de ortofosfato pode estar relacionada à entrada de nutrientes de origem alóctone carregados pelas chuvas. Em estudo realizado por Moredjo (1998) em três açudes paraibanos ficou evidenciada a influência das chuvas no aumento da concentração de fosfato nesses ambientes.

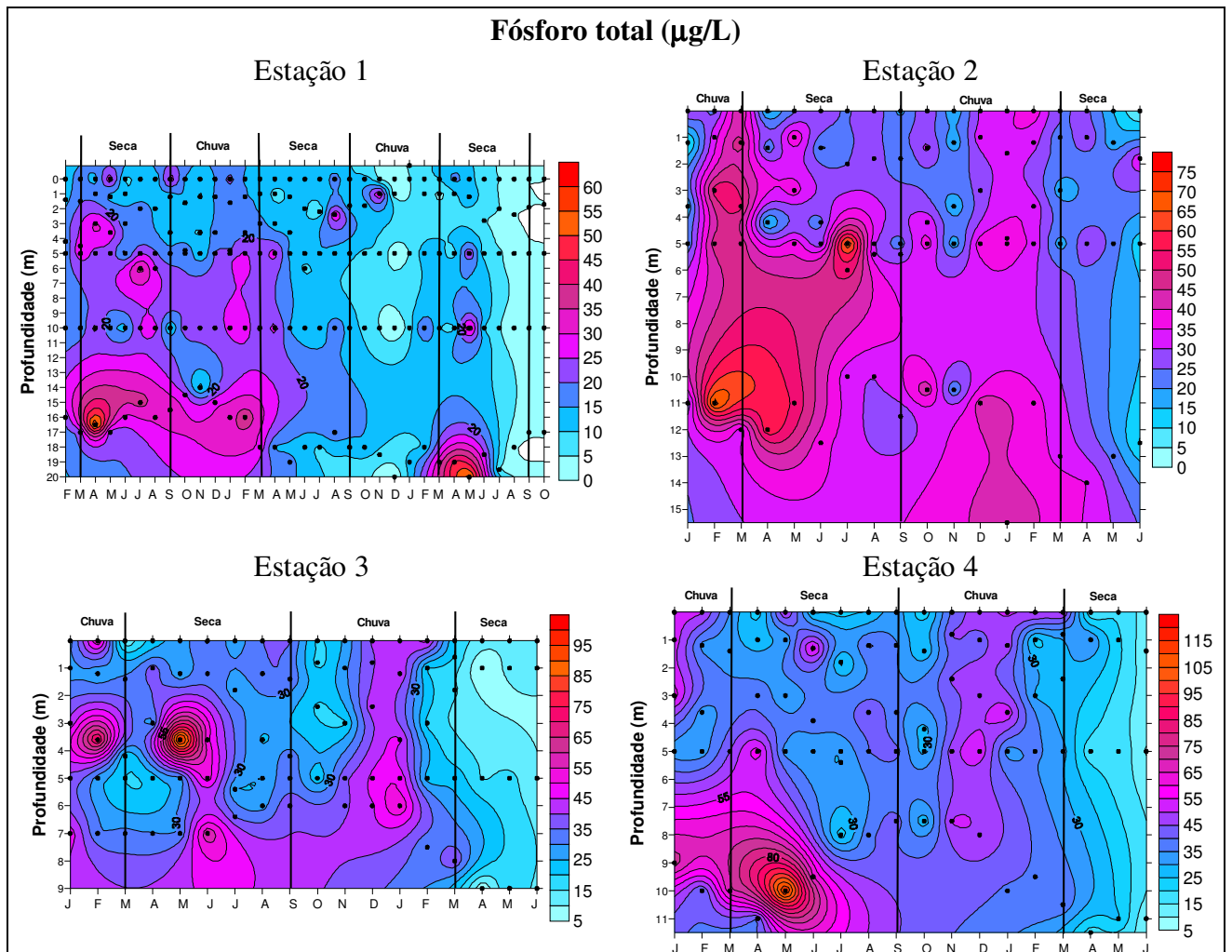


Figura 5.42 - Perfil da distribuição da concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Nota: escalas diferentes.

Em geral, o perfil de distribuição do fósforo total, como esperado, foi semelhante ao do ortofosfato (Figura 5.42) evidenciando a parcela predominante da contribuição do fosfato reativo.

Foram efetuados testes estatísticos de Kruskal-Wallis para confirmação de diferenças significativas observadas entre as quatro estações, considerando todos os parâmetros abióticos em cada profundidade e em cada período, chuvoso e seco. Optou-se por apresentar os gráficos "box-whisker" (Figura 5.43 a Figura 5.48) apenas dos parâmetros que apresentaram diferenças estatísticas significativas, ao nível de significância de 5%.

5.2.1.2 Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem

Período chuvoso

Os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis realizados para comparação entre as quatro estações na superfície (Figura 5.43) indicaram diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) para o ortofosfato, fósforo total e turbidez. As concentrações de ortofosfato e fósforo total foram menores na superfície da estação 1 do que nas outras estações nessa profundidade. Por outro lado, a turbidez medida na superfície da estação 1 encontrou-se significativamente menor que a medida nas estações 3 e 4 na mesma profundidade.

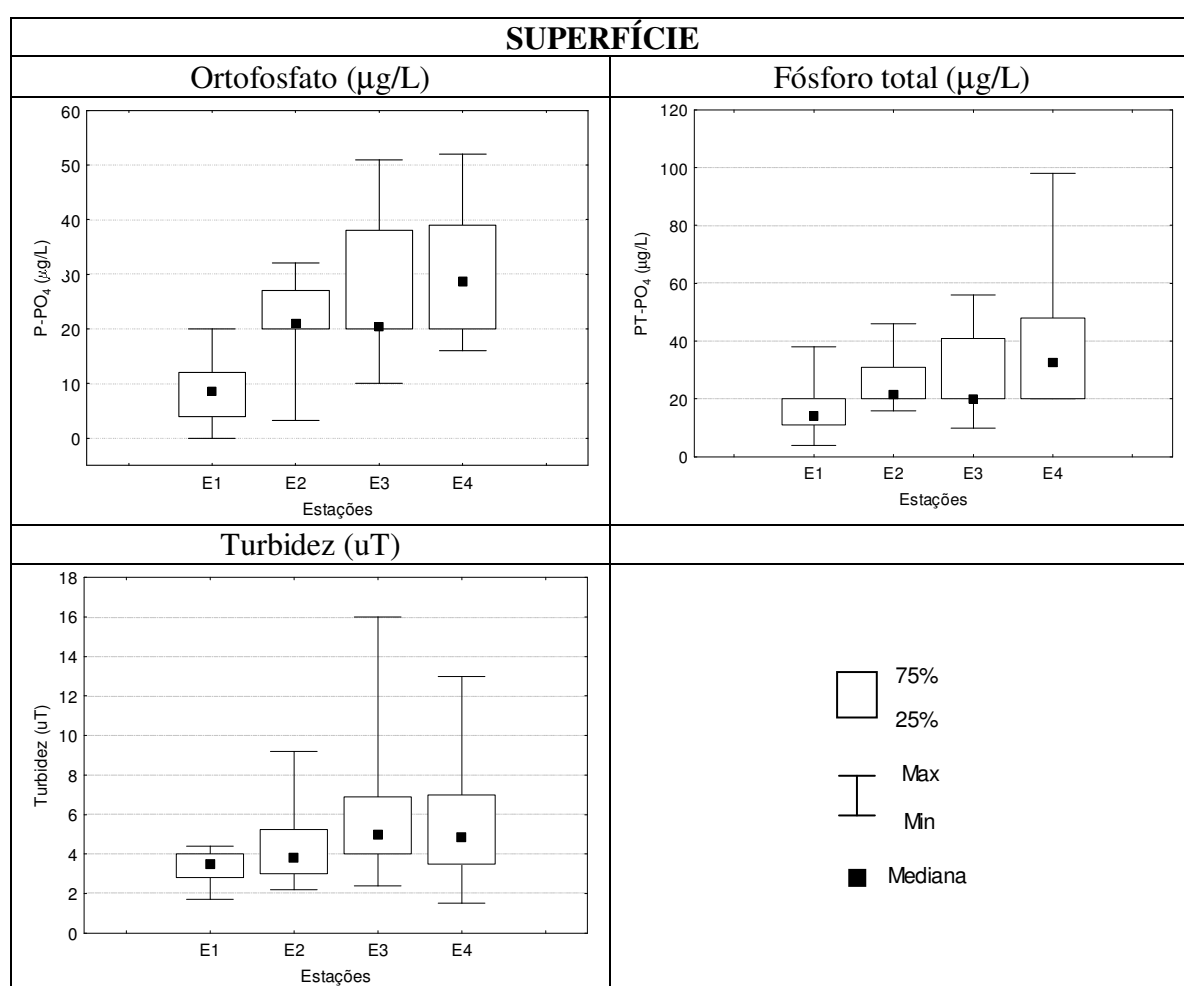


Figura 5.43 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

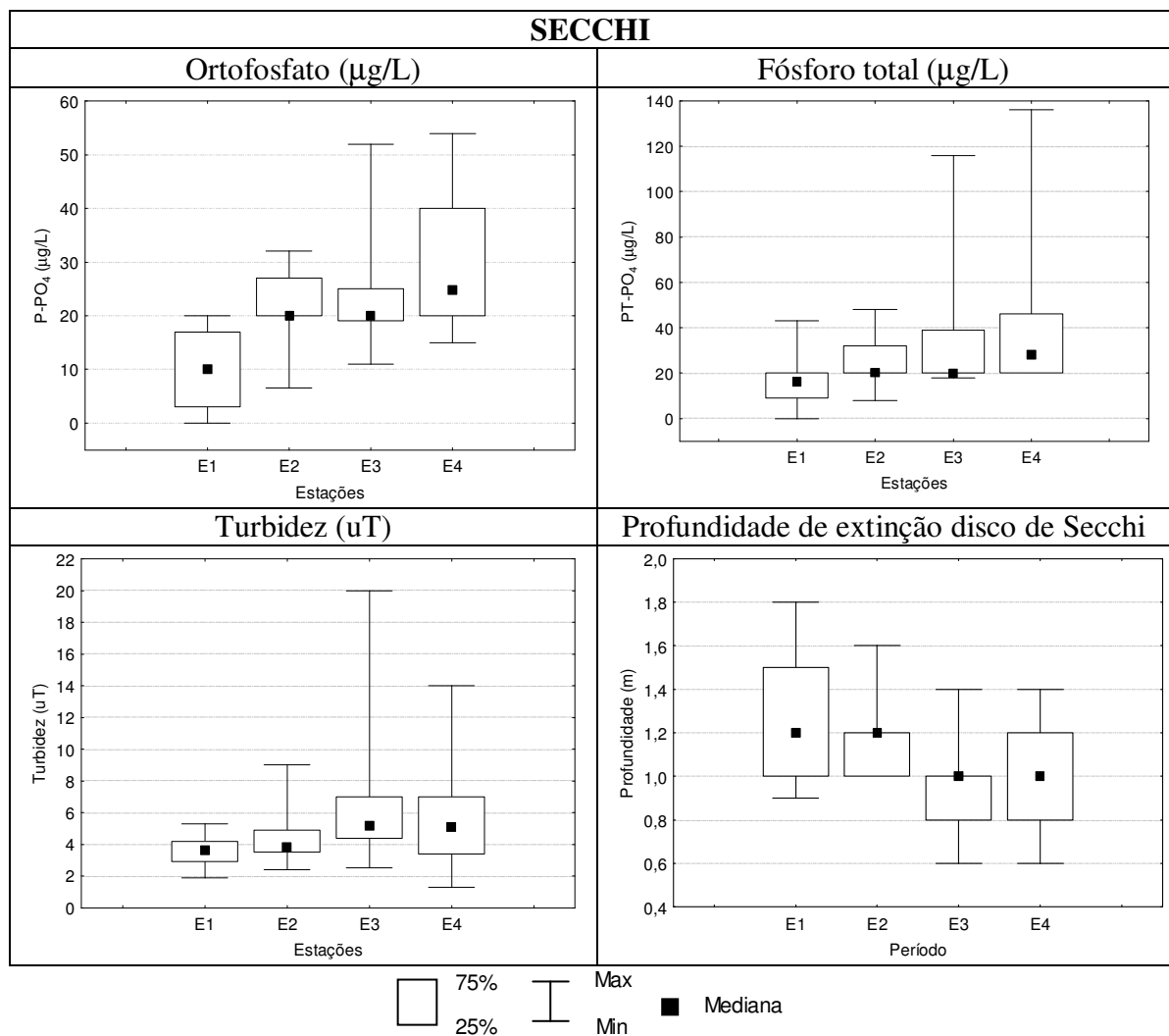


Figura 5.44 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade de extinção do disco de Secchi - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

Assim como na superfície, os resultados do teste estatístico realizados para comparação entre as quatro estações na profundidade de extinção do disco de Secchi (Figura 5.44) indicou diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) para o ortofósforo, fósforo total e turbidez. As concentrações de ortofósforo e fósforo total também foram menores no Secchi da estação 1 do que nas outras estações nessa profundidade. Enquanto a turbidez e a profundidade do Secchi da estação 1 foram significativamente diferentes das medidas na estação 3 na mesma profundidade. A maior profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 1 assim como a menor turbidez podem ser atribuídas ao menor impacto das chuvas na porção mais preservada do reservatório em função da localização e profundidade.

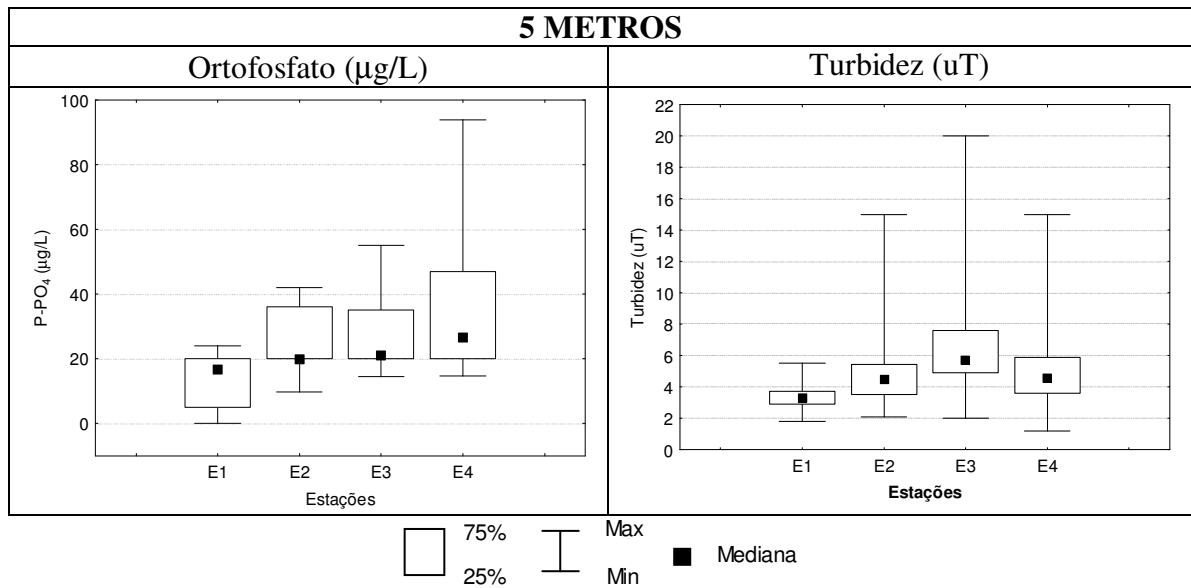


Figura 5.45 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

Já na profundidade a cinco metros da superfície (Figura 5.45), os resultados do teste comparando as quatro estações indicou diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) apenas para o ortofosfato e a turbidez, que continuaram sendo menores na estação 1 em relação às outras estações nessa profundidade.

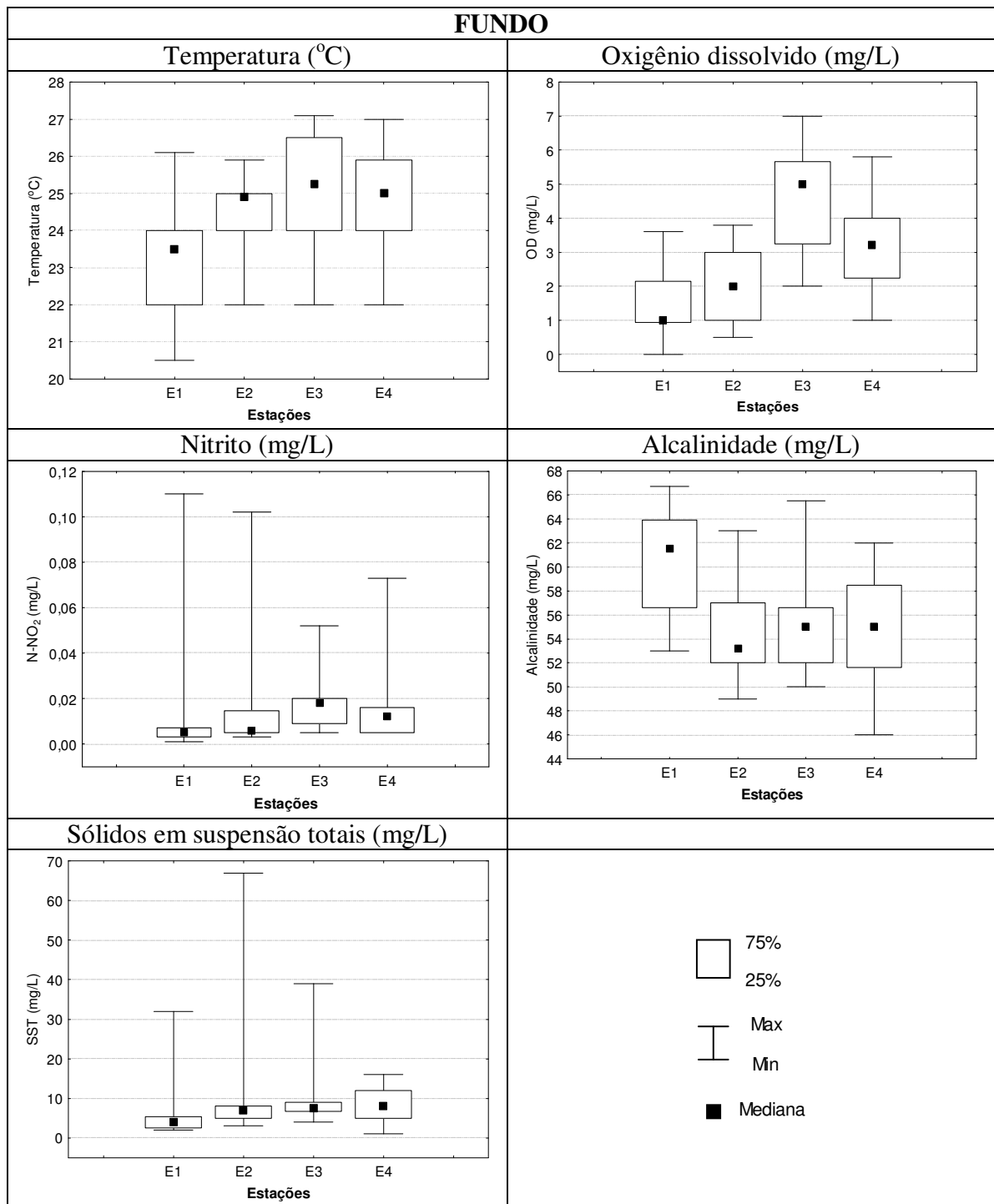


Figura 5.46 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 1 metro do fundo - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

As concentrações dos parâmetros avaliados a um metro do fundo (Figura 5.46) que apresentaram diferenças significativas durante o período chuvoso foram temperatura, oxigênio dissolvido, nitrito, alcalinidade e sólidos em suspensão totais. A temperatura do fundo da estação 1 foi significativamente menor que a temperatura das estações 3 e 4 na mesma profundidade, como esperado já que esta é a estação mais profunda do reservatório.

Pelo mesmo motivo, a concentração de oxigênio dissolvido também foi significativamente menor no fundo da estação 1 do que no fundo das estações 3 e 4. Enquanto a concentração de OD da estação 2 foi significativamente menor que a medida no fundo da estação 3, possivelmente devido a maior profundidade da E2. Já a concentração de nitrito no fundo da estação 3 foi significativamente maior que a concentração medida na estação 1.

A alcalinidade da estação 1 no fundo foi significativamente maior (ao nível de significância de 5%) do que a medida no fundo das estações 3 e 4. Enquanto a concentração de SST foi significativamente menor nessa profundidade da estação 1 em relação às estações 3 e 4. Mais uma vez as diferenças observadas entre o fundo das estações podem ser devido às diferenças de profundidade.

Período seco

Analisando-se agora as diferenças entre as quatro estações nas profundidades amostradas durante o período seco, observa-se que na superfície, Secchi e 5 metros da superfície apenas os valores da concentração de ortofosfato foram significativamente diferentes (Figura 5.47). Na superfície e a 5 metros da superfície os valores medidos na estação 1 foram menores que os observados na E4. Já na profundidade do disco de Secchi a concentração de ortofosfato na estação 1 foi menor que a das estações 2 e 4.

Na comparação entre a profundidade do fundo das quatro estações (Figura 5.48), o parâmetro significativamente diferente no período seco foi o pH. O pH medido no fundo da estação 1 foi significativamente menor que o do fundo das estações 2 e 3.

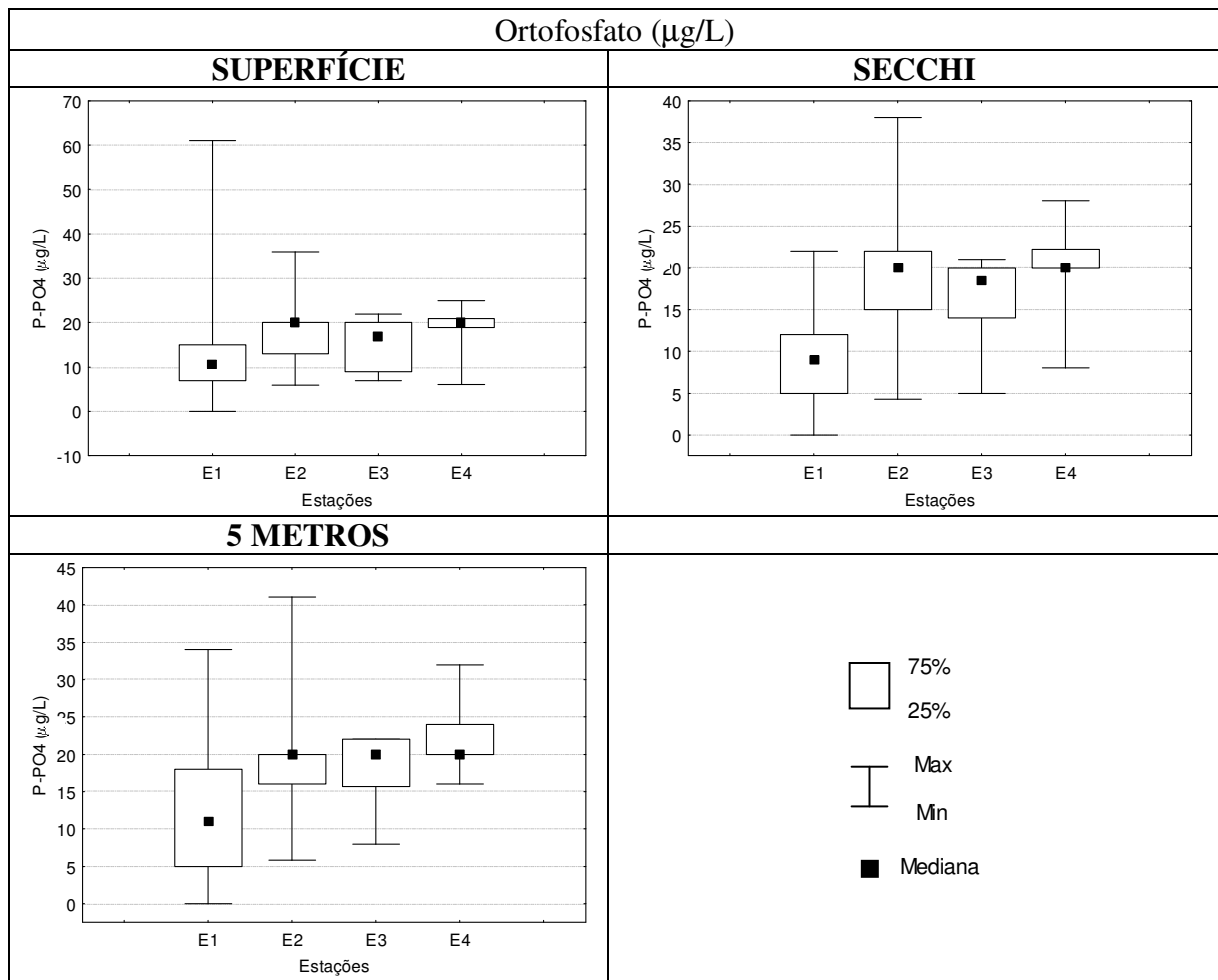


Figura 5.47 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade da superfície, Secchi e 5 metros- período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.

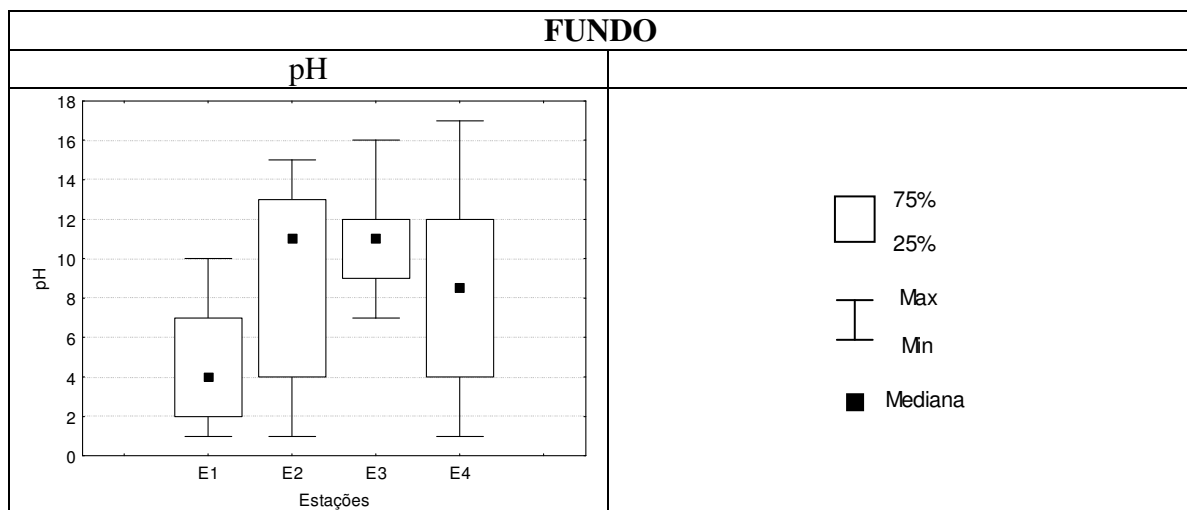


Figura 5.48 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.

5.2.2 Parâmetros bióticos

5.2.2.1 Avaliação temporal das quatro estações de amostragem

A Figura 5.49 apresenta os gráficos do perfil de distribuição das cianobactérias no período de outubro/2004 a junho/2006 para as quatro estações.

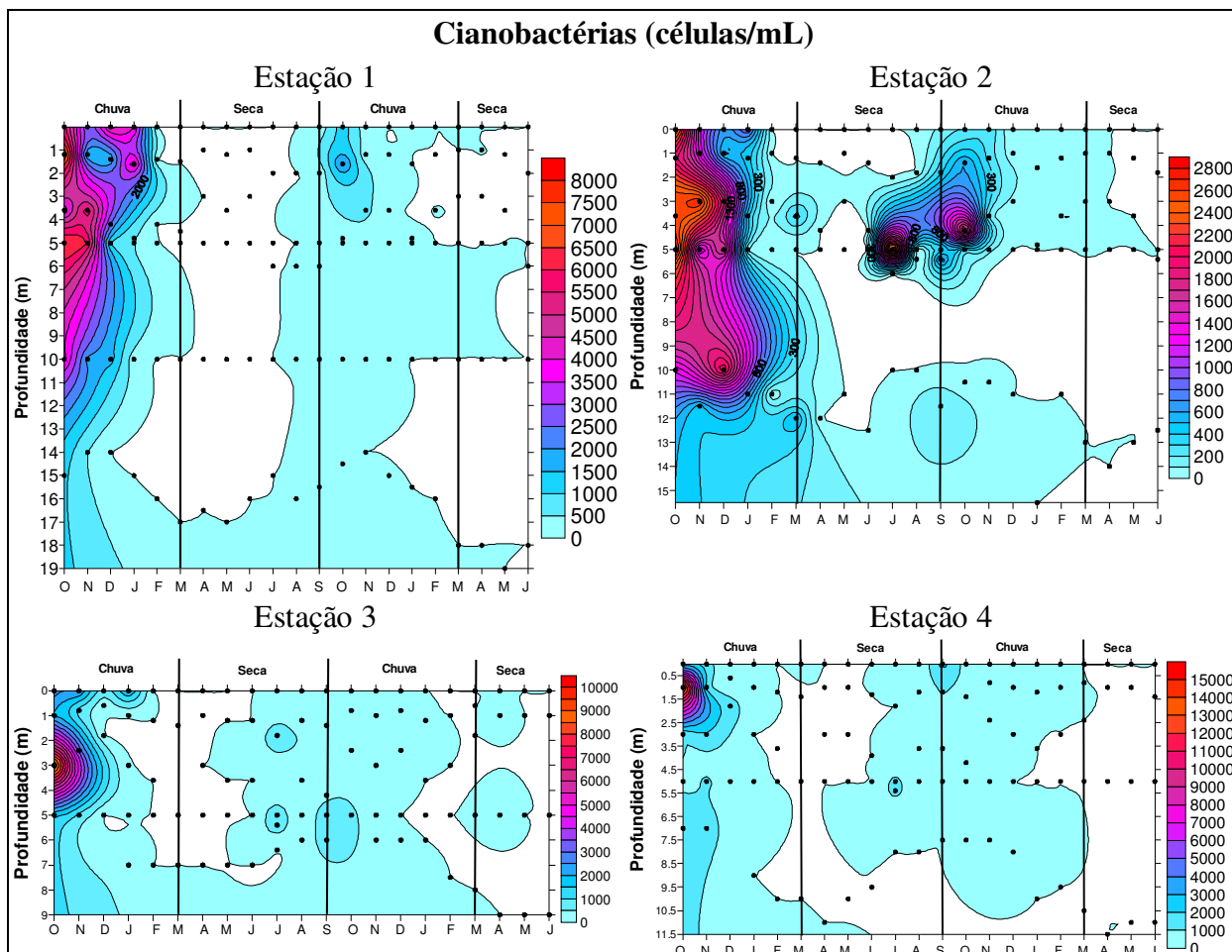


Figura 5.49 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água das estações amostrais 1, 2, 3 e 4 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a junho/2006.

Observa-se que as cianobactérias encontravam-se distribuídas na totalidade da coluna d'água durante o início do monitoramento (período chuvoso). A distribuição das cianobactérias ao longo da coluna d'água pode ser tanto devido à capacidade de regular sua flutuabilidade de acordo com as condições do ambiente, quanto à perda dessa característica, levando as colônias para o fundo (OLIVER e GANF, 2000). A espécie predominantes durante todo o período têm como característica a presença de aerótopos que possibilitam o controle da flutuação.

A ocorrência das cianobactérias observada no período compreendido entre outubro/04 e fevereiro/05 foi a mais expressiva durante o monitoramento das quatro estações (outubro/04 a junho/06). As espécies predominantes nesse evento pertenciam ao gênero *Microcystis*. No período chuvoso subsequente (setembro a dezembro de 2005) além de terem sido encontradas menores concentrações de células/mL somente a espécie *Sphaerocavum brasiliense* foi observada.

Com a continuidade do monitoramento realizado na estação 1 nova ocorrência de cianobactérias foi observada e dessa vez a espécie encontrada foi a espécie picoplânctônica *Aphanocapsa* sp.

A Figura 5.50 apresenta o perfil de distribuição das cianobactérias na estação 1 para todo o período monitorado para permitir uma melhor visualização do número de células observado na estação 1 durante a presença da *Aphanocapsa* sp (novembro/2006 a abril/2007).

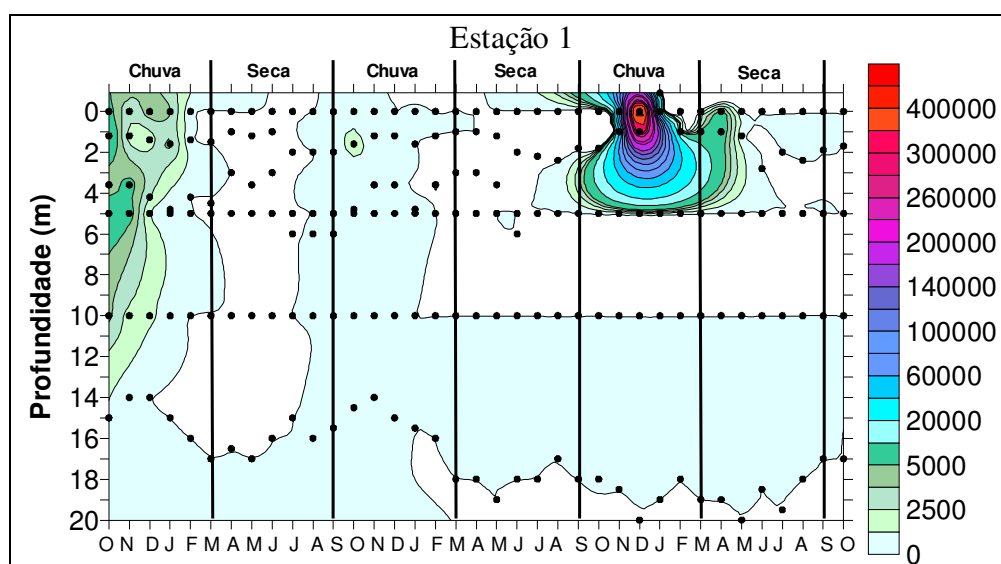


Figura 5.50 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água da estação 1 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007.

Torna-se importante ressaltar que devido à variação no tamanho celular das cianobactérias (também dos outros grupos do fitoplâncton) encontradas durante o monitoramento (*Microcystis*: 5-6 μm , *Sphaerocavum*: 2,4-3,7 μm e *Aphanocapsa*: 0,5-3,0 μm), seria mais adequado o emprego do cálculo do biovolume para melhor comparação entre as concentrações nos três períodos de ocorrência. Em consequência disso, o elevado número de

células de *Aphanocapsa* (espécie picoplantônica colonial) no último período de ocorrência não implica necessariamente em predominância dessa espécie como principal contribuinte da biomassa algal.

Porém, como a pesquisa esteve inserida no âmbito do Prosab, a escolha da quantificação das cianobactérias através da contagem do número de células foi feita para que as análises pudessem ser comparadas com as realizadas pelos outros grupos de pesquisa integrantes do Programa (edital-4). É importante mencionar que as medidas para o cálculo correto do biovolume devem ser feitas com cuidado, respeitando as variações sazonais, o ciclo de vida, local de coleta entre outros fatores, para que não hajam erros. Além disso, é recomendado que o biovolume seja calculado para cada novo experimento ou lote de amostras (Hillebrand et al., 1999).

Embora os gêneros predominantes de cianobactérias observados durante o monitoramento sejam todos característicos de ambientes meso eutróficos, a provável sucessão observada dentro do grupo pode estar relacionada com modificações do ambiente aquático, uma vez que esses gêneros apresentam características diferenciadas (STOCKNER *et al.* 2000, OLIVER e GANF, 2000). O predomínio de espécies picoplantônicas (*Aphanocapsa* sp) em detrimento das anteriormente encontradas (*Microcystis* spp) pode vir a ser uma evidência desta alteração do ambiente. Contudo, uma discussão mais aprofundada acerca da sucessão das espécies de cianobactérias não será abordada no presente trabalho por não fazer parte do escopo original proposto.

Importante ressaltar que durante os períodos de ocorrência das cianobactérias foram realizados testes ELISA para detecção de microcistinas nas profundidades estudadas, mas os resultados durante o monitoramento foram negativos (abaixo do limite de detecção do teste). Contudo, no trabalho de Moreira *et al.* (2005) avaliando a presença de cianotoxinas em três reservatórios da região metropolitana de Belo Horizonte, foi detectada a concentração de 30mg/kg equivalentes de microcistina –LR (análise por HPLC) em amostra do séston proveniente da floração de cianobactérias (predominantemente *Microcystis aeruginosa*) ocorrida em Vargem das Flores no ano de 1999. Desta forma, a importante avaliação dos possíveis fatores responsáveis pela regulação da produção de cianotoxinas no ambiente não pode ser efetuada no presente estudo.

Para caracterização dos grupos do fitoplâncton encontrados no reservatório foi elaborado o Quadro 5.16, onde estão listados classes, famílias, gêneros e espécies encontrados durante o estudo. Foram gerados, ainda, gráficos apresentando a concentração total do fitoplâncton e da clorofila (Figuras 5.51a - 5.54a), a percentagem de distribuição dos principais grupos (Figuras 5.51b - 5.54b), além de gráficos mostrando a distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias encontrados na profundidade de extinção do disco de Secchi (Figuras 5.51c - 5.54c) para as quatro estações de amostragem.

Quadro 5.16 - Composição do fitoplâncton da represa de Vargem das Flores – Minas Gerais.

Classes, famílias, gêneros e espécies do fitoplâncton			
<u>Chlorophyceae</u>	<u>Cyanophyceae</u>	<u>Zygnemaphyceae</u>	<u>Cryptophyceae</u>
<i>Ankistrodesmus</i> sp	<i>Aphanocapsa</i> sp	<i>Closterium</i> sp	Cryptomonadaceae
<i>Botryococcus</i> sp	Chroococcales	<i>Cosmarium</i> sp	<i>Cryptomonas</i> sp
<i>C. fenestrata</i>	<i>Chroococcus</i> sp	Desmidiaceae	
<i>Coelastrum</i> sp	<i>Coelomoron</i> sp	<i>Euastrum</i> sp	<u>Dinophyceae</u>
<i>C. pulchrum</i>	<i>Microcystis</i> sp	<i>Mougeotia</i> sp	<i>Peridinium</i> sp
<i>C. reticulatum</i>	<i>M. aeruginosa</i>	<i>Staurastrum</i> sp	<i>P. cinctum</i>
Chlorococcales	<i>M. novacekii</i>	<i>S. excavatum</i>	
<i>Elakatothrix</i> sp	Nostocaceae	<i>S. leptocladum</i>	<u>Chrysophyceae</u>
<i>Eutetramorus. fottii</i>	<i>Radiocystis fernandoi</i>	<i>Spirotaenia</i> sp	<i>Dinobryon bavaricum</i>
<i>Kirchneriella contorta</i>	<i>Sphaerocavum brasiliense</i>		<i>Mallomonas</i> sp
<i>Monoraphidium</i> sp			
<i>M. arcuatum</i>	<u>Bacillariophyta</u>	<u>Euglenophyceae</u>	<u>Chlamydophyceae</u>
<i>Pediastrum simplex</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Euglena</i> spp	<i>Chlamydomonas</i> sp
<i>Scenedesmus</i> spp	Bacillariophyta	<i>Phacus</i> sp	
<i>Tetraedron</i> sp	<i>Cyclotella</i> spp	<i>Trachelomonas</i> sp	
<i>T. cf intermedium</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>T. armata</i>	
<i>T. gracile</i>	<i>Navicula</i> sp	<i>T. volvocina</i>	
<i>T. minimum</i>	<i>Synedra</i> spp		

Nota: as classes aparecem sublinhadas em negrito

Como observado no Quadro 5.16, foram identificados 55 taxa na comunidade do fitoplâncton durante o estudo. O grupo Chlorophyceae foi o mais importante em termos de número de espécie (33%), seguido pelas cianobactérias (18%). Embora não tenham sido representativos quanto ao número de espécies o grupo Bacillariophyta (11%) e os fitoflagelados (6%) predominaram no fitoplâncton durante o período de ausência das cianobactérias, como pode ser visualizado nos gráficos apresentados nas Figuras 5.51b a 5.54b, considerando a profundidade do disco de Secchi.

Nas Figuras 5.51a a 5.54a observa-se que a variação da concentração de clorofila-a esteve relacionada com a densidade do fitoplâncton, não sendo influenciada pelo predomínio de um grupo em particular.

No início do monitoramento (outubro/2004), as cianobactérias encontravam-se como grupo dominante do fitoplâncton principalmente nas estações 1 e 4 (Figuras 5.51b e 5.54b). Contudo, durante todos os períodos secos houve a predominância dos fitoflagelados e Bacillariophyta em momentos alternados. A sazonalidade das cianobactérias foi novamente confirmada, retornando sempre no início do período chuvoso.

A ausência do grupo das cianobactérias coincide com o período de desestratificação da coluna d'água. A relação entre a ocorrência das cianobactérias com o período de estratificação térmica da coluna d'água é evidenciada em muitos trabalhos (SHERMAN *et al.*, 1998, FIGUEREDO e GIANI, 2001, JONES, 1997). Como mencionado anteriormente, esse fato pode ser devido tanto à maior turbulência e transparência da coluna d'água, quanto à ocorrência de uma distribuição mais homogênea dos nutrientes nesse período, o que diminuiria as vantagens apresentadas pelas cianobactérias sobre os outros grupos do fitoplâncton.

No trabalho de Jardim (1999) em Vargem das Flores no período de agosto/97 a agosto/99 foi relatada uma alternância entre a presença das cianobactérias e as diatomáceas e algas verdes (Chlorophyceae). No presente estudo as espécies de Chlorophyceae estiveram presentes, ainda que em menor número, durante praticamente todo o período monitorado.

As Figuras 5.51c a 5.54c apresentam a ocorrência dos gêneros/espécies de cianobactérias predominantes. Como o monitoramento das estações 2, 3 e 4 não se estendeu além de junho de 2006, o gênero *Aphanocapsa* só foi observado na estação 1. Quando da ocorrência das

cianobactérias nos dois primeiros períodos, os gêneros *Microcystis* e *Spaerocavum* parecem ter se alternado na dominância, enquanto no terceiro episódio (estação 1) foi verificada apenas a presença de *Aphanocapsa* sp.

5.2.2.2 Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem

Os testes estatísticos (Kruskal-Wallis) não detectaram diferenças significativas entre as quatro estações, considerando todos os parâmetros bióticos nas diferentes profundidades amostradas. Sendo assim, não serão apresentados os gráficos “box-whisker”.

5.2.3 **Estudo das relações entre nutrientes e ocorrência de cianobactérias**

Buscando investigar possíveis relações entre os nutrientes e ocorrência de cianobactérias foram elaborados gráficos das concentrações ao longo do período monitorado (Figuras 5.51d a 5.54d e 5.51e a 5.54e). Em geral, o maior número de células de cianobactérias parece coincidir com as maiores concentrações das formas de fósforo e nitrogênio presentes ao final dos períodos secos. Essa relação parece mais evidente para a estação 1, ainda que não existam dados representativos de fósforo no período de maior ocorrência das *Microcystis*, já que o limite de detecção do método analítico adotado na época (20 µg/L) não permitiu detectar variações nas concentrações. Merece menção, ainda, a queda acentuada nas concentrações de fósforo observada no final do período de monitoramento (junho/07 para PO₄ e julho/07 para PT), como observado nas Figuras 5.40, 5.41 e 5.51d. O aumento da concentração de nutrientes como um dos principais fatores relacionados à ocorrência de cianobactérias vem sendo descrito na literatura por diversos autores (Giani *et al.*, 2005, Bouvy *et al.*, 2003, Oliver e Ganf, 2000, Hyenstrand *et al.*, 1998).

A relação N:P foi também investigada na tentativa de verificar se o seu valor influenciaria na presença das cianobactérias. Na Tabela 5.9 estão apresentados os valores da relação N:P na profundidade de extinção do disco de Secchi.

Embora a concentração de fósforo tenha aumentado na coluna d'água após a circulação, a relação N:P durante o período amostrado manteve-se acima de 16, variando de 16 a 2338 na estação 1, de 19 a 660 na estação 2, de 22 a 820 na estação 3 e de 15 a 439 na estação 4. Esses resultados indicam a irrelevância da relação N:P na ocorrência das cianobactérias nesse estudo. Segundo MUR *et al.* (1999), o crescimento das cianobactérias levando à formação de florações ocorrerá preferencialmente na presença de uma baixa relação N:P se comparado

com o crescimento das algas eucarióticas. Contudo, segundo Reynolds (1998) o uso d relação N:P para explicar o predomínio de determinado grupo do fitoplâncton torna-se difícil de justificar, uma vez que apenas o valor dessa relação não oferece informação suficiente para a interpretação da dinâmica do fitoplâncton. A concentração de cada nutriente encontra-se mais importante que a relação entre ambos. Além disso, deve-se levar em consideração o requerimento nutricional do grupo estudado, assim como a capacidade de assimilação desses nutrientes, juntamente com o nível de saturação encontrado para os nutrientes nas células das espécies ou grupos em estudo.

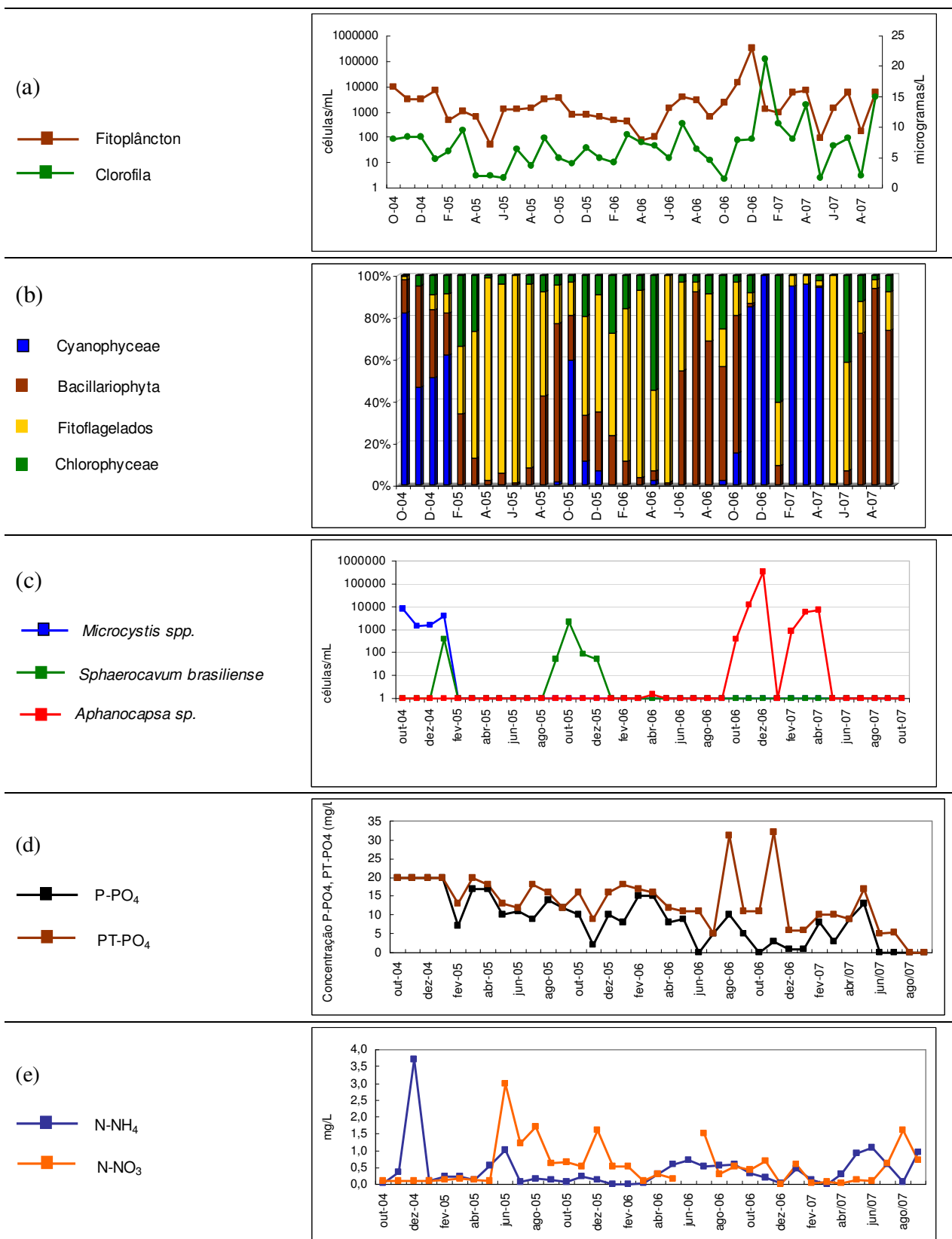


Figura 5.51 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 1** no período de outubro/04 a outubro/07. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

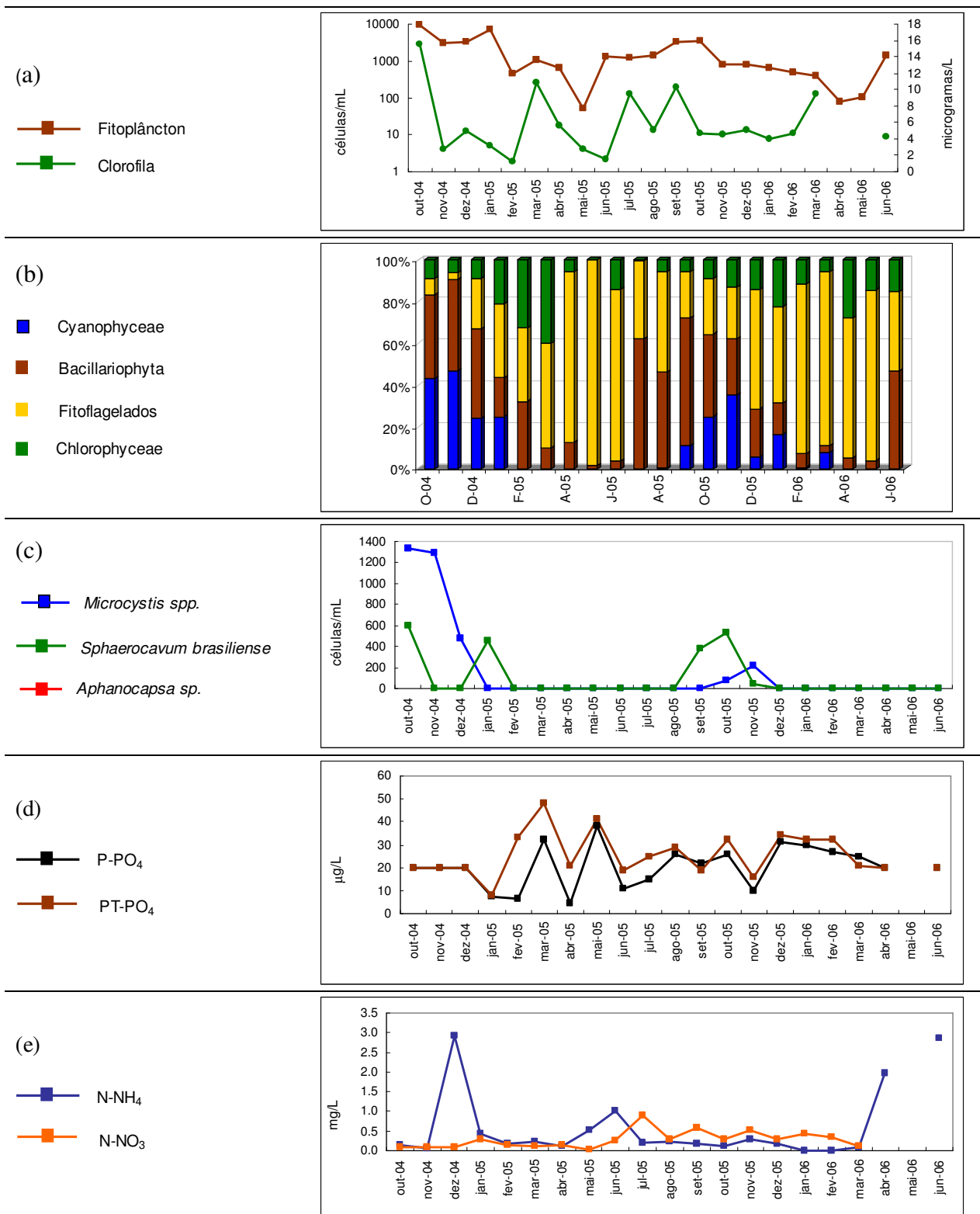


Figura 5.52 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 2** no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

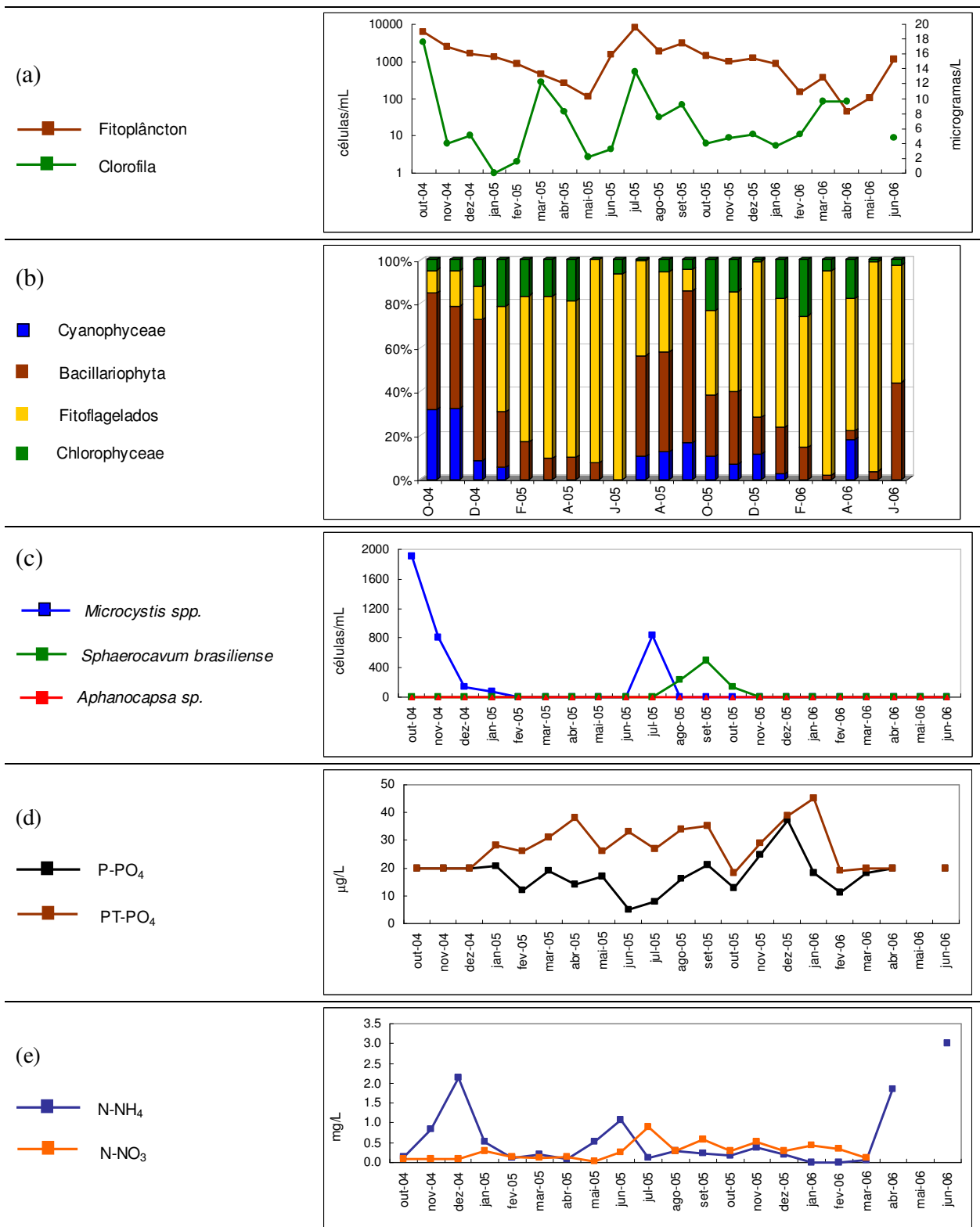


Figura 5.53 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 3** no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

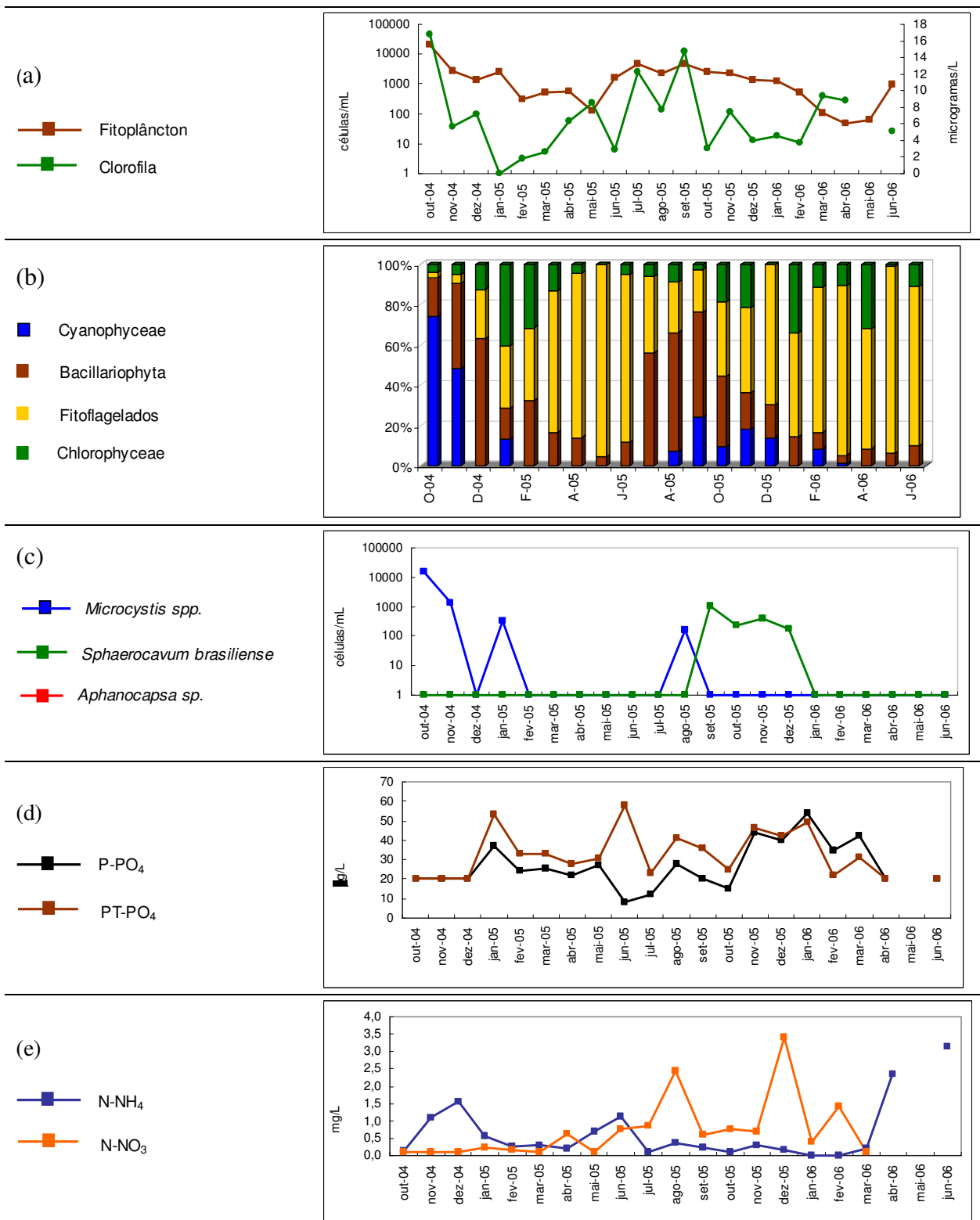


Figura 5.54 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 4** no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

Contudo, muitos trabalhos encontraram pouca evidência da importância da relação N:P na dominância das cianobactérias. É sugerido que mesmo quando é observado um aumento das cianobactérias em resposta a uma menor relação N:P, essa dominância poderá estar mais relacionada ao aumento da concentração de fósforo do que ao decréscimo da relação N:P (OLIVER e GANF, 2000).

Tabela 5.9 - Valores da relação N:P na profundidade de extinção do disco de Secchi das estações de amostragem – Vargem das Flores - MG.

Meses	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
janeiro-05	NR	209	81	45
fevereiro-05	113	108	55	39
março-05	53	25	38	34
abril-05	32	145	115	36
maio-05	148	33	82	66
junho-05	742	259	820	405
julho-05	316	165	273	174
agosto-05	259	45	383	291
setembro-05	141	76	86	92
outubro-05	167	35	161	130
novembro-05	844	182	98	49
dezembro-05	393	36	219	214
janeiro-06	148	34	52	18
fevereiro-06	67	30	286	22
março-06	21	19	22	15
abril-06	107	660	708	439
maio-06	192	124	161	161
junho-06	318	771	262	319
julho-06	901	NR	NR	NR
agosto-06	185	NR	NR	NR
setembro-06	510	NR	NR	NR
outubro-06	347	NR	NR	NR
novembro-06	658	NR	NR	NR
dezembro-06	16	NR	NR	NR
janeiro-07	2338	NR	NR	NR
fevereiro-07	45	NR	NR	NR
março-07	17	NR	NR	NR
abril-07	78	NR	NR	NR
maio-07	137	NR	NR	NR
junho-07	540	NR	NR	NR
julho-07	540	NR	NR	NR
agosto-07	747	NR	NR	NR
outubro-07	748	NR	NR	NR

Nota: NR: não realizado

5.2.4 Verificação da condição da qualidade da água do reservatório em termos da legislação ambiental

Para a verificação da condição da qualidade da água do reservatório foram analisados os valores dos parâmetros monitorados que constavam na Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama. Os limites especificados na resolução Conama foram avaliados para

cada um dos parâmetros em cada profundidade em todas as coletas mensais durante os três anos de estudo. Os percentuais de atendimento à resolução Conama 357/2005 estão apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Percentual de atendimento aos padrões de qualidade da água preconizados pela Resolução Conama 357/05 para águas doces de Classe 2.

Parâmetros	E1					E2				E3				E4			
	Sup.	Sec.	5m	10m	Fun.	Sup.	Sec.	5m	Fun.	Sup.	Sec.	5m	Fun.	Sup.	Sec.	5m	Fun.
OD > = 5,0mg/L	78	75	71	26	12	83	83	70	13	83	75	83	54	79	75	71	29
N-NH ₄ 3,7mg/L (pH < = 7,5)	100	100	100	100	100	100	100	100	94	100	100	100	100	100	100	100	100
N-NH ₄ 2,0mg/L (7,5 < pH < = 8,0)	100	95	96	93	100	92	88	86	86	86	82	81	77	71	85	79	92
N-NH ₄ 1,0mg/L (8,0 < pH < = 8,5)	83	100	100	**	**	57	67	100	**	83	100	100	100	100	80	100	**
N-NO ₂ 1mg/L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N-NO ₃ 10mg/L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P total 0,030mg/L	100	94	97	97	75	80	68	64	52	72	72	76	48	60	52	48	48
Turbidez 100uT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cloretos 250 mg/L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6,0 < pH < = 9,0	100	100	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ciano: 50.000 cel/mL	94	97	97	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cl-a: 30 mg/L	100	100	NR	NR	NR	100	100	NR	NR	100	100	NR	NR	100	100	NR	NR

Nota: Não foram medidos valores de pH < 8

NR – não realizado

Observa-se que na superfície grande parte dos parâmetros atendem em 100% aos padrões de qualidade estabelecidos pelo Conama. No entanto, a qualidade da água vai se deteriorando com o aumento da profundidade, comportamento observado em todas as estações.

Os valores de oxigênio dissolvido em todas as estações foram os que apresentaram os menores índices de atendimento ao padrão de 5,0 mg/L. Isto pode ser atribuído, em parte, à circulação da massa d'água observada no período seco que pode carrear maiores concentrações de compostos redutores presentes no fundo. Este comportamento pode ser visualizado com clareza nos gráficos do perfil de distribuição de OD apresentados na Figura 5.38. As concentrações de fósforo total medidos em todas as estações também apresentaram baixos índices de atendimento ao padrão de 0,30 mg/L. Os limites determinados para o nitrogênio amoniacal, na faixa de pH entre 7,5 e 8,0, tiveram o maior percentual de violação em praticamente todas as profundidades. A não conformidade das concentrações de amônia ocorreu sempre nos períodos chuvosos. Como esperado, a estação 4 que recebe a contribuição direta do ribeirão Betim apresentou os piores resultados, considerando as concentrações de nutrientes estabelecidas na Resolução Conama.

As violações ao padrão preconizado para cianobactérias da estação 1 aconteceram no período de ocorrência do gênero *Aphanocapsa*.

5.3 Análise de Agrupamentos

A análise de agrupamentos foi realizada numa tentativa de evidenciar os grupos de pontos similares, considerando as características limnológicas e sanitárias das quatro estações de monitoramento. Diante da heterogeneidade presente nas diversas profundidades, como evidenciado nas avaliações anteriores, optou-se por efetuar análises considerando as seguintes abordagens:

- Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades, nos períodos chuvoso e seco;
- Análise individual dos dados das quatro estações em cada profundidade, nos períodos chuvoso e seco.

5.3.1 Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades

A Figura 5.55 apresenta os dendogramas obtidos a partir das análises hierárquicas de agrupamento de todos os dados obtidos nas quatro profundidades das quatro estações. Observa-se que foi utilizada uma escala padronizada no eixo das ordenadas do dendograma, que considera o percentual relativo à razão entre a distância observada e a distância máxima dos dados. Pequenos coeficientes indicam que agrupamentos mais homogêneos estão sendo formados.

Avaliando-se o período chuvoso, as estações 2 e 3 apresentaram características semelhantes, formando o primeiro agrupamento, que considera as menores distâncias euclidianas ($(D_{link}/D_{max}) \times 100 < 85$), como pode ser visto na Figura 5.55. No período seco, as estações 3 e 4 foram associadas, seguindo um ordenamento que pode ter sido definido pelo nível de poluição, já que estas recebem a contribuição direta do córrego Água Suja e do ribeirão Betim, respectivamente.

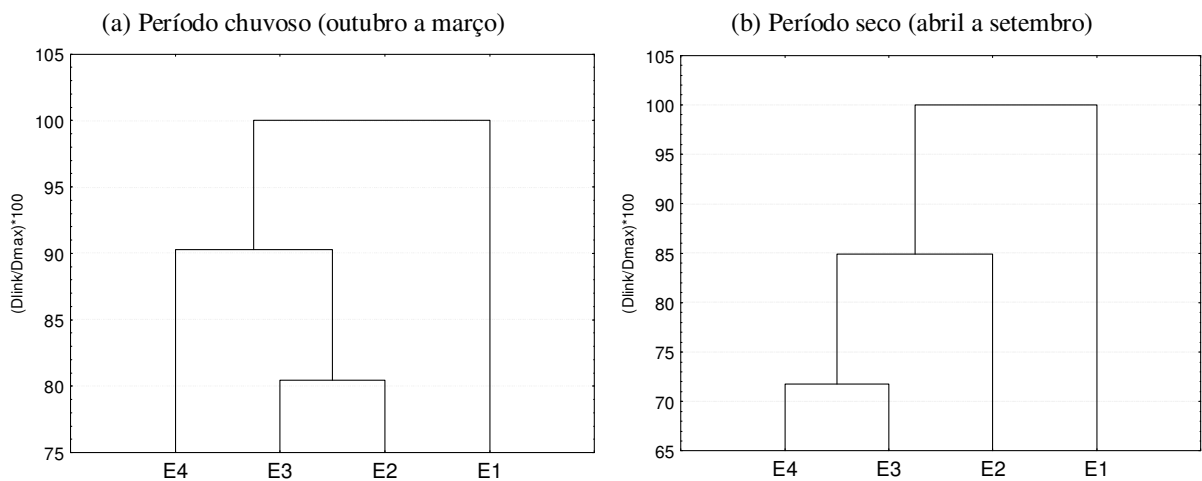


Figura 5.55 - Dendrograma das estações de amostragem distribuídos ao longo das profundidades, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante.

A Figura 5.56 mostra a localização dos agrupamentos no reservatório.

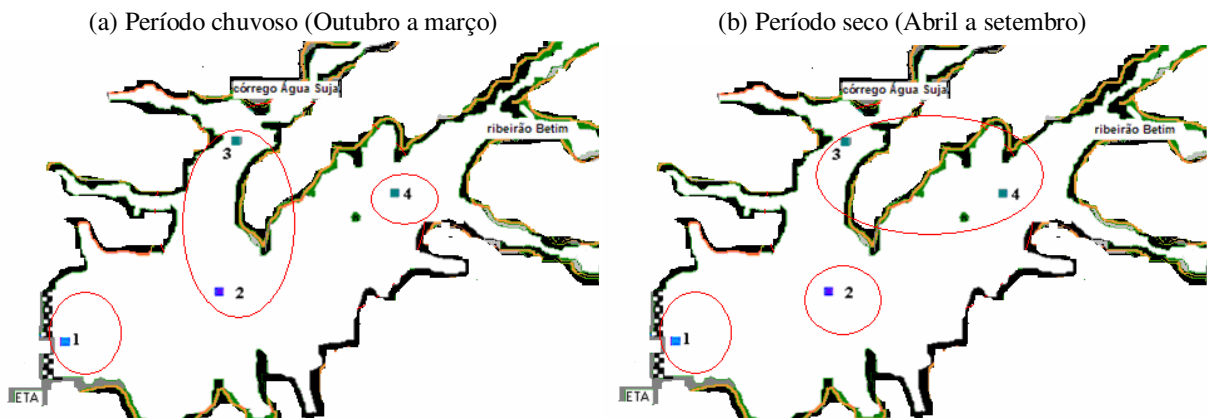


Figura 5.56 - Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando os períodos (a) chuvoso e (b) seco.

No entanto, numa distância euclidiana maior ($(D_{link}/D_{max}) \times 100 > 85$), verifica-se que a qualidade da água na região de afluência do ribeirão Betim (E4) é semelhante nas estações E2 e E3, considerando o período chuvoso, enquanto que a estação 1 continua isolada, provavelmente por apresentar menor impacto antropogênico e, portanto, melhor qualidade. As três estações (2, 3 e 4) mostram qualidade semelhante também no período seco, quando se considera a distância euclidiana maior (Figura 5.57).

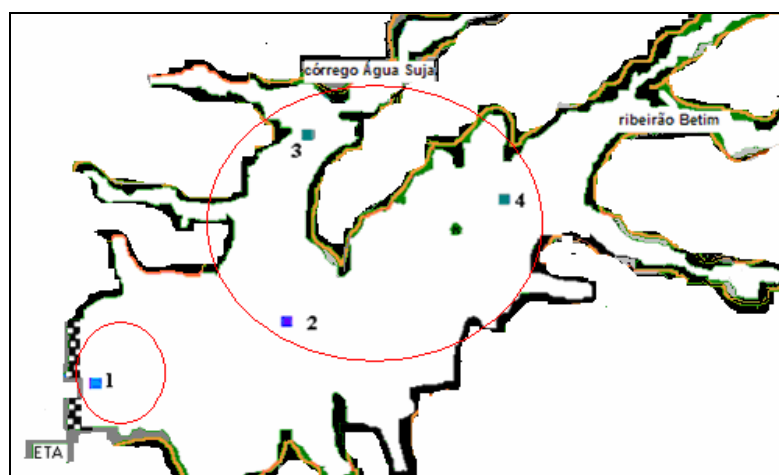


Figura 5.57 -Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando ambos os períodos numa distância euclidiana maior ($(D_{link}/D_{max}) \times 100 > 85$).

5.3.2 Análise de agrupamentos - Superfície

A Figura 5.58 apresenta os dendogramas obtidos a partir das análises hierárquicas de agrupamento para os pontos de amostragem distribuídos ao longo da superfície das quatro estações, nos períodos chuvoso e seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.

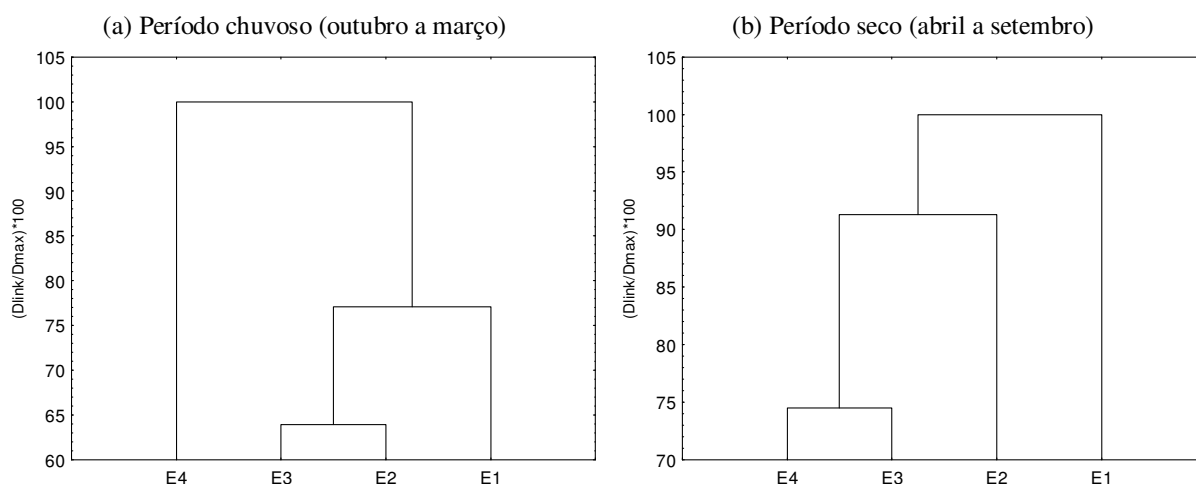


Figura 5.58 - Dendograma das estações de amostragem distribuídos ao longo da **superfície**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.

Os agrupamentos formados na superfície foram diferentes daqueles observados quando se considerou todas as profundidades. Aqui, a estação 4, no período chuvoso, apresentou características distintas de todas as outras, comportamento não observado quando se comparou estatisticamente as concentrações de todos os parâmetros individualmente (item 5.2.1). Uma

hipótese aventada para explicar essa diferença seria a influência do ribeirão Betim, principal contribuinte do reservatório, aumentada em função das chuvas do período. Já as estações 2 e 3 apresentaram a mesma similaridade observada nas análises estatísticas anteriores. Já no período seco, os mesmos agrupamentos foram observados quando se analisou todas as profundidades (Figuras 5.55 e 5.58).

5.3.3 Análise de agrupamentos - Secchi

A Figura 5.59 mostra os agrupamentos obtidos pelas estações de amostragem distribuídos ao longo da profundidade de Secchi, nos períodos chuvoso e seco.

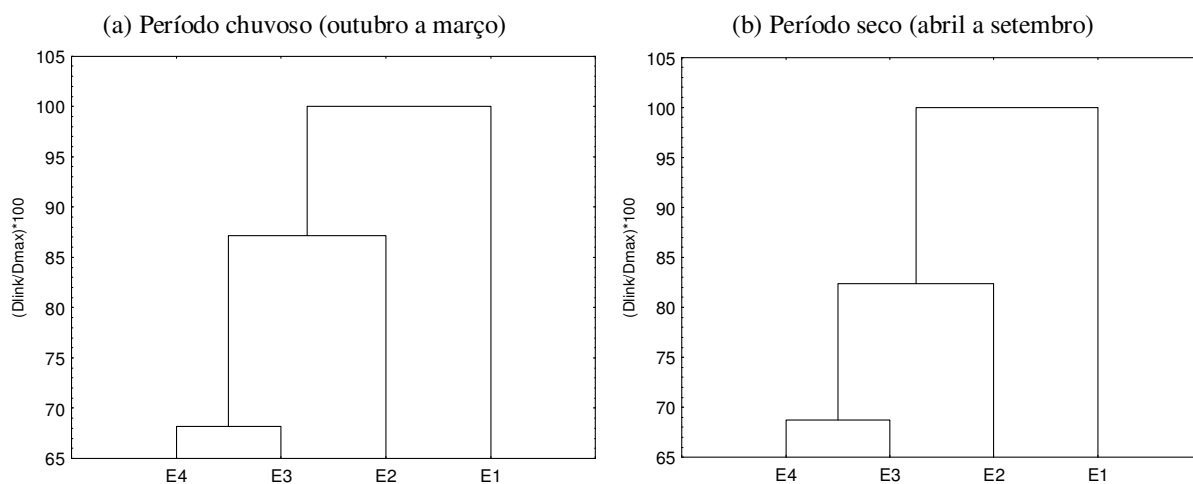


Figura 5.59 - Dendrograma das estações amostragem distribuídos ao longo da profundidade de **Secchi**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.

Na profundidade de Secchi quase nenhuma diferença foi observada nos agrupamentos quando foram analisados os períodos chuvoso e seco. Ressalta-se, ainda, que as associações foram idênticas àquelas observadas no dendrograma das estações de amostragem distribuídos ao longo de todas as profundidades, durante o período seco.

5.3.4 Análise de agrupamentos – 5 metros

Os dendogramas obtidos na análise de agrupamento para os pontos de amostragem a cinco metros são apresentados na Figura 5.60.

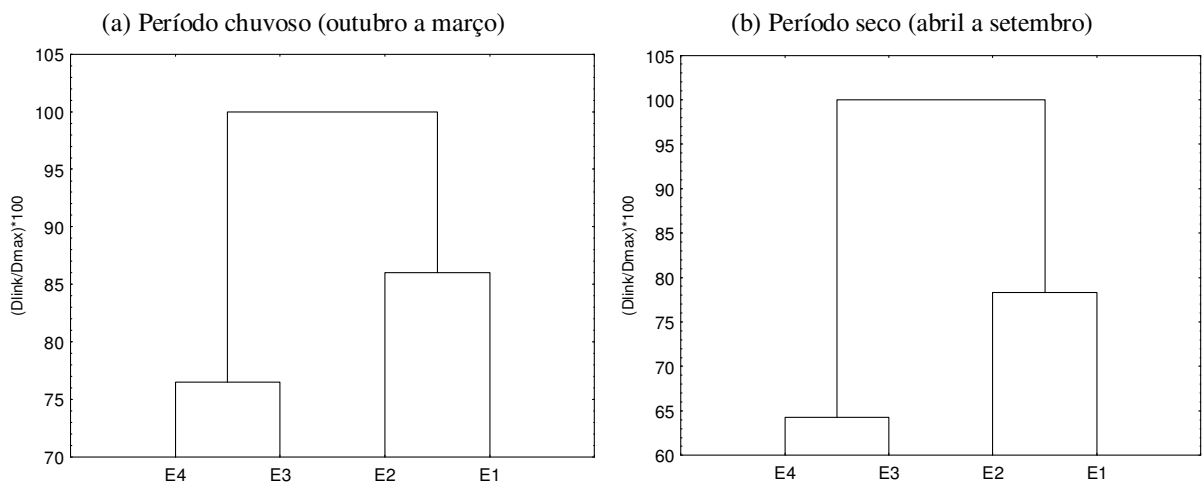


Figura 5.60 - Dendograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo da profundidade de **5 metros**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante.

Nesta análise foram observados agrupamentos semelhantes aos observados na avaliação anterior (para 5 metros). Merece destaque, no entanto, a similaridade das estações 3 e 4, ainda mais evidente no período seco.

5.3.5 Análise de agrupamentos - Fundo

A Figura 5.61 apresenta os dendogramas obtidos a partir das análises hierárquicas de agrupamento dos dados obtidos no fundo das quatro estações.

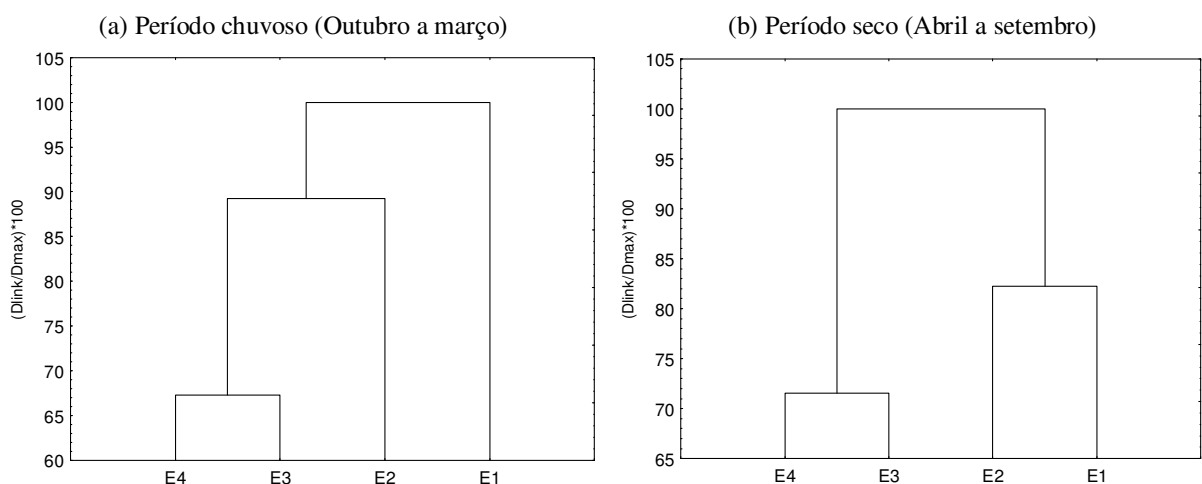


Figura 5.61 - Dendograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo do **fundo**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante.

O fundo do reservatório a estação 1, considerando o período chuvoso, mostra características completamente distintas das outras, como evidenciado nas análises estatísticas apresentadas no

item 5.2.1. Observou-se que a temperatura, concentração de OD, nitrito, alcalinidade e SST foram estatisticamente diferentes das outras estações. A maior profundidade da estação 1, ocasionando a estratificação mais definida da coluna d'água, foi provavelmente o fator determinante das diferenças observadas. No entanto, no período seco, as estações 1 e 2 foram agrupadas, ainda que a uma distância euclidiana maior que a observada para as estações 3 e 4. Isto pode ser atribuído tanto à circulação da massa d'água nesse período, quanto à profundidade das estações, maior nas estações 1 e 2 e menor nas E3 e E4.

As duas abordagens adotadas para as análises de agrupamento mostraram que a estação 1 apresenta comportamento diferenciado das demais, provavelmente por não sofrer influência direta da entrada de material alóctone. Em contrapartida, as estações 3 e 4 foram associadas em quase todas as profundidades, parecendo seguir um ordenamento possivelmente definido pelo nível de poluição, já que estas recebem a contribuição direta de córregos poluídos. Desta forma, pode-se evidenciar o processo de autodepuração do reservatório com melhoria da água no sentido montante para jusante.

5.4 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais também foi efetuada de forma conjunta para as quatro estações e individualmente para cada profundidade, numa tentativa de identificar os possíveis fatores bióticos e abióticos associados à ocorrência das cianobactérias no manancial.

Assim, a ACP foi aplicada aos dados para avaliar a associação entre 19 variáveis (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*), considerando os períodos chuvoso e seco separadamente.

5.4.1 Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades

Existem diversos critérios para identificar o número de CPs a ser mantido para entendimento da estrutura dos dados (Hair et al., 2005). Aqui foi aplicado o critério do teste *scree* para identificar o número ótimo de fatores que podem ser extraídos antes que a quantia de variância única comece a dominar a estrutura da variância comum. A Figura 5.62 exhibe os autovalores extraídos do estudo e pode ser observado que o ponto no qual o gráfico apresenta uma alteração na taxa de inclinação é indicativo do número máximo de fatores a serem extraídos. Os componentes

principais foram extraídos pela diagonalização da matriz de correlação e a Tabela 5.10 sumariza os resultados, incluindo os carregamentos (correlação de cada variável com o componente principal) e os autovalores (eigenvalues) de cada componente principal (CP). A quantidade de variância (isto é, informação) coberta por cada componente principal (também mostrada na Tabela 5.10) depende do valor relativo de seu autovalor com respeito à soma total dos autovalores.

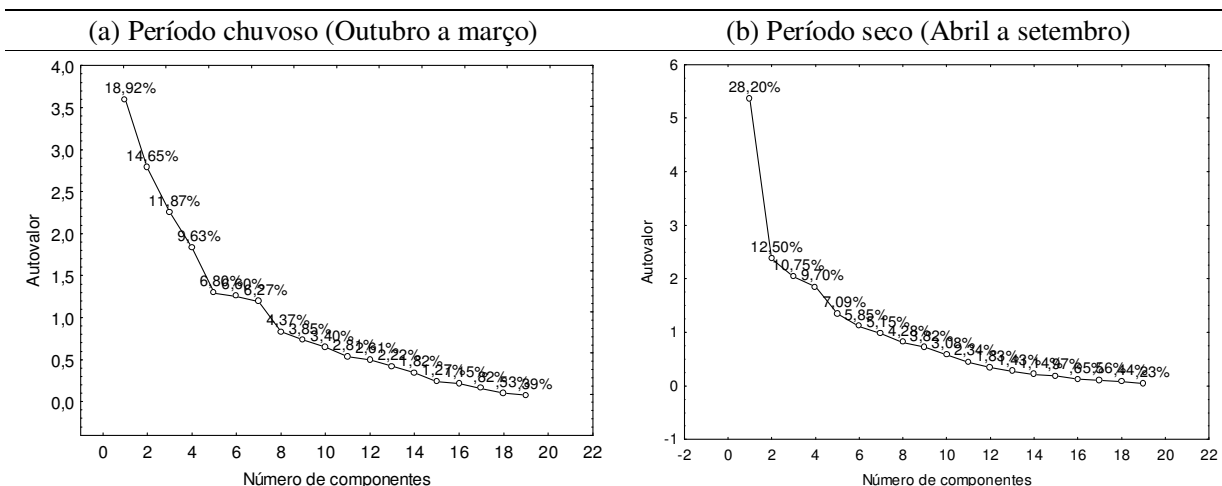


Figura 5.62 - Gráfico de autovalor para determinação do número de componentes principais pelo critério do teste scree, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

Portanto, os cinco fatores iniciais foram considerados qualificados para as análises referentes ao período chuvoso, sendo responsáveis pela explicação de cerca de 62% da variância ou informação contida no conjunto de dados originais. Para o período seco, os cinco fatores iniciais que foram considerados qualificados, explicaram cerca de 71% da variância total do dados.

O valor absoluto de cada carregamento (o sinal depende do algoritmo utilizado para cálculo) é um indicativo da participação das variáveis nos componentes principais (CP1 a CP5) e, na Tabela 5.11, as contribuições máximas alcançadas por cada variável original são apresentadas em **negrito**.

Tabela 5.11– Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas nas **quatro profundidades** nas quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período de chuva (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	-0,265	0,253	-0,576	0,489	0,201	0,627	0,356	-0,306	-0,188	-0,106
OD	0,614	0,121	-0,378	0,358	0,118	-0,749	-0,080	-0,113	-0,061	-0,431
N-NH4	0,261	0,063	-0,069	-0,531	0,554	0,394	-0,525	0,132	0,278	-0,201
N-NO3	-0,192	-0,723	-0,027	0,067	-0,102	-0,497	-0,396	0,442	-0,217	-0,283
P-PO4	-0,308	-0,122	0,588	0,322	0,439	0,301	0,379	0,359	-0,437	-0,204
P-PT	-0,453	-0,181	0,312	0,474	0,358	0,232	0,229	0,254	-0,406	0,155
Turb.	0,146	0,088	0,585	-0,232	0,133	0,598	0,434	0,408	0,195	0,261
Cor	-0,099	0,627	0,303	-0,271	-0,072	0,801	0,138	0,174	0,220	-0,169
Alc.	0,552	-0,353	-0,116	-0,386	0,231	0,226	-0,292	0,286	0,738	0,165
Cl	0,288	-0,607	-0,075	-0,150	-0,226	-0,438	-0,264	0,486	-0,350	0,266
Cond	-0,081	-0,829	-0,086	-0,060	0,046	-0,224	-0,026	0,664	-0,313	0,262
pH	0,324	0,156	-0,682	0,173	-0,032	-0,797	0,286	-0,073	0,079	0,136
SST	0,381	0,167	0,179	0,404	0,188	0,077	0,609	-0,033	-0,185	-0,412
Ciano	0,710	0,180	0,308	0,324	0,038	-0,260	0,673	0,367	0,341	0,228
Bac	0,850	-0,043	0,217	-0,018	0,051	-0,796	0,268	0,001	0,236	-0,003
Fito	0,232	-0,625	0,134	0,237	0,134	-0,718	-0,122	-0,035	-0,120	0,051
Chloro	0,655	-0,121	-0,036	0,245	-0,019	-0,474	0,085	0,207	0,373	-0,083
Zoo	0,112	0,094	-0,351	-0,314	0,558	0,190	-0,063	0,623	0,165	-0,637
Cl-a	0,588	0,132	0,374	0,047	-0,313	-0,666	0,498	-0,023	0,284	-0,210
Autovalores	3,60	2,75	2,30	1,80	1,29	5,36	2,37	2,04	1,84	1,35
% de variância explicada	18,93	14,49	12,13	9,47	6,79	28,20	12,50	10,75	9,70	7,09
% cumulativo de variância	18,93	33,42	45,55	55,02	61,81	28,20	40,70	51,45	61,15	68,24

Como pode ser visto pela Tabela 5.11, para os resultados referentes ao período de chuva, o componente principal 1 (CP1) explica 18,9% da variância e tem a contribuição das variáveis OD, alcalinidade, cianobactérias, Bacillariophyta, Chlorophyceae e clorofila *a*. O CP1 foi denominado componente “biomassa algal”, ainda que não contenha os fitoflagelados e o CP 2 de componente “matéria orgânica”. O CP2 explica 14,5% da variância e tem, principalmente, a participação positiva do parâmetro cor e negativa das variáveis N-NO₃, cloreto, condutividade e fitoplâncton. O CP3 (12,13% da variância) inclui o fosfato, turbidez e a contribuição negativa do pH. Já o CP4 (9,47%) é negativamente relacionado com a temperatura, fósforo total, SST e, positivamente, com o zooplâncton. Finalmente, o CP5 (6,8%) tem a contribuição negativa do N-NH₄.

Os resultados referentes ao período seco mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 28,2% da variância e tem a contribuição positiva das variáveis T, turbidez e cor, e negativa de OD, pH, Bacillariophyta, fitoflagelados, Chlorophyceae e clorofila *a*. O CP2 explica 12,50% da

variância e tem, principalmente, a participação positiva dos SST e da cianobactérias e negativa da amônia. O CP3 (10,75% da variância) inclui o Cl e condutividade. Já o CP4 (9,70%) é positivamente relacionado com a alcalinidade e negativamente relacionado com o ortofosfato e o fósforo total. Finalmente, o CP5 (7,09%) tem a contribuição negativa do zooplâncton.

A Figura 5.63 que se segue apresenta um gráfico de dispersão das duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis, o que facilita a visualização espacial da partição dos dados e reflete os principais agrupamentos do conjunto de dados.

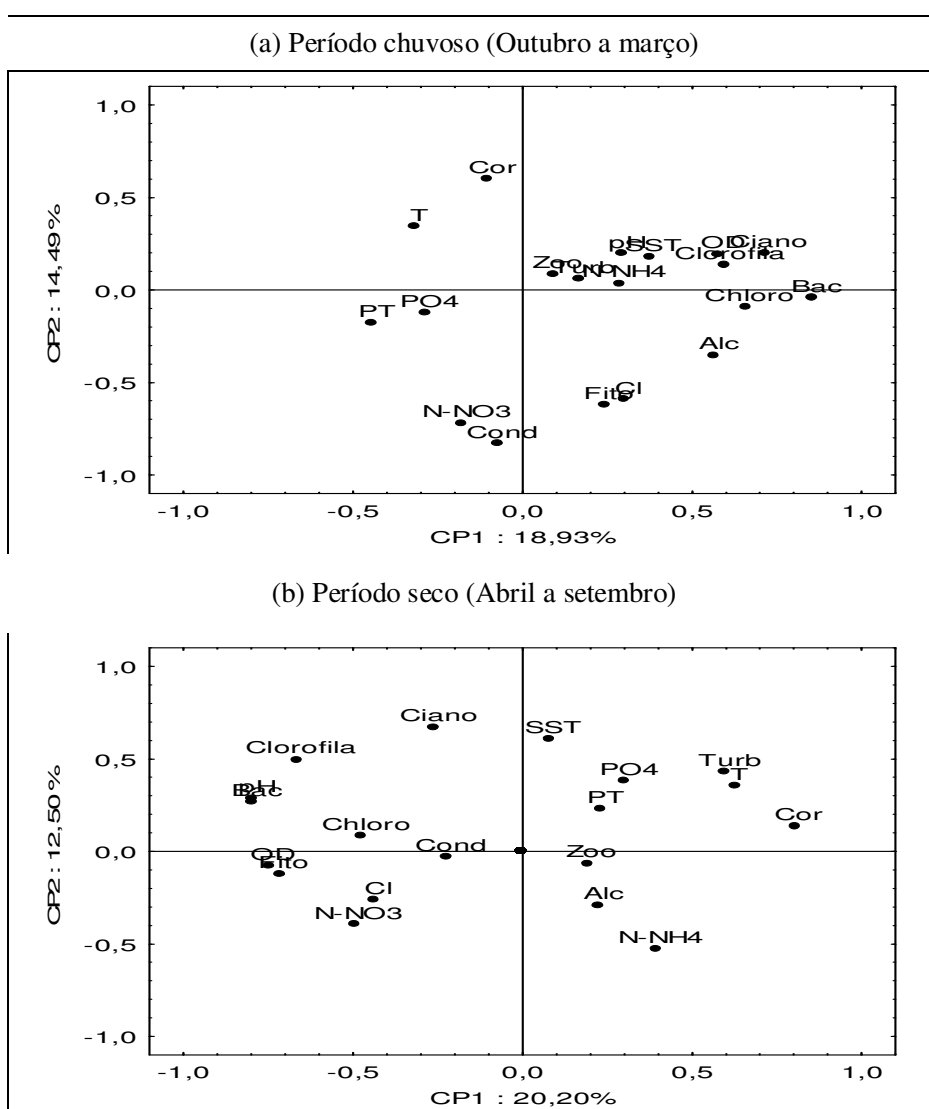


Figura 5.63 - - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos **nas quatro profundidades** nas quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

Destaca-se que a presença de cianobactérias no período seco ocorre nos meses de transição, ao final do período seco.

No período chuvoso as cianobactérias se mostraram positivamente relacionadas ao fitoplâncton (biomassa algal), comportamento confirmado pelos valores significativos dos coeficientes de Spearman entre Ciano e Bac (0,53), Ciano e Chloro (0,24), Ciano e Cl-a (0,21), apresentados na Tabela B1 do Apêndice B. Outras correlações positivas significativas foram observadas entre as cianobactérias e OD, NH₄, pH e SST. Foi observada, também, uma correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de nitrato, ortofosfato e fósforo total. A correlação negativa da ocorrência de cianobactérias com as concentrações de fósforo total foi encontrada, provavelmente, devido aos baixos valores de fósforo total medidos no últimos meses do monitoramento realizado apenas na estação 1.

No período seco, um novo cenário se apresentou, mostrando fortes associações do OD com os fitoflagelados (biomassa fitoplantônica predominante). Ressalta-se que as cianobactérias ocorreram apenas em alguns poucos meses neste período, não sendo pertinente extrair maiores conclusões.

5.4.2 Análise de componentes principais – Superfície

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na superfície das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.12.

Os resultados referentes à superfície no período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 18,98 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis OD, Alc, Ciano, Bac, Chloro, Cl-a, e negativa de PT. O CP2 explica 14,39 % da variância e tem, principalmente, a participação positiva da cor e negativa da NO₃, Cl, Cond e Fito. Já no período seco o CP1 explica 32,96 % da variância com contribuição positivas das variáveis T, Turb, e cor, e negativa do OD, CL, pH Bac, Fito e Cl-a. O CP2 explica 13,72 % com participação apenas negativa das variáveis do PT e das Ciano.

Também neste caso, o CP1 foi denominado componente “biomassa algal” e o CP2 de componente “matéria orgânica”. A correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de nitrato, ortofosfato e fósforo total se manteve.

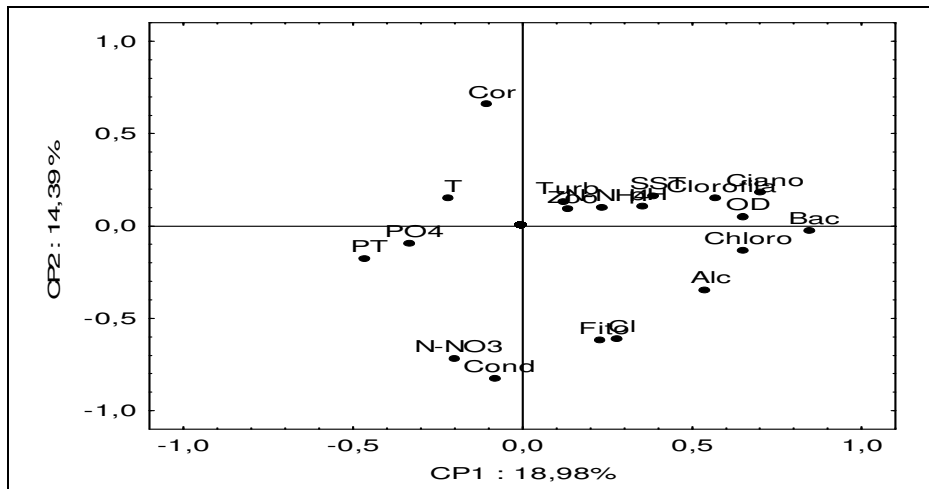
Tabela 5.12 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na **superfície** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	-0,216	0,148	0,607	0,441	0,230	0,583	0,041	0,672	-0,079	-0,180
OD	0,652	0,048	0,398	0,325	0,073	-0,784	0,357	0,030	-0,168	-0,114
N-NH4	0,237	0,095	0,043	-0,583	0,509	0,498	0,201	-0,581	0,071	0,070
N-NO3	-0,201	-0,723	-0,010	0,045	-0,071	-0,443	0,076	-0,445	-0,378	-0,318
P-PO4	-0,332	-0,100	-0,598	0,281	0,415	0,137	-0,459	0,230	-0,705	0,085
P-PT	-0,464	-0,178	-0,309	0,451	0,319	0,321	-0,696	-0,131	-0,131	0,239
Turb.	0,120	0,132	-0,576	-0,244	0,158	0,543	-0,741	-0,187	0,202	-0,078
Cor	-0,103	0,657	-0,261	-0,236	-0,129	0,943	-0,038	-0,057	-0,184	0,066
Alc.	0,542	-0,348	0,067	-0,423	0,208	0,198	-0,054	-0,307	0,667	-0,423
Cl	0,280	-0,611	-0,002	-0,207	-0,269	-0,574	-0,275	-0,086	0,004	-0,453
Cond	-0,081	-0,830	0,042	-0,097	0,052	-0,444	-0,227	-0,618	-0,258	0,174
pH	0,355	0,101	0,673	0,159	-0,050	-0,761	-0,219	0,389	0,122	0,065
SST	0,386	0,161	-0,167	0,421	0,272	0,262	-0,065	0,397	-0,554	-0,374
Ciano	0,702	0,179	-0,327	0,316	0,083	-0,348	-0,848	0,003	0,248	0,183
Bac	0,846	-0,031	-0,235	-0,009	0,093	-0,854	-0,244	0,025	-0,052	0,213
Fito	0,228	-0,622	-0,166	0,227	0,135	-0,798	0,303	-0,045	0,003	0,175
Chloro	0,653	-0,138	-0,006	0,226	-0,068	-0,371	-0,322	0,256	0,178	-0,748
Zoo	0,135	0,089	0,369	-0,305	0,565	0,152	-0,032	-0,659	-0,419	-0,425
Cl-a	0,574	0,146	-0,395	0,046	-0,348	-0,835	-0,167	0,000	-0,096	0,058
Autovalores	3,61	2,73	2,35	1,77	1,31	6,26	2,61	2,39	1,89	1,64
% de variância explicada	18,98	14,39	12,38	9,33	6,91	32,96	13,72	12,59	9,92	8,63
% cumulativo de variância	18,98	33,37	45,75	55,07	61,98	32,96	46,68	59,27	69,19	77,82

Já no período seco, novamente foi verificado que as cianobactérias estiveram separadas do fitoplâncton, provavelmente por terem ocorrido durante um pequeno intervalo de tempo no período (meses de transição).

A Figura 5.64 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas na superfície.

(a) Período chuvoso (Outubro a março)



(b) Período seco (Abril a setembro)

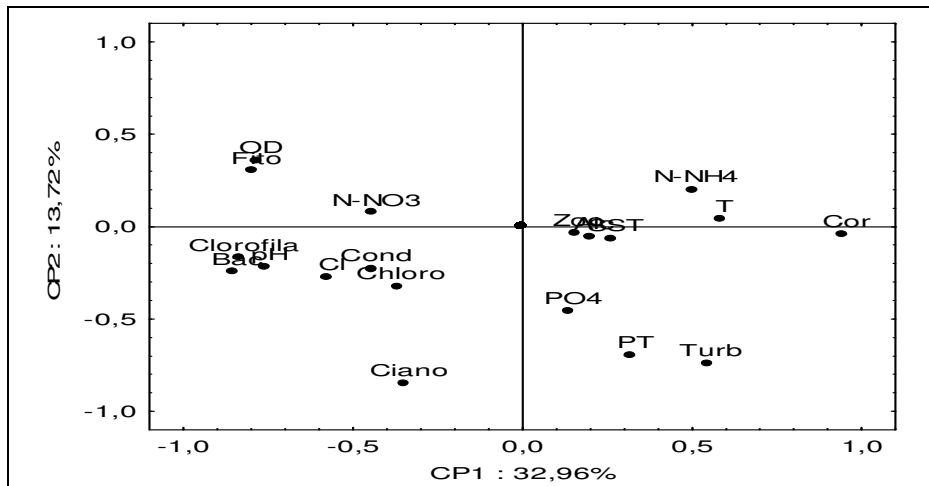


Figura 5.64 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na **superfície** das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

5.4.3 Análise de componentes principais - Secchi

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de Secchi das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na **profundidade de Secchi** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	-0,317	0,343	-0,531	-0,532	-0,255	0,677	0,308	0,306	0,200	-0,099
OD	0,578	0,195	-0,345	-0,403	-0,203	-0,731	0,008	0,072	0,065	-0,415
N-NH4	0,286	0,037	-0,109	0,464	-0,695	0,281	-0,468	-0,465	0,029	-0,313
N-NO3	-0,177	-0,721	-0,043	-0,095	0,276	-0,527	-0,419	-0,026	-0,432	-0,189
P-PO4	-0,286	-0,124	0,584	-0,360	-0,494	0,402	0,061	0,397	-0,426	-0,280
P-PT	-0,441	-0,178	0,324	-0,493	-0,420	0,168	-0,092	0,558	-0,062	-0,342
Turb.	0,168	0,059	0,586	0,228	-0,139	0,630	0,438	-0,030	-0,357	0,247
Cor	-0,101	0,600	0,319	0,306	-0,037	0,730	0,242	-0,296	-0,255	-0,046
Alc.	0,565	-0,353	-0,159	0,341	-0,288	0,235	-0,109	-0,796	-0,279	0,235
Cl	0,300	-0,591	-0,136	0,079	-0,085	-0,353	-0,583	0,293	-0,473	0,178
Cond	-0,073	-0,830	-0,110	0,017	-0,095	-0,156	-0,146	0,345	-0,726	0,383
pH	0,294	0,199	-0,685	-0,190	-0,059	-0,819	0,248	0,021	-0,006	0,071
SST	0,373	0,180	0,196	-0,374	0,211	-0,006	0,696	0,337	-0,110	-0,133
Ciano	0,713	0,201	0,295	-0,324	0,075	-0,218	0,721	-0,136	-0,412	0,155
Bac	0,854	-0,043	0,204	0,034	0,105	-0,769	0,323	-0,240	0,050	-0,013
Fito	0,241	-0,621	0,123	-0,246	0,043	-0,653	-0,095	0,172	-0,050	0,167
Chloro	0,656	-0,092	-0,068	-0,266	-0,103	-0,542	0,036	-0,333	-0,174	-0,200
Zoo	0,091	0,085	-0,338	0,324	-0,094	0,199	0,083	-0,270	-0,615	-0,590
Cl-a	0,599	0,136	0,351	-0,046	0,032	-0,581	0,693	-0,133	0,012	-0,115
Autovalores	3,59	2,78	2,26	1,83	1,29	5,08	2,79	2,13	2,03	1,28
% de variância explicada	18,92	14,65	11,87	9,63	6,80	26,73	14,70	11,22	10,71	6,76
% cumulativo de variância	18,92	33,57	45,44	55,08	61,88	26,73	41,43	52,66	63,37	70,12

A Figura 5.65 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas na profundidade de Secchi.

Na profundidade de extinção do disco de Secchi, os resultados referentes ao período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 18,92 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis OD, Alc, Ciano, Bac, Chloro (componente “biomassa algal”), sem contribuição das variáveis negativas. O CP2 explica 14,65 % da variância e tem, principalmente, a participação positiva da Cor e negativa da NO₃, Cl, Cond e Fito (componente “matéria orgânica”). Já no período seco o CP1 explica 26,73 % da variância com contribuição positiva das

variáveis T, Turb, e cor, e negativa do OD, NO₃, pH, Bac, Fito e Chloro. Enquanto o CP2 explica 14,70 % com contribuição positiva das variáveis SST, Ciano e Cl-a e negativa apenas do Cl.

Deve ser ressaltado que o comportamento das variáveis dos dois componentes principais dos períodos chuvoso e seco foi quase idêntico ao observado no mesmo período na análise ACP para todas as profundidades.

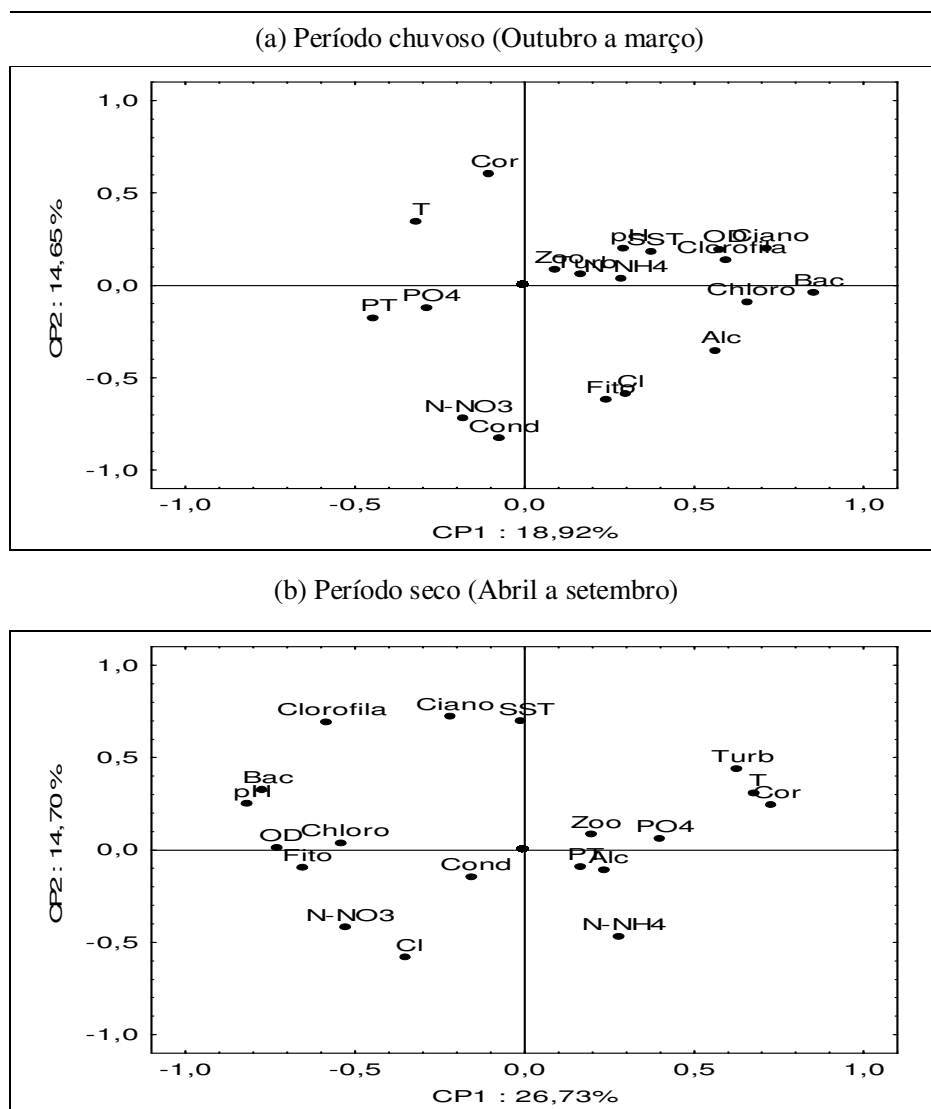


Figura 5.65 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na **profundidade de Secchi** das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

No período chuvoso as cianobactérias se mostraram também negativamente relacionadas ao fósforo total (coeficiente de Spearman = -0,26) e nitrato (-0,15), apresentados na Tabela B5 do

Apêndice B. No período seco fortes associações do OD com os fitoflagelados e com as Chlorophyceae também foram evidenciadas.

5.4.4 Análise de componentes principais – Cinco metros

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de 5 metros das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.14.

A Figura 5.66 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas na profundidade de cinco metros.

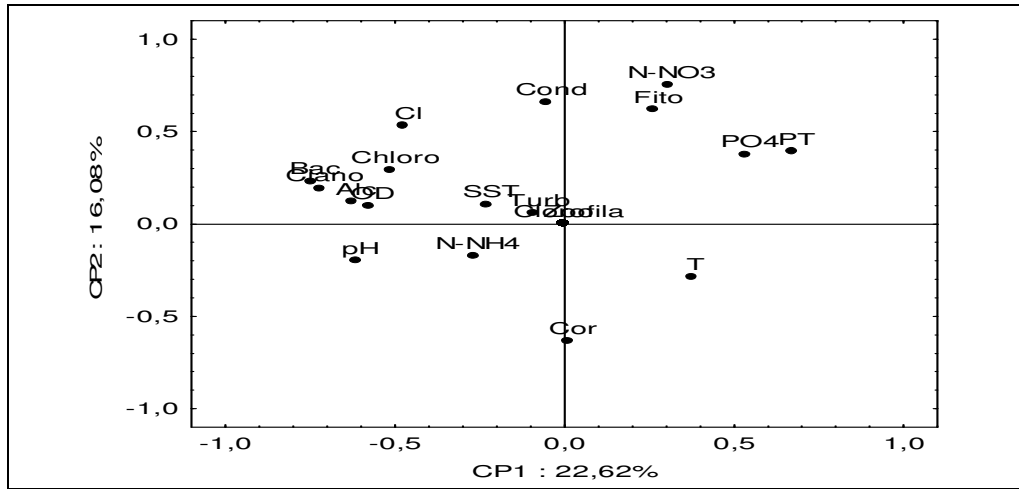
Na profundidade de 5 metros da superfície, os resultados referentes ao período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 22,62 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis PT e PO₄, e contribuição negativa das variáveis OD, alc, pH, Ciano, Bac, Chloro (componente “biomassa algal”). O CP2 explica 16,08 % da variância e tem participação positiva da NO₃, Cl, Cond e Fito (componente “matéria orgânica”) e negativa da cor. Já no período seco o CP1 explica 30,06 % da variância com contribuição positiva das variáveis T, Turb, e negativa do OD, pH, Bac, Fito e Chloro. Enquanto o CP2 explica 14,52 % com contribuição positiva das variáveis T e Turb e negativa apenas do OD, pH, Bac, Fito e Chloro.

Tabela 5.14 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de **5 metros** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	0,373	-0,288	-0,399	0,026	-0,502	0,660	-0,197	-0,269	0,139	-0,276
OD	-0,578	0,099	-0,425	-0,123	0,049	-0,767	-0,097	-0,098	-0,176	-0,210
N-NH4	-0,269	-0,171	0,420	0,548	-0,282	0,322	0,077	0,679	-0,099	-0,222
N-NO3	0,304	0,754	0,031	0,131	0,238	-0,364	0,609	-0,265	-0,172	0,147
P-PO4	0,534	0,376	0,354	-0,320	-0,342	0,498	0,196	-0,528	0,068	-0,174
P-PT	0,672	0,392	-0,048	-0,158	-0,301	0,090	0,611	-0,217	0,115	-0,278
Turb.	-0,089	0,057	0,558	-0,575	0,047	0,707	-0,499	-0,234	0,107	0,048
Cor	0,013	-0,633	0,152	-0,409	0,078	0,466	-0,591	0,191	0,100	-0,148
Alc.	-0,628	0,120	0,351	0,444	-0,126	0,036	-0,224	0,645	0,548	0,023
Cl	-0,474	0,532	-0,006	-0,148	0,012	-0,353	0,261	0,013	0,780	-0,018
Cond	-0,051	0,661	0,326	0,276	0,155	-0,400	0,113	-0,283	0,605	-0,460
pH	-0,617	-0,198	-0,216	0,081	-0,261	-0,670	-0,096	-0,326	0,242	0,516
SST	-0,228	0,105	0,203	-0,030	-0,660	0,145	-0,505	-0,654	-0,171	-0,200
Ciano	-0,719	0,192	0,199	-0,383	-0,100	-0,279	-0,612	-0,221	0,277	0,269
Bac	-0,749	0,232	-0,053	-0,268	-0,077	-0,830	-0,312	-0,140	-0,067	-0,198
Fito	0,264	0,619	-0,434	-0,005	-0,197	-0,817	-0,190	0,214	-0,210	-0,377
Chloro	-0,511	0,294	-0,514	-0,096	-0,003	-0,828	-0,359	0,135	-0,135	-0,095
Zoo										
Cl-a										
Autovalores	3,85	2,73	1,79	1,49	1,21	5,11	2,47	2,19	1,63	1,10
% de variância explicada	22,62	16,08	10,54	8,76	7,09	30,06	14,52	12,90	9,61	6,49
% cumulativo de variância	22,62	38,70	49,24	58,00	65,09	30,06	44,57	57,47	67,09	73,58

No período chuvoso as cianobactérias continuaram se mostrando negativamente relacionadas ao fósforo total (coeficiente de Spearman = -0,38), ortofosfato, (-0,20) e nitrato (-0,10), apresentados na Tabela B7 do Apêndice B. No período seco as mesmas associações do OD com os fitoflagelados, Chlorophyceae e com as Bacillariophyta também foram evidenciadas.

(a) Período chuvoso (Outubro a março)



(b) Período seco (Abril a setembro)

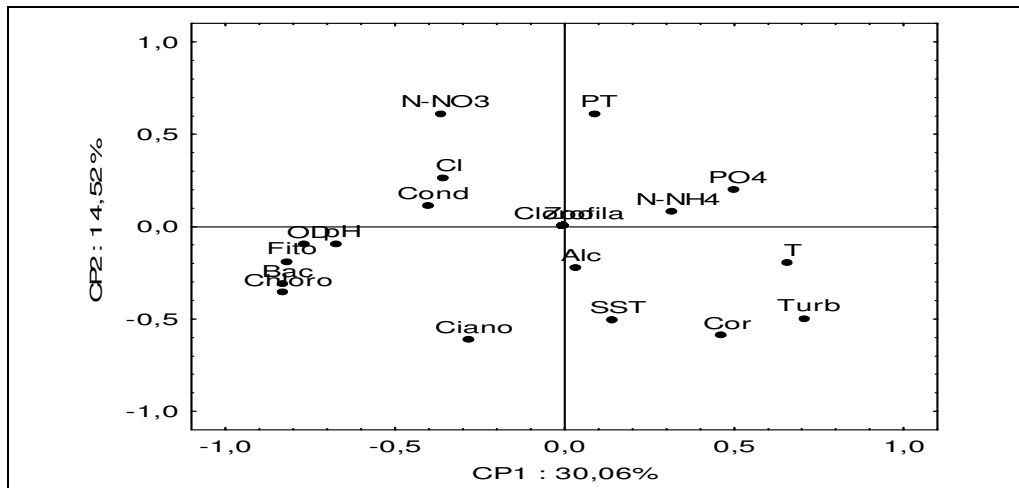


Figura 5.66 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na profundidade de **5 metros** das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

5.4.5 Análise de componentes principais - Fundo

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas no fundo das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas no **fundo** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	0,619	0,077	-0,167	-0,298	0,040	0,828	-0,088	-0,023	-0,113	0,089
OD	-0,850	0,036	0,082	-0,146	0,029	-0,809	-0,061	-0,081	0,164	-0,389
N-NH4	0,091	-0,321	-0,528	-0,478	-0,398	0,760	-0,017	0,062	0,445	-0,232
N-NO3	0,002	0,664	-0,048	-0,142	0,372	-0,632	-0,352	-0,064	0,183	0,423
P-PO4	0,494	0,514	0,265	-0,138	0,267	0,697	-0,374	-0,425	0,088	0,141
P-PT	0,605	0,526	0,222	-0,226	-0,180	0,527	-0,703	0,240	0,154	0,089
Turb.	0,234	-0,103	0,289	-0,707	0,045	0,530	0,049	0,626	-0,371	-0,201
Cor	0,477	-0,462	0,074	-0,381	0,044	0,744	0,246	0,446	0,058	-0,033
Alc.	-0,315	-0,547	-0,442	-0,252	0,167	0,498	-0,127	-0,121	0,347	-0,639
Cl	-0,343	0,319	-0,597	0,014	0,229	-0,034	-0,810	-0,357	0,058	-0,085
Cond	0,034	0,426	-0,783	-0,068	0,174	0,380	-0,769	0,166	-0,186	-0,118
pH	-0,569	-0,174	0,252	-0,372	0,365	-0,648	0,091	-0,325	-0,112	-0,412
SST	0,388	-0,364	-0,007	0,096	0,686	0,430	0,263	-0,036	0,186	0,337
Ciano	-0,636	-0,291	0,217	0,004	0,233	-0,012	-0,346	-0,164	-0,781	-0,054
Bac	-0,855	-0,060	0,053	0,007	-0,080	-0,733	-0,107	0,375	0,074	-0,057
Fito	-0,651	0,514	0,028	-0,317	-0,068	-0,584	-0,421	0,305	0,301	0,206
Chloro	-0,713	0,356	0,164	-0,192	-0,117	-0,617	-0,295	0,628	0,029	-0,110
Zoo										
Cl-a										
Autovalores	4,76	2,54	1,83	1,43	1,20	6,17	2,57	1,78	1,36	1,23
% de variância explicada	28,03	14,94	10,76	8,40	7,06	36,31	15,11	10,45	7,98	7,26
% cumulativo de variância	28,03	42,96	53,73	62,12	69,18	36,31	51,42	61,87	69,84	77,11

A Figura 5.67 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas no fundo.

Na profundidade a um metro do fundo, os resultados referentes ao período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 28,03 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis T, PT e cor, e contribuição das variáveis negativas OD, pH, Ciano, Fito, Chloro (componente “biomassa algal”). O CP2 explica 14,94 % da variância e tem participação positiva

da NO_3 e PO_4 , e negativa da alcalinidade. O componente “matéria orgânica”, presente nas outras profundidades, não pode ser identificado aqui.

Já no período seco o CP1 explica 36,31 % da variância com contribuição positiva das variáveis T, PO_4 , cor e SST, e negativa do OD, NO_3 , pH, Bac, Fito e Chloro. Enquanto o CP2 explica 15,11 % com contribuição apenas negativa do PT, Cl, condutividade.

No período seco associações do OD com os fitoflagelados, Chlorophyceae, Bacillariophyta e com NO_3 também foram percebidas.

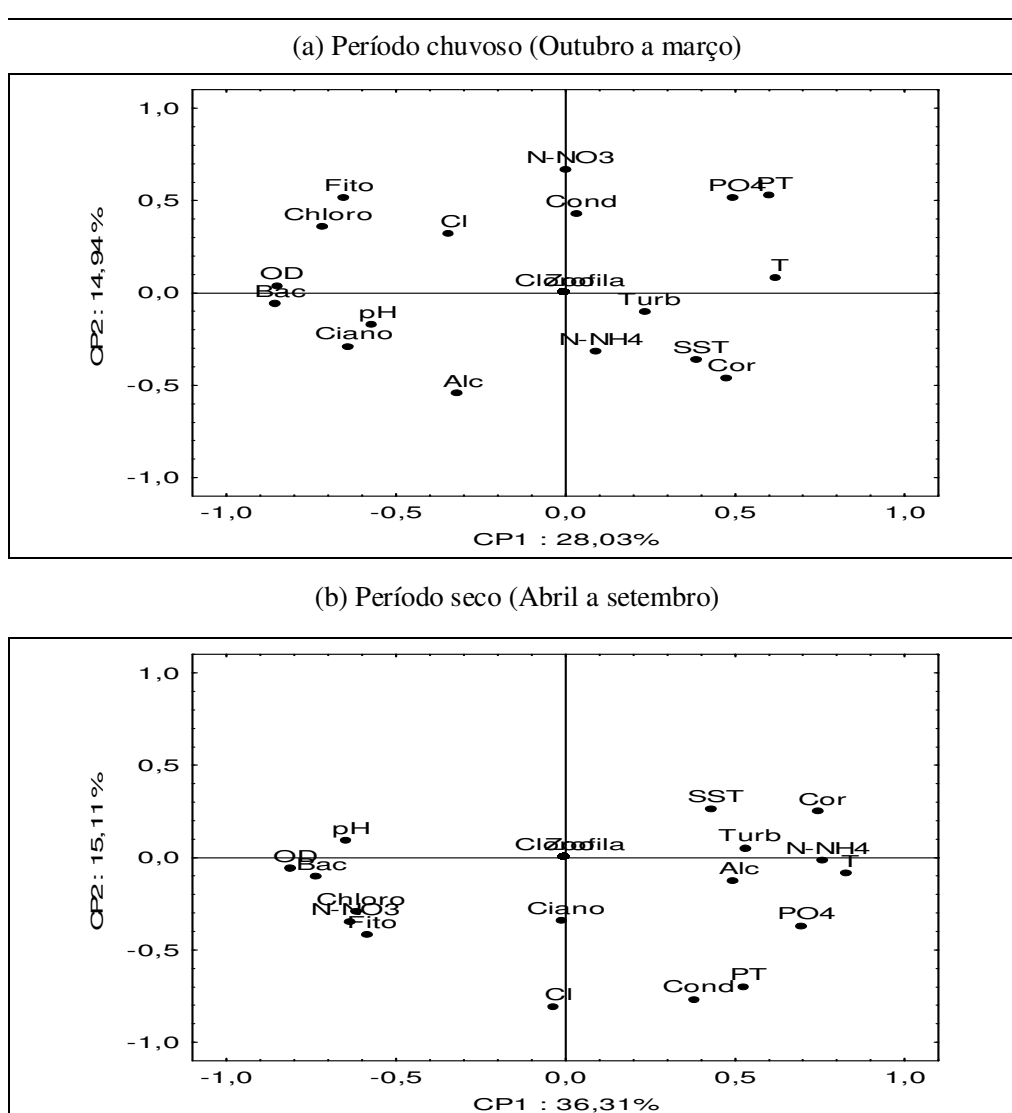


Figura 5.67 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos no fundo das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

Através da análise de componentes principais pode-se observar que no período de maior ocorrência de cianobactérias (período chuvoso), o grupo esteve sempre relacionado aos outros componentes do fitoplâncton pertencentes às classes Bacillariophyta e Chlorophyta, além de ter sido percebido um padrão de correlação negativa com o ortofosfato e o fósforo total em todas as profundidades.

Uma hipótese para se explicar a inesperada correlação negativa da ocorrência das cianobactérias com o fósforo total, pode estar relacionada aos baixos valores de fósforo total encontrados durante o predomínio da espécie picoplânctônica, *Aphanocapsa* sp, no último período de ocorrência do grupo (Figura 5.51). Uma vez que a biomassa do picoplâncton pode ser pouco representativa e estando o fitoplâncton representado em sua maioria por essa espécie (por exemplo, em dezembro 2006), os valores baixos de fósforo total versus elevado número de células de cianobactérias, poderiam indicar uma relação negativa. Contudo ao se analisar os valores de clorofila-a (também Figura 5.51) observa-se que estes se encontravam elevados. Desta forma, levanta-se a possibilidade de erro analítico, embora todas as análises dos nutrientes tenham sido realizadas em triplicata com controle da qualidade dos reagentes e soluções utilizados.

A profundidade de extinção do disco de Secchi mostrou resultados que parecem ser representativos das relações existentes no ambiente. Desta forma, parece ser plausível apontar como importante para o estudo da dinâmica das cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores, o monitoramento dos parâmetros bióticos e abióticos nessa profundidade.

5.5 Estudos genéticos e investigação da toxicidade das cianobactérias

Os resultados do estudo genético e da investigação da toxicidade das cianobactérias isoladas do manancial são apresentados a seguir contendo a caracterização molecular, a filogenia e a avaliação do potencial de biossíntese de metabólitos secundários e da toxicidade dos isolados.

5.5.1 Estudo genético

A extração do DNA dos 15 isolados das cianobactérias e do material do seston coletado no período de ocorrência das cianobactérias em 2005 foi realizada adequadamente, tendo sido obtido material suficiente e de qualidade para a realização dos ensaios de amplificação por PCR. Porém, não foi possível extrair o DNA do material proveniente da floração de 1999. Apesar de terem sido tentadas diferentes metodologias de extração, foram obtidos apenas fragmentos de DNA. A provável ruptura das células durante a liofilização pode ter sido a causa da degradação do material genômico.

O termo isolados foi empregado, preferencialmente à cepas ou linhagens, por haver a possibilidade das colônias isoladas serem morfotipos clonais, uma vez que foram isoladas em um mesmo período (setembro e novembro de 2005) de amostras compostas. Contudo, algumas diferenças foram observadas tanto nas seqüências obtidas nos ensaios de amplificação da PCR quanto na investigação da toxicidade (item 5.52). Para melhor identificação dos 15 isolados, estes foram denominados sequencialmente VF1 a VF 15.

5.5.1.1 Caracterização molecular - Filogenia

Para a identificação molecular dos isolados foram utilizadas as seqüências da porção 16S do DNAr e das porções *cpcA* e *cpcB*, incluindo o espaço intergênico(*cpcBA*-IGS), do operon da ficocianina. A escolha dessas duas abordagens permitiu maior segurança na identificação das espécies uma vez que aliou duas porções do genoma que em conjunto possuem variações suficientes em suas seqüências para separar espécies próximas relacionadas (NEILAN *et al*, 1995).

Os resultados das análises Blast mostraram que as seqüências do operon da ficocianina dos 15 isolados apresentaram entre 97 e 99% de identidade com seqüências de diferentes espécies do gênero *Microcystis* (*M. aeruginosa*, *M. ichthyoblabe*, *M. flos-aquae*, *M. wesenbergii*, *M. viridis* e

M. novacekii). Essa similaridade encontrada para os 15 isolados indica que a princípio eles fazem parte do gênero *Microcystis*.

Da mesma forma, as análises Blast utilizando o gene da porção 16S do DNAr apresentaram resultados superiores a 98% de similaridade, entre a identidade das seqüências dos 15 isolados e as seqüências das diferentes espécies de *Microcystis* publicadas no GenBank.

Através do emprego da taxonômica clássica, as cianobactérias isoladas e cultivadas em laboratório foram classificadas como pertencentes à espécie *Sphaerocavum brasiliense* (AZEVEDO e SANT'ANNA, 2003). Embora na quantificação do fitoplâncton durante o período de isolamento das cianobactérias (setembro e novembro de 2005) tenha sido observada a presença de espécies do gênero *Microcystis* (Figuras 5-50c a 5-53c), após o isolamento e cultivo em laboratório, todos os isolados foram identificados como sendo *Sphaerocavum brasiliense*. (Figura 5.68)

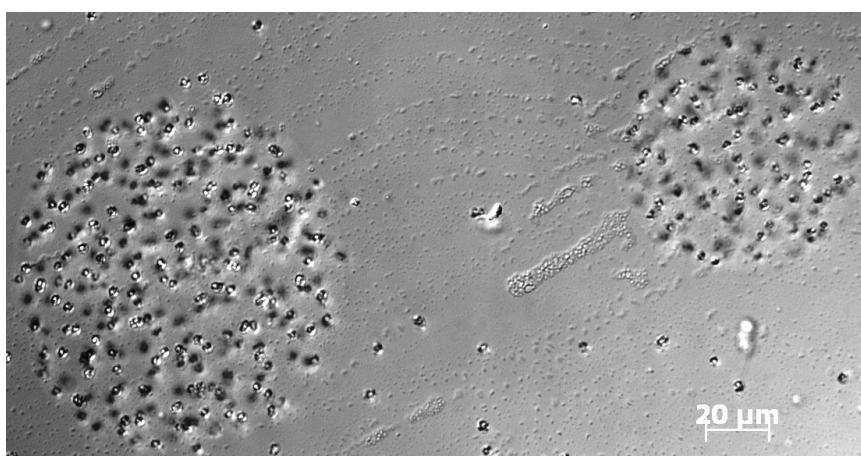


Figura 5.68- Colônias do cultivo de *Sphaerocavum brasiliense* isoladas do manancial de Vargem das Flores/MG.

Na construção da árvore filogenética foram usadas seqüências publicadas no GenBank, (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). A árvore foi enraizada usando como grupo externo a seqüência de nucleotídeos da porção 16S DNAr da cepa *Nostoc* sp PCC7120. As linhagens de cianobactérias do gênero *Microcystis* foram escolhidas no intuito de abranger espécies diferentes.

Analisando-se a árvore filogenética das seqüências da porção 16S do DNAr (Figura 5.69), observa-se que os isolados identificados como *Sphaerocavum brasiliense* não apresentaram

distâncias das diferentes espécies de *Microcystis*, com agrupamento único formado numa reamostragem de 85 %. Destaca-se ainda o agrupamento monofilético da espécie *M. ichthyoblabe* OBB35S01 com os 15 isolados.

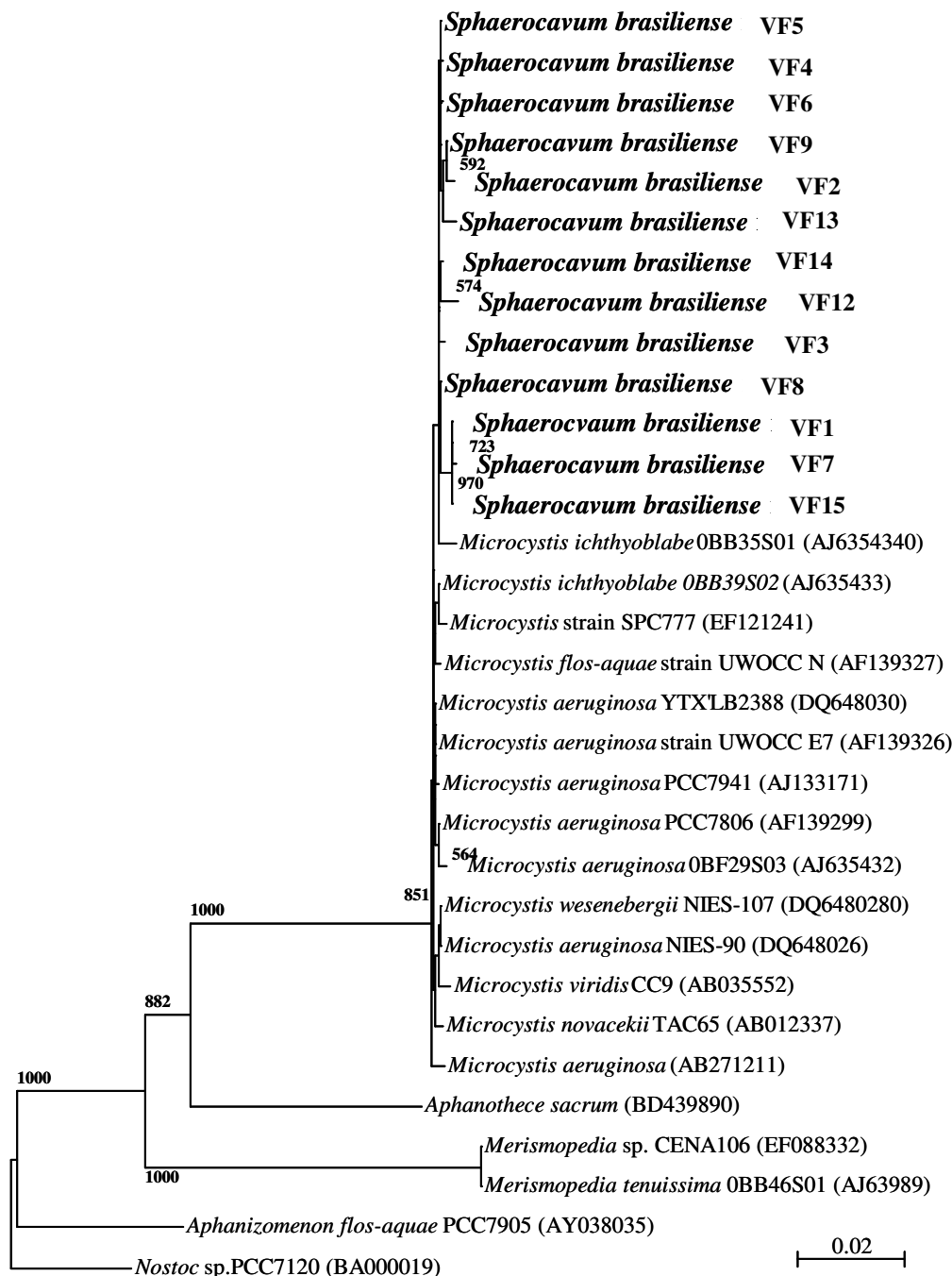


Figura 5.69 - Árvore filogenética da porção 16S DNAr dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados nos clados

Contudo, torna-se importante ressaltar que os isolados encontraram-se todos agrupados conjuntamente, podendo indicar alguma diferenciação, mesmo que pequena, dessa porção do genoma. Além disso, os isolados foram agrupados com distâncias muito pequenas entre si, podendo indicar a existência de formas clonais entre os mesmos.

As seqüências dos isolados VF10 e VF11 não foram incluídas na árvore filogenética da Figura 5.69 por não apresentarem boa qualidade, indicando que o DNA possivelmente estava contaminado.

Ao contrário do encontrado no presente estudo, no trabalho de Silva (2006) sobre a caracterização e identificação molecular de diferentes espécies brasileiras de cianobactérias, as seqüências do espaço intergênico do operon da ficocianina (*cpcBA-IGS*) da cepa de *S. brasiliense* SPC484 não mostrou identidade com nenhuma das seqüências do GenBank e na árvore filogenética ficou próxima a oito espécies diferentes de cianobactérias incluídas nos gêneros *Nostoc*, *Aphanizomenon* e *Tolipothrix*.

Desta forma, embora as características morfológicas das cianobactérias utilizadas nesse estudo enquadrem na descrição da espécie *Sphaerocavum brasiliense* (AZEVEDO e SANT'ANNA, 2003), os resultados da caracterização molecular indicam que os isolados fazem parte do gênero *Microcystis* e poderiam, possivelmente, serem apenas caracterizados como uma nova espécie dentro do gênero.

5.5.1.2 Investigação do potencial de biossíntese de microcistinas e metabólitos secundários

Para estimar o potencial de biossíntese de microcistinas e metabólitos secundários dos isolados foram realizados ensaios por PCR com diferentes nucleotídeos iniciadores (“primers”), tendo como seqüências alvo os genes pertencentes ao agrupamento da síntese das microcistinas representado na Figura 5.70.

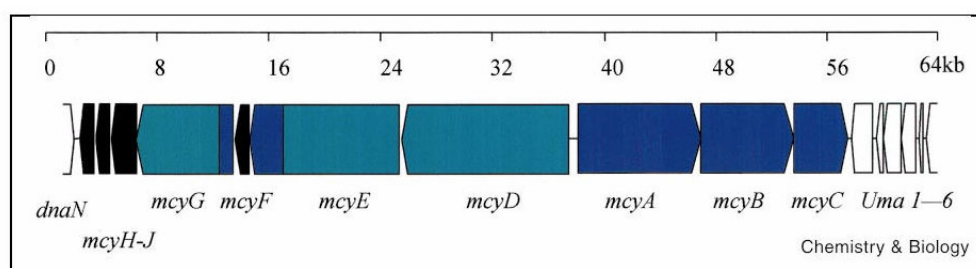


Figura 5.70 - Esquema do agrupamento de genes responsáveis pela síntese das microcistinas
Fonte: TILLET *et al*, 2000

A caracterização desse agrupamento foi realizada por Tillett *et al.* (2000) utilizando o genoma da *Microcystis aeruginosa* 7806 produtora de microcistina-LR e a inativação ou ausência de parte dos genes, como por exemplo, do *mcyB*, pode resultar na perda da capacidade de produção da microcistina.

Os resultados positivos obtidos nos ensaios da reação em cadeia da polimerase (PCR) na tentativa de identificação da presença dos genes da síntese das microcistinas estão apresentados no Quadro 5.17. Pode-se observar que os resultados da amplificação, pelos diferentes iniciadores testados, variaram entre os isolados.

Quadro 5.17 - Resultados positivos das reações em cadeia da polimerase (PCR) para os iniciadores testados

Isolados/biomassa	Iniciadores								
	<i>mcyA</i>	<i>mcyB</i>	<i>mcyD</i>	<i>mcyE</i>	<i>mcyG</i>	<i>mcyH</i>	<i>mcyI</i>	MTF2	DK
VF 1		X						X	X
VF 2		X						X	X
VF 3		X	X	X	X			X	X
VF 4	X	X	X		X			X	X
VF 5	X	X		X	X			X	X
VF 6		X	X	X	X			X	X
VF 7		X	X		X			X	X
VF 8		X			X			X	X
VF 9		X			X			X	X
VF 10		X			X			X	X
VF11		X			X			X	X
VF 12		X			X			X	X
VF 13		X	X		X			X	X
VF 14		X			X			X	X
VF 15		X			X			X	X
Seston 2005	X	X		X	X	X	X		

Nota: - X indica produto da amplificação verificado pela presença de banda em gel de agarose.
 - Controle positivo das reações: DNA da cepa *M. aeruginosa* 7806

Uma vez que todos os ensaios foram realizados nas mesmas condições para todos os isolados, parece que a variação observada pode indicar a presença de diferenças nas seqüências dessa porção do genoma entre os isolados.

Importante ressaltar que algumas das seqüências de nucleotídeos amplificadas por PCR não apresentaram o número exato de pares de bases esperado, como foi o caso das bandas obtidas para o gene *mcyG* (seqüências maiores) e *mcyD* (seqüências menores). Um exemplo seria a análise Blast das seqüências obtidas para o isolado VF5. Verificou-se que apenas parte das seqüências foi similar às dos genes alvo. No caso do *mcyG*, embora o produto da amplificação

tenha sido maior que o esperado, apenas 15% da seqüência apresentou homologia (“query coverage”) com as seqüências de *Microcystis* do banco de dados do GenBank. E, desses 15%, somente 84% da seqüência foi identificada como sendo do gene *mcyG*.

Por outro lado, a análise Blast para a identificação dos resultados encontrados para o gene *mcyE* indicou a similaridade de 99% para o isolado VF3, 92% para os isolados VF5 e VF6, e 95% para o material do seston de 2005. As percentagens de identidade apresentadas foram todas relacionadas às seqüências de *Microcystis* depositadas no GenBank.

Já na avaliação da identidade das seqüências obtidas utilizando-se os iniciadores para o gene *mcyA* (Blast), não houve nenhuma similaridade para o isolado VF4, a seqüência do isolado VF5 apresentou apenas 7% de similaridade, enquanto a seqüência da biomassa do seston 2005 obteve 90% de identidade com as seqüências do gene *mcyA* de *Microcystis* do GenBank. Evidenciando dessa forma que apesar do sucesso na amplificação com obtenção de produtos da PCR no tamanho correto, os iniciadores utilizados não amplificaram a porção do genoma correspondente às seqüências alvo (genes da síntese de microcistina).

A presença da seqüência para síntese dos peptídeos não ribossômicos (NRPS) e de policetídeos (PKS) também foi investigada através do emprego dos oligonucleotídeos degenerados MTF e DK, respectivamente (Quadro 5.17). Nas células das cianobactérias, assim como em outros microrganismos, os módulos NPRS e PKS estão envolvidos em diferentes etapas de produção dos metabólitos secundários naturais (toxinas e outros compostos).

Desta forma, a análise dessas seqüências permite inferir sobre quais potenciais metabólitos secundários podem ser produzidos pelas cianobactérias. No presente estudo, apesar de terem sido obtidos resultados positivos para a presença desses genes em todos os isolados, apenas os produtos do VF3 e do VF6 foram seqüenciados. Essa escolha baseou-se no fato desses dois isolados terem apresentado o maior número de resultados positivos (*mcyB*, *mcyD*, *mcyE* e *mcyG*) na investigação da presença dos genes da síntese de microcistinas (Quadro 5.17). Os resultados da análise Blast (identidade das seqüências no GenBank) indicaram uma identidade máxima de 89% (VF3) e 87% (VF6) com a seqüência para síntese de cianopeptolina da cepa *Microcystis* sp. NIVA-CYA 172/5.

As cianopeptolinas são uma classe de peptídeos cíclicos de estrutura química variável sintetizadas não ribossomicamente, assim como as microcistinas. Podem ser produzidas por cepas de diferentes gêneros de cianobactérias, incluindo as produtoras de microcistina, demonstrando a coexistência dos dois agrupamentos de genes para a síntese desses peptídeos (microcistina e cianopeptolina) em um mesmo genoma (WELKER e von DÖHREN, 2006).

Analisando-se os resultados encontrados na amplificação do DNA extraído da biomassa do seston coletado em 2005, além do elevado percentual de identidade apresentado em relação aos outros genes, destaca-se a presença dos genes *mcyH* e *mcyI*, não encontrados nos isolados. Como o isolamento das colônias foi feito de forma aleatória na amostra do seston, não foi possível garantir o isolamento de todas as cianobactérias ali presentes. Com esse resultado, pode-se confirmar que a variabilidade da população de cianobactérias do seston é maior do que a apresentada pelos 15 isolados obtidos, como era esperado.

O emprego de iniciadores desenvolvidos para linhagens encontradas em ambientes temperados para amplificar seqüências de cepas brasileiras, pode explicar a razão pela qual os iniciadores utilizados nesse estudo, mesmo amplificando as seqüências, não geraram produtos correspondentes às seqüências alvo.

Algumas hipóteses poderiam ser levantadas para explicar esses resultados tais como, a recombinação entre os genes (MIKALSEN *et al.*, 2003), a inativação dos promotores da biossíntese de microcistinas (CHRISTIANSEN *et al.*, 2006), ou até mesmo a inativação dos genes por mutação (Kaebernick *et al.* 2001). Porém, os resultados obtidos nesse estudo não forneceram dados suficientes para explicar a causa da presença de apenas parte dos genes de síntese da microcistina.

Para avaliação da similaridade entre as seqüências do gene *mcyB* dos 15 isolados foi construída uma árvore filogenética com as seqüências de aminoácidos correspondentes, obtidas através da tradução das respectivas seqüências de nucleotídeos produto da PCR (Figura 5.71).

Assim como na árvore filogenética da porção 16S do DNAr (Figura 5.69), observa-se que o agrupamento dos isolados obedeceu ao mesmo padrão de distribuição. De forma geral, não foram identificadas grandes distâncias entre os isolados, ou mesmo deles com as diferentes espécies de *Microcystis*. No entanto, um maior número de subclados (ex.: VF5 e VF11) foi formado,

destacando-se maior variabilidade entre as seqüências correspondentes ao gene *mcyB* dos 15 isolados. Destaca-se, principalmente, a distância observada do isolado VF3, indicando uma maior diferença entre a seqüência desse isolado em relação à dos outros. Como apresentado no item 5.52, o ensaio de inibição da fosfatase (PP2A) foi positivo apenas para o extrato do isolado VF3.

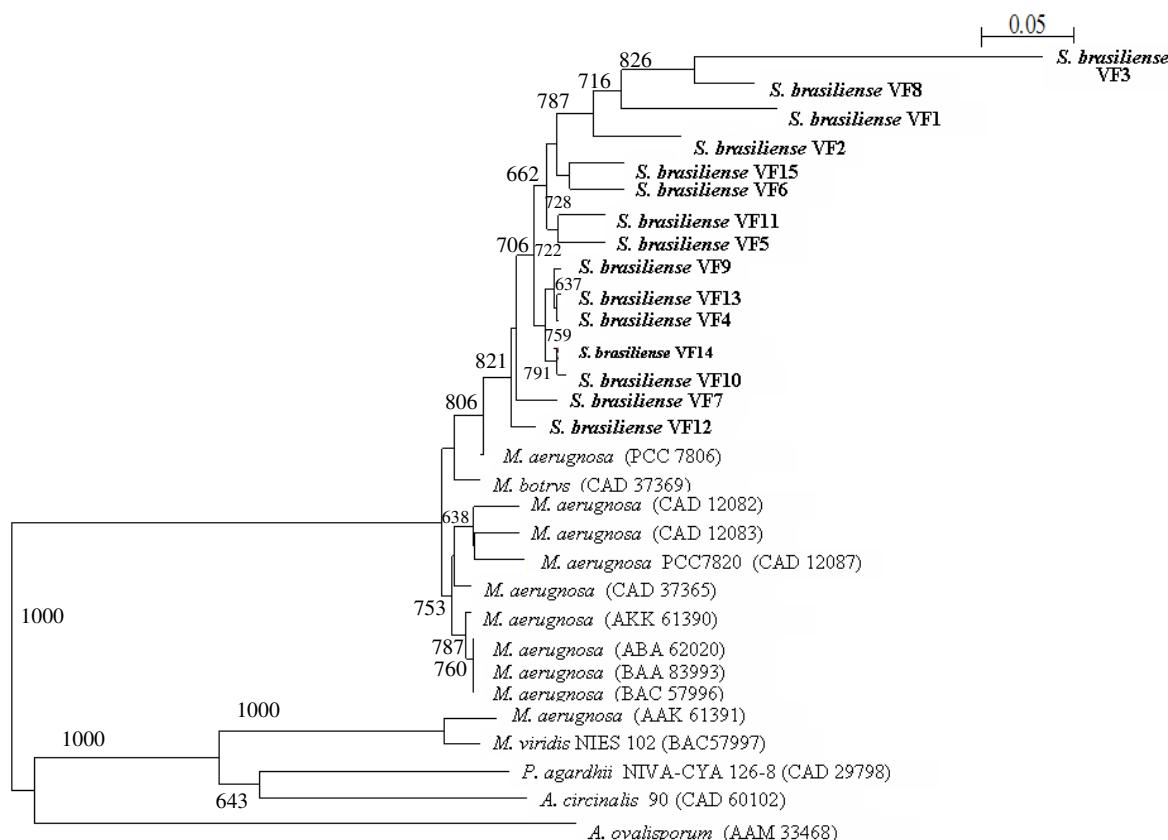


Figura 5.71 - Árvore filogenética da seqüência de aminoácidos codificada pelo gene *mcxB* dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados nos clados

A dificuldade em se amplificar seqüências de cepas brasileiras a partir de nucleotídeos iniciadores desenvolvidos com base no genoma de cepas de outros ambientes já foi discutida em alguns trabalhos (SILVA, 2006, OLIVEIRA, 2003). Esse fato talvez explique porque os iniciadores utilizados nesse estudo, mesmo amplificando as seqüências, terem gerado produtos muitas vezes não correspondentes às seqüências alvo. Contudo hipóteses como a perda ou

inativação dos genes por mutação (Kaebnick et al. 2001) ou eventos de recombinação (alternância de posição) entre os genes (MIKALSEN *et al.*, 2003), devem ser consideradas.

Desta forma, a presença apenas parcial do agrupamento de genes responsável pela síntese de microcistinas nos isolados, impossibilita avaliar a existência potencial dessas cianobactérias em produzir essa toxina.

5.5.2 Investigação da toxicidade dos isolados

Os ensaios de inibição da enzima fosfatase (PP2A) foram realizados para avaliar a toxicidade dos isolados. Os resultados foram positivos para o material do seston de 2005, para a floração de 1999 e para o extrato do isolado VF3. Os ensaios foram realizados em duplicata e repetidos três vezes, usando como controle positivo o extrato da *M. aeruginosa* 7806.

A partir do resultado positivo encontrado para o extrato do isolado VF3 foram realizadas análises de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) para confirmar a presença de microcistina (Figura 5.72).

Observa-se no cromatograma obtido para o extrato do VF3 a existência de três picos com tempos de retenção diferentes (11, 21 e 23 minutos) semelhantes aos observados tanto no espectro do padrão de microcistina-LR, quanto no extrato do controle positivo *M. aeruginosa* 7806. Importante ressaltar que, tanto o extrato do isolado VF3, quanto o do controle positivo, foram os mesmos utilizados nos ensaios de inibição da fosfatase, e que o padrão utilizado, apesar de não ser um padrão analítico certificado de microcistina-LR, apresentava mais de 95% de pureza.

A análise de cromatografia foi realizada para uma identificação preliminar do peptídeo. Desta forma, foram coletados separadamente os três picos observados no cromatograma do isolado VF3, para purificação e realização das análises por Maldi-Tof.

Os espectros gerados na análise por Maldi-Tof do padrão da microcistina-LR e dos picos coletados a 11, 21 e 23 minutos (isolado VF3) são apresentados nas Figura 5.73 a Figura 5.76, respectivamente.

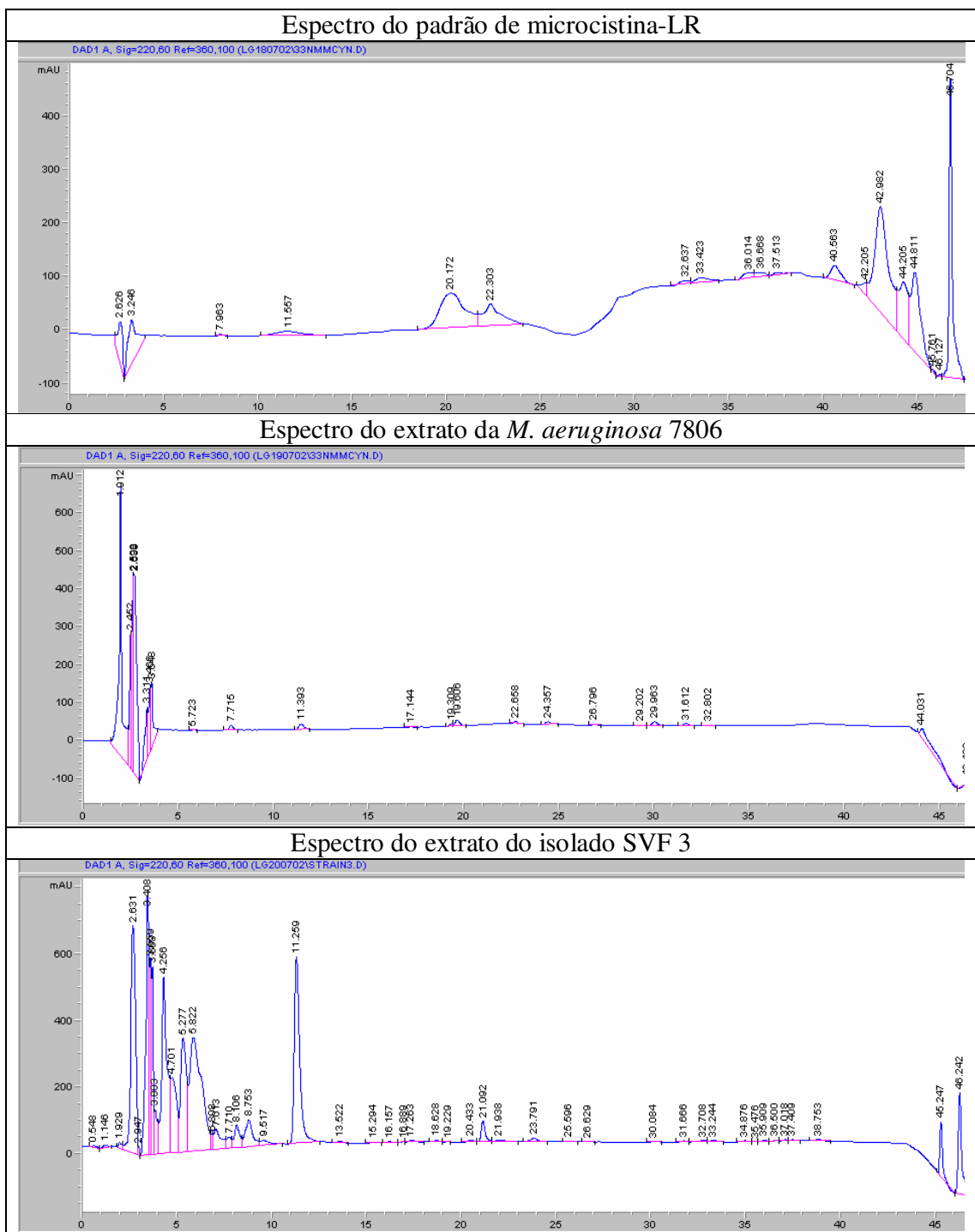


Figura 5.72- Cromatogramas gerados nas análises por HPLC apresentando a curva do padrão de microcistina-LR, do extrato da cepa *M. aeruginosa* 7806 e do extrato do isolado VF 3 do reservatório de Vargem das Flores/MG

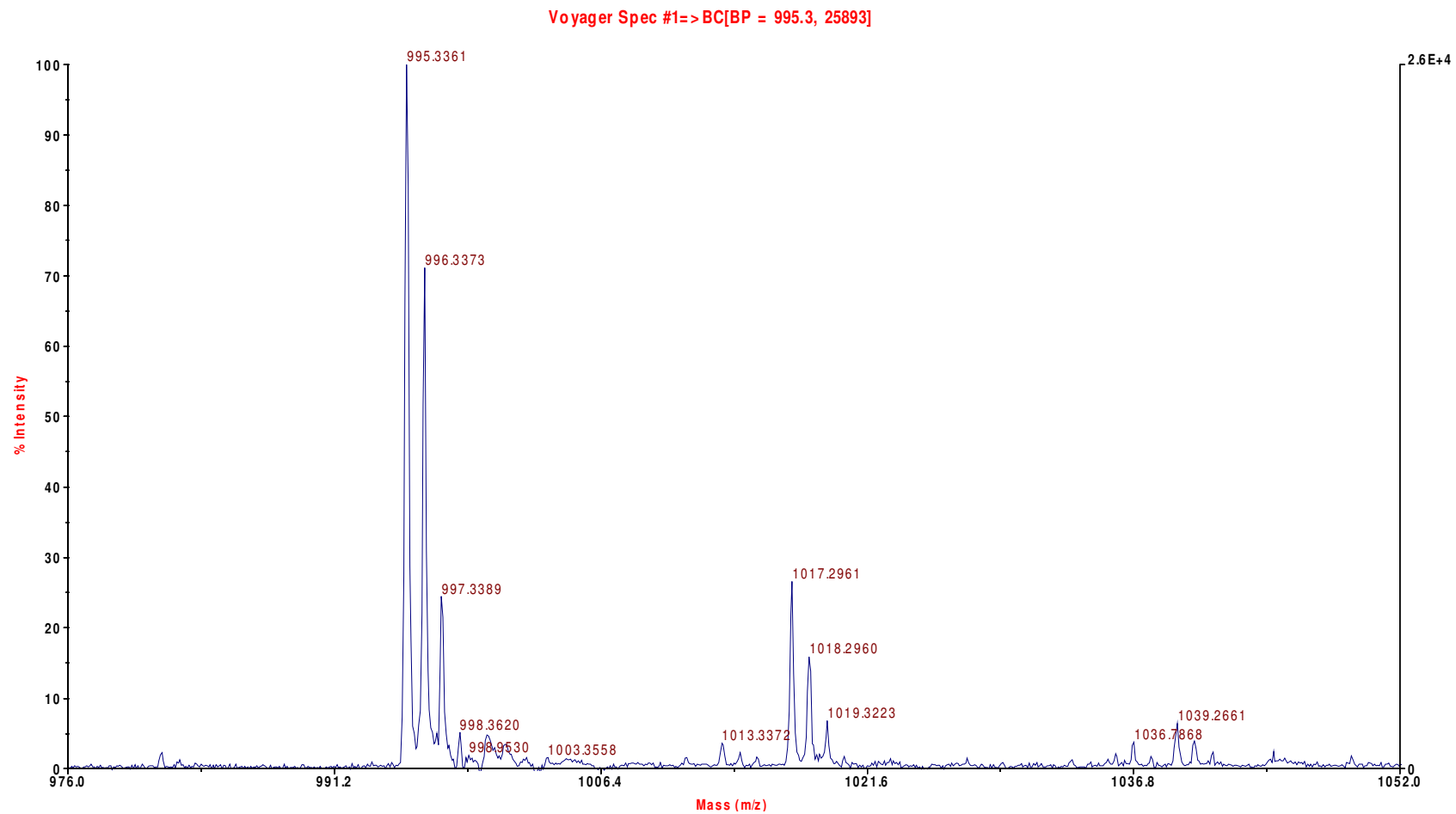


Figura 5.73 - Espectro de massa Maldi-Tof do padrão de microcistina -LR
Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

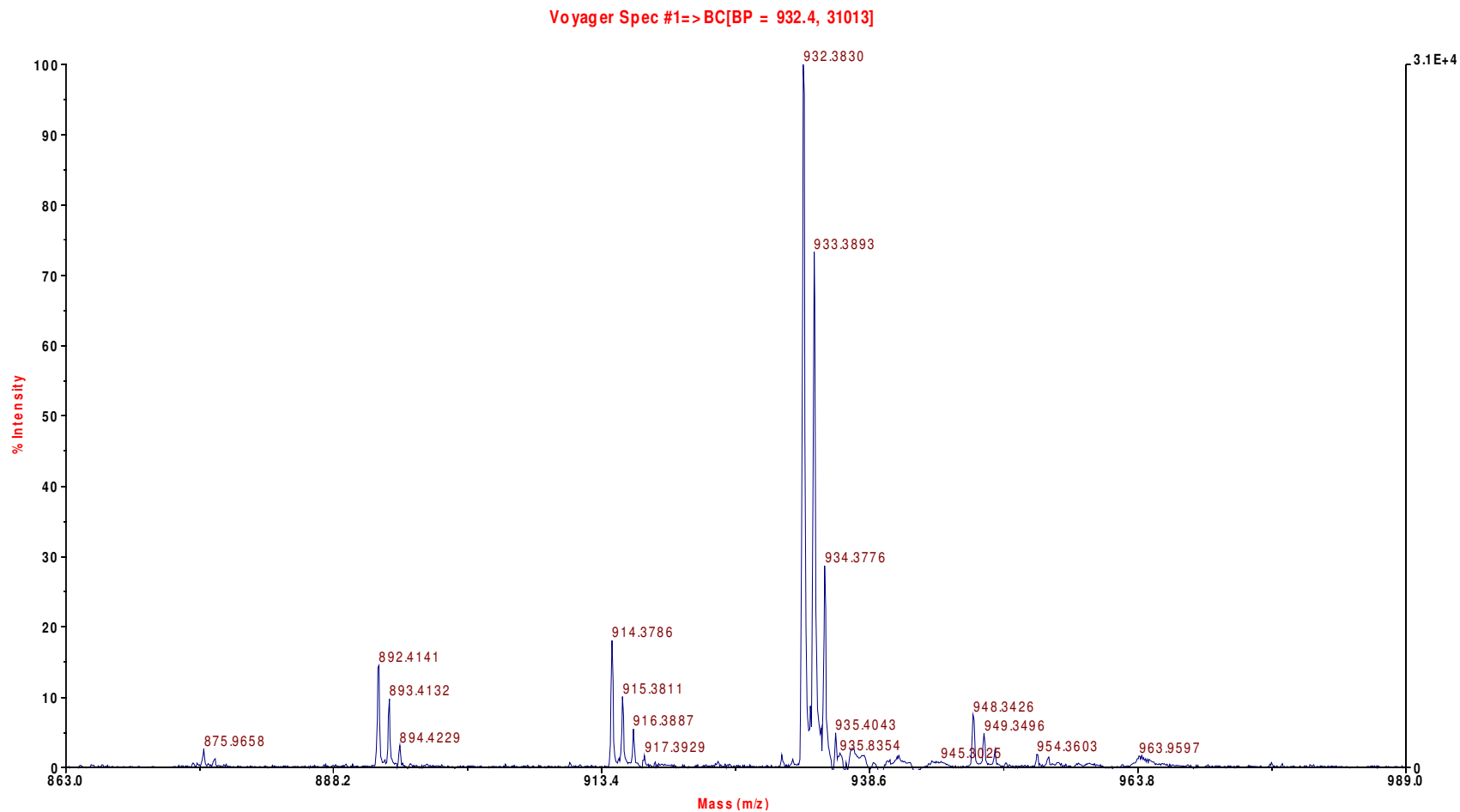


Figura 5.74- Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 11 minutos do cromatograma.
Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

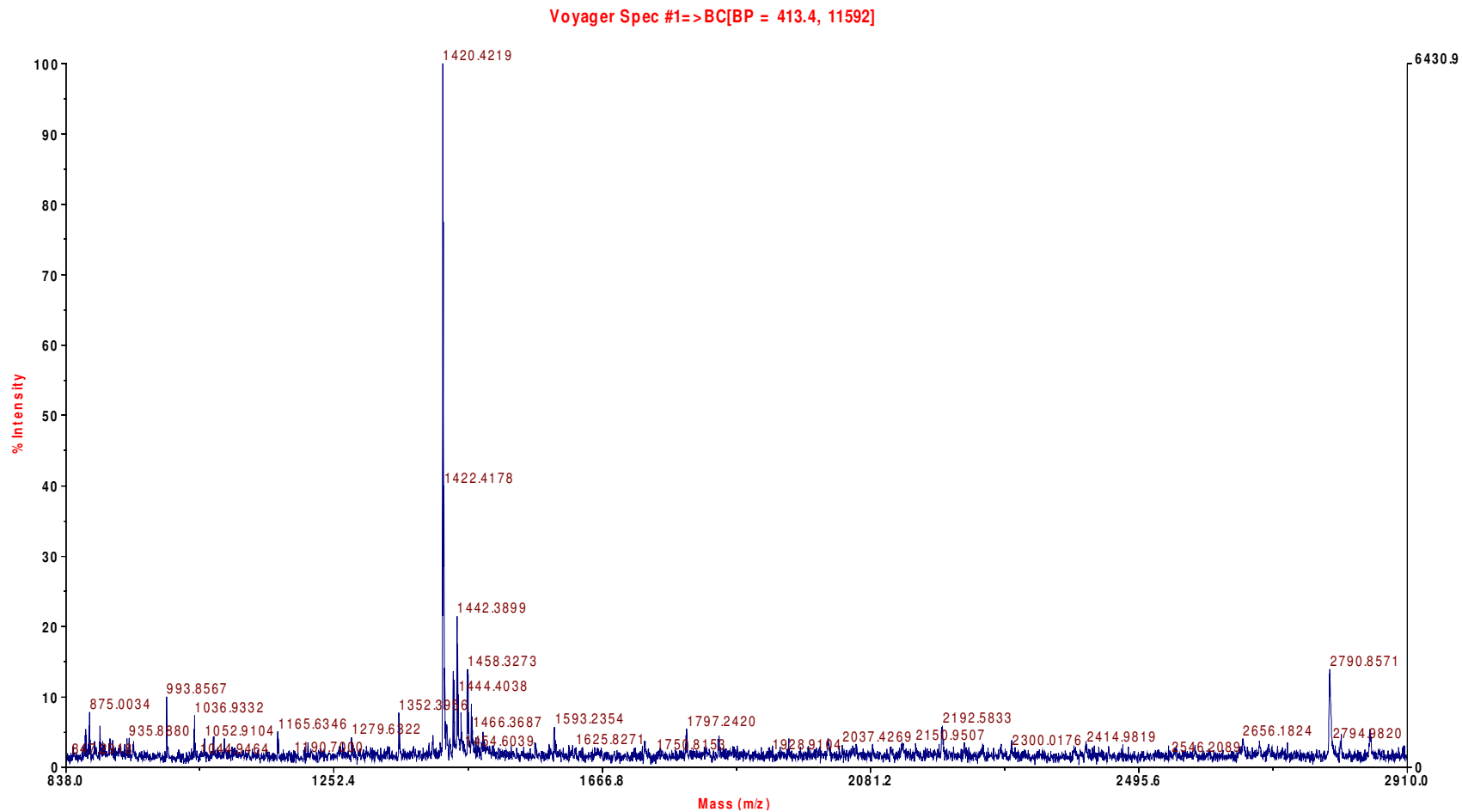


Figura 5.75 - Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 21 minutos do cromatograma.

Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

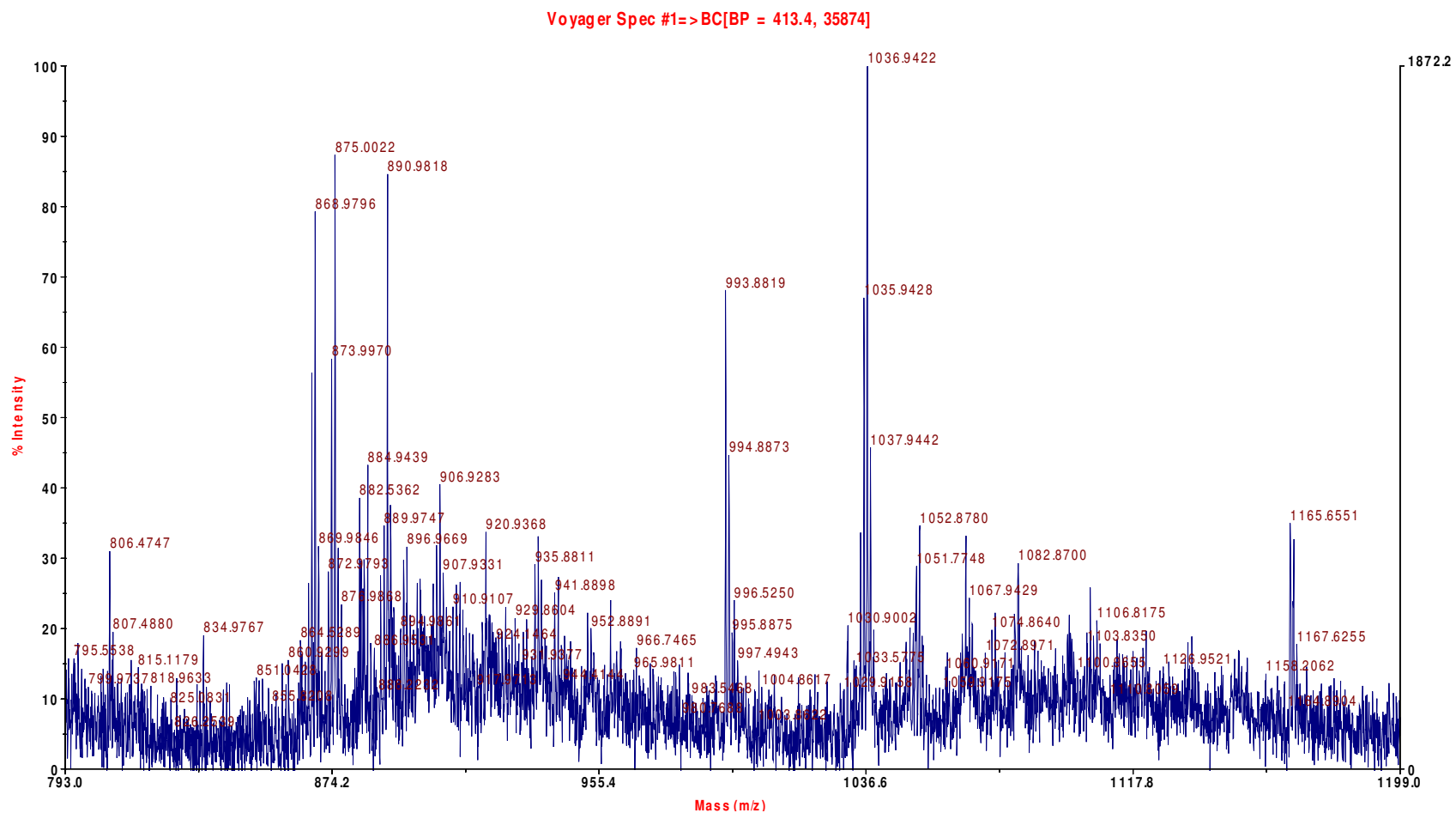


Figura 5.76 - Espectro de massa Mald-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 23 minutos do cromatograma.
 Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

Importante salientar que os espectros gerados por Maldi-Tof foram expandidos (centralizados) para melhor visualização dos picos localizados na região com valor de massa (Da) próximo ao da microcistina-LR ($\cong 995.6$).

Observa-se que dentro das três frações do extrato VF3 obtidas na cromatografia, existem diferentes picos relacionados a uma série de peptídeos encontrados no extrato. Como o pico referente à microcistina-LR, ou mesmo às outras de microcistinas conhecidas, não foi observado em nenhuma das frações, foi feita uma busca na literatura na tentativa de se encontrar referências de novos peptídeos com atividade tóxica que possuíssem massa igual aos observados nesse estudo.

No estudo de Welker *et al.* (2007) encontra-se uma vasta lista de metabólitos secundários detectados em colônias isoladas de *Microcystis*, incluindo cianopeptolinas e diversos novos peptídeos. Porém, nenhuma similaridade foi encontrada para nenhum dos peptídeos observados nos espectros do extrato VF3.

Contudo, pelo fato de se ter encontrado 89% de identidade da seqüência do isolado VF3 com a seqüência para síntese de cianopeptolina da cepa *Microcystis* sp. NIVA-CYA 172/5, um dos peptídeos isolados pode, possivelmente, ser uma cianopeptolina.

Provavelmente, devido à ocorrência de possíveis mudanças nas moléculas desses peptídeos como, por exemplo, a adição de um grupo sulfato ou até mesmo a presença de íons (H^+ e Na^+), não foi possível identificar nenhum peptídeo comum aos descritos na literatura. Como análises mais aprofundadas para a caracterização da provável molécula com atividade tóxica não foram realizadas, não foi possível identificar o peptídeo, contido no extrato do isolado VF3, responsável pela inibição da enzima fosfatase.

6 CONCLUSÕES

Como conclusões obtidas do desenvolvimento desse estudo e tendo como premissa proposta/objetivo inicial do trabalho de buscar as associações entre os parâmetros bióticos e abióticos do reservatório de Vargem das Flores e a ocorrência de cianobactérias, pode-se concluir:

- Os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água amostrada na estação 1, localizada próxima à torre de tomada d'água da ETA, apresentam características diferenciadas das demais estações, quase sempre apresentando melhor qualidade;
- A estação 2, localizada no encontro dos dois braços principais, mostrou características limnológicas intermediárias em termos de qualidade dos parâmetros amostrados, quando comparada com as outras estações;
- As estações 3 e 4, localizadas na chegada do córrego Água Suja e do ribeirão Betim, respectivamente, parecem ter a dinâmica da coluna d'água afetada diretamente pela qualidade da água dos afluentes;
- Em geral, foi observada estratificação da coluna d'água, apresentando anoxia e maior concentração de nutrientes no hipolímnio durante o período chuvoso (verão) e circulação da massa d'água no período seco (inverno);
- O período chuvoso apresentou as maiores variações nos parâmetros amostrados entre as profundidades e entre as estações, podendo ser caracterizado como período de ocorrência das cianobactérias;
- No período seco, caracterizado pela circulação da coluna d'água, os grupos predominantes do fitoplâncton foram Bacillariophyta e fitoflagelados, que se alternaram durante o período;
- A sucessão observada dentro do grupo das cianobactérias (*Aphanocapsa* sp em detrimento das *Microcystis* spp) pode ser um indicativo de mudança das características da água do manancial;
- Uma concentração mais elevada de fósforo foi verificada sempre antes do aparecimento das cianobactérias, indicando a relação desse nutriente com a ocorrência do grupo;

- As análises de agrupamento confirmaram o comportamento diferenciado da estação 1 em relação às demais, tanto na avaliação global quanto nas avaliações individualizadas por profundidade, por estar localizada na região limnética e sofrer menos influência dos tributários, caracterizando a autodepuração da água do reservatório;
- As características similares, já indicadas pelas análises univariadas, agruparam as estações 3 e 4 em quase todas as profundidades;
- As análises de componentes principais mostraram que no período chuvoso, onde ocorreram as concentrações mais elevadas de cianobactérias, o grupo aparece sempre correlacionado com as algas das classes Bacillariophyta e Chlorophyta;
- Em geral, pode ser percebido um padrão de correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de ortofosfato, evidenciando-se o consumo desse nutriente;
- As associações observadas na profundidade de extinção do disco de Secchi parecem ser representativas das relações existentes no sistema como um todo;
- Embora pela taxonomia clássica as cianobactérias isoladas do manancial de Vargem das Flores tenham sido classificadas como *Sphaerocavum brasiliense*, na identificação molecular foram incluídas no gênero *Microcystis*;
- Os resultados da investigação da presença dos genes da síntese de microcistina mostraram que as cianobactérias isoladas apresentaram apenas parte desses genes;
- Apenas uma das cianobactérias isoladas (isolado VF3) apresentou atividade tóxica por inibição da enzima fosfatase (PP2A), contudo não foi evidenciada a presença de microcistinas;
- Os resultados do estudo genético indicaram a presença de formas clonais entre os isolados de cianobactérias do manancial, assim como prováveis cepas com diferenciação no genoma.

7 RECOMENDAÇÕES

- Investigar as prováveis causas da sucessão das espécies de cianobactérias observadas no reservatório;
- Investigar a relação entre a variação na população de cianobactérias e a presença de cianotoxinas no ambiente, caso sejam observadas florações tóxicas;
- Investigar a razão da presença apenas parcial dos genes da síntese de microcistinas no genoma s das cianobactérias isoladas do manancial;
- Para a identificação do peptídeo responsável pela atividade tóxica do extrato do isolado VF3, realizar a caracterização dos peptídeos encontrados com a análise por Maldi-Tof;
- Avaliar a influência de parâmetros morfométricos, assim como do tempo de detenção hidráulica, na dinâmica da ocorrência de cianobactérias;
- Quando houver maior ocorrência de cianobactérias, realizar a alteração na profundidade de captação da água, escolhendo-se a camada abaixo da zona eufótica, visando diminuir o número de células de cianobactérias aduzidas à ETA. Para tanto, torna-se necessário avaliar os possíveis impactos causados no tratamento pela adução de água com maior concentração de compostos reduzidos provenientes do fundo;
- Otimizar a instalação de estações de tratamento de esgotos na bacia de drenagem do reservatório visando diminuir a concentração de nutrientes carregadas para o reservatório.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20^aed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 1998.
- AMÉ, M.V.; WUNDERLIN, D.A. Effects of iron, ammonium and temperature on microcystin content by a natural concentrated *Microcystis aeruginosa* population. *Water, Air and Soil Pollution*. v.168, p. 235-248, 2005.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3. Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, v.80, n. 1-4, p.327-472, 1988.
- ARCIFA, M.S.; GUAGNONI, W. A new model of enclosure for experiments in lentic water. *Acta Limnol. Bras.*, v. 15, p.75-79, 2003.
- AZEVEDO, S.M.F.O.; CARMICHAEL, W.W.; JOCHIMSEN, E.M.; RINEHART, K.L.; LAU, S.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru – Brazil. *Toxicology*, v. 181-182, p. 441-446, 2002.
- AZEVEDO, M.T.P., SANT'ANNA, C.L. *Sphaerocavum*, a new genus of planktic cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. *Algol. Studies*, v.109, p. 79-92, 2003.
- AZEVEDO, S.M.F.O.; EVANS, W.R.; CARMICHAEL, W.W.; NAMIKOSHI, M. First Report of microcystins from a Brazilian isolate of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Journal Applied Phycology*, v.6, n. 3, p.1-5, 1994.
- BABICA, P.; BLAHA, L.; MARSALEK, B. Exploring the natural role of microcystins—a review of effects on photoautotrophic organisms. *J. Phycol.* v. 42, n.9, p.9-20, 2006.
- BICUDO, C.E.M., MENEZES, M. *Gêneros de águas continentais do Brasil (chave para identificação e descrições)*. 2 ed. RiMa, São Carlos. Brasil, 2006. 502p.
- BONNET, M.P.; POULIN, M. Numerical modeling of planktonic succession in a nutrient-rich reservoir: environmental and physiological factors leading to *Microcystis aeruginosa* dominance. *Ecol. Modelling*. N.156, p. 93-112, 2002.
- BOUVY, M.; FALCÃO, D.; MARINHO, M.; PAGANO, M.; MOURA, A. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquat. Microb. Ecol.*, v.23, p. 13-27, 2000.
- BRANCO, S.M. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 2 ed. CETESB, São Paulo. Brasil, 1986. 620p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 23 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/sitefunasa/legis/pdfs/portarias_m/pm1518_2004.pdf>. Acesso em 25 out. 2004.
- CARMICHAEL, W.W. Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins. *J. Appl. Bact.*, v. 72, p.445-459, 1992.
- CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S.M.F.O.; AN, J.; MOLICA, R.J.R.; JOCHIMSEN, E.M.; LAU, S.; RINEHART, K.I.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, n. 7, p. 663-668, 2001.

- CARMOUZE, J.P. *O metabolismo dos sistemas aquáticos – fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. FAPESP, São Paulo. Brasil, 1994. 253p.
- CHELLAPA, N. T.; COSTA, M.A.M. Dominant and co-existing species of cianobactéria from a eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte state, Brazil. *Acta Oecologica*, n.24, p. 3-10, 2003.
- CHRISTIANSEN, G.; KURMAYER, R.; LIU, q.; BÖRNER, T. Transposons inactive biosynthesis of the nonribosomal peptide microcystin in naturally occurring *Planktothrix* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* V. 72, p. 117-123, 2006.
- CHORUS, I. Watershed Management. In: *WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE*, 2001, Nashville, TN. Proceedings .Nashville: [s.n.], .p.2, 2001.
- CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management. *World Health Organization*. London and New York, 416 p, 1999.
- CHU, FS.; HUAN, X.; WEI, R. D. Enzyme-linked immunosorbent assay for microcystins in blue-green algal blooms. *J. Assoc. Anal. Chem*, v. 73, p. 451-456, 1990.
- GORHAM, P.R.; Mc LACHLAN, J.; HAMMER, U.T.; KIM, W.K. Isolation and culture of toxic strains of *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) de Bréb. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* v. 15, 796–804, 1964 *apud* COSTA, S.M; AZEVEDO, M. F. O Implantação de um banco de culturas de cianofíceas tóxicas. *Iheringia*, Porto Alegre, n. 45, p.69-74,1994.
- DITTMANN, E.; NEILAN, B.A.; ERHARD, M.; von DÖHREN, H.; BÖRNER, T. Insertional mutagenesis of a peptide synthetase gene that is responsible for hepatotoxin production in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* PCC 7806. *Molec. Microb.*, v. 26, p.779-787, 1997.
- EDWIN, W.; KARDINAAL, A.; TONK, L.; JANSE, I.; HOL, S.; SLOT, P.; HUISMAN, J.; VISSER, P.M. Competition for light between toxic and nontoxic strains of the harmful Cyanobacterium *Microcystis*. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 73, n. 9, p. 2939-2946, 2007.
- ESTEVEZ, F.A. *Fundamentos de limnologia*. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro. Brasil, 1998. 602p.
- FALCONER, I.R. Tumor promotion and liver injury caused by oral consumption of Cyanobacteria. *Environ. Toxicol. Water Qual.*, v. 6, p. 177-184, 1991.
- FIGUEREDO, C.C.; GIANI, A. Ecological interations between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) and the phytoplanktonic community of the Furnas reservoir (Brazil). *Freshw. Ecol.*, v. 50, p.1391-1403, 2005.
- FIGUEREDO, C.C.; GIANI, A. seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia.*, v. 445, p.165-174, 2001.
- FOTT, B. *Algenkunde*. 2 ed. Hufttgat. Gustav Fischer Verlag. 1983. 581p.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano, na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*. Brasília, 2003. 56p.
- GOOGLE EARTH. *Localização do reservatório de Vargem das Flores/MG (b) Localização geográfica da represa*. 2008. Mapa Geográfico – MapLink / Tele Atlas. Escala 3,51 km. Disponível em: <http://earth.google.com> Acesso em: 23 de junho 2008.
- HAKANSON, L.; MALMAEUS, J.M.; BODEMER, U.; GERHARDT, V. Coefficients of variations for chlorophyll, green algae, diatoms, cryptophytes and blue-greens in rivers as a

- basis for predictive modeling and aquatic management. *Ecol. Modelling*, n. 169, p. 179-196, 2003.
- HAVENS, K. E.; THOMAS JAMES, R.; EAST., T.L.; SMITH, V. H. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environ. Pollution*. n.122, p. 379-390, 2003.
- HECKY, R.E. A biogeochemical comparison of Lakes Superior and Malawi and the limnological consequences of an endless summer. *Aqua. Ecosys. Health Mangent.* .n.3, p. 23-33, 2000.
- HERESZTYN, T.; NICHOLSON, B.C. A colorimetric protein phosphatase inhibition assay for the determination of cyanobacterial peptide hepatotoxins based on the dephosphorylation of phosphovitin by recombinant protein phosphatase. *Environ Toxicol.*, v. 16, p. 242-252, 2001.
- HOTTO, A.M.; SATCHWELL, M.F., BOYER,G.L. Molecular characterization of potential microcystin-producing cianobactéria in Lake Ontario embayments and nearshore waters. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 73, n. 14, p. 4570-4578, 2007.
- HOWARD,A.; EASTHOPE, M.P. Application of a model to predict cyanobacterial growth patterns in response to climatic change at Farmoor Reservoir, Oxfordshire, UK. *Scien. Total Environ.* n.282-283, p.459-469, 2002.
- HYENSTRAND, P.; BLOMQVIST, P.; PETTERSSON, A. Factors determininig cyanobacterial success in aquatic systems – a literature review. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* v. 51, p. 41-62, 1998.
- ISHIKAWA, K.; KUMAGAI, M.; VINCENT, W.F.; TSUJIMURA, S.; NAKAHARA, H. Transport and accumulation of bloom-forming cyanobacteria in a large, mid-latitude lake: the gyre-Microcystishypothesis. *Limnology*. v.3, n.2, p. 87-96, 2002.
- JACOBY, J.M.; COLLIER D.C.; WELCH E.B.; HARDY, F.J.; CRAYTON, M. Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*. *Can. J. Fish. aquat. Sci.* 57: 231–240, 2000.
- JACQUET, S.; BRIAND, J.F.; LÉBOULANGER,C.; AVOIS-JACQUET, C.; DRUART,L.; ANNEVILLE, O.; HUMBERT, J.F. The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae*. V. 4, p. 651-672, 2004.
- JARDIM, F.A.; CAVALIERI, S.O., GALLINARI, P.C., VIANNA, L.N.L. Metodologia para a contagem de cianobactérias em células/mL – um novo desafio para o analista de laboratório. *Rev. Eng. Sanit. Amb.*, v. 7, n. 3, p. 109-111, 2002.
- JARDIM, F.A.; FONSECA, Y.M.F.; VIANNA, L.N.L.; AZEVEDO, S.M.F.O.; CISCOTTO, P.H.C. Primeira ocorrência de cianobactérias tóxicas em um reservatório da COPASA – Minas Gerais – Brasil. *Revista Bios - Cadernos do Departamento de Ciências Biológicas – PUC Minas*, v.9, n. 9, p. 83-91, 2003.
- JARDIM, Fernando Antônio. *Implantação e realização de análises de cianotoxinas com avaliação do potencial tóxico em estações de tratamento da COPASA MG*. 1999. 103f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.
- JOCHIMSEN, E.M.; CARMICHAEL, W.W.; AN, J.S.; CARDO, D.; COOKSON. S.T.; HOLMES, C.E.M.; ANTUNES, M.B.; MELO, A.D.; LYRA, T.M.; BARRETO, V.S.T.; AZEVEDO, S.M.F.O.; JARVIS, W.R. Liver failure and death following exposure to

- microcystin toxins at a hemodialysis center in Brazil. *The New England Journal of Medicine*, v. 36, p. 373-378, 1998.
- JONES, G, Limnological study of cyanobacterial growth in three south-east Queensland reservoirs. In: DAVIS, J.R.. (Ed.) *Managing algal blooms – outcomes from CSIRO's multi-divisional blue-green algal program*. CSIRO Land and Water. Canberra. Australia. 1997. p. 51-65.
- JONES, G.J.; POPLAWSKI, W. Understanding and management of cyanobacterial blooms in sub-tropical reservoirs of Queensland, Australia. *Wat. Sci. Tech.*, v. 37, n. 2, p. 161-168, 1998.
- KAEBERNICK, M.; NEILAN, B.A. Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. *FEMS Microb. Ecol.*, v. 35, p.1-9, 2001.
- KALFF, J. *Limnology: inland water ecosystems*. Prentice-Hall, Upper Saddle River. USA. 2002. 592p.
- KENEFICK, S.L.; HRUDEY, S.E.; PREPAS, E.E.; MOTKOSKY, N.; PETERSON, H.G. Odorous substances and cyanobacterial toxins in prairie drinking water sources. *Wat. Sci. Tech.*, v. 25, n. 2, p. 147-154, 1992.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota, 1. Teil: Chlorococcales. – In: Ettl, H., Gärtner, G., Heyning, H., Mollenhauer, D. (Ed.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Gustav Fischer, Stuttgart, 1999. p.545.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota, 2. Teil: Oscillatoriales. – In: Büdel, B., Krienitz, L., Gärtner, G., Schagerl, M. (Ed.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Gustav Fischer, Stuttgart, 2005. p. 759.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 4. Nostocales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, v.82, n. 3, p.247-345, 1989.
- KURMAYER, R.; DITTMANN, E.; FASTNER, J.; CHORUS, I. Diversity of Microcystin genes within a population of the toxic Cyanobacterium *Microcystis* spp. in lake Wannsee (Berlin, Germany). *Microb. Ecol.*, v. 43, p.107-118, 2002.
- KURMAYER, R.; CHRISTIANSEN, G.; FASTNER, J.; BÖRNER, T. Abundance of active and inactive microcystin genotypes in populations of the toxic cyanobacterium *Planktothrix* spp. *Environ. Microbiol.* 6, 831-841, 2004.
- KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 47, N°. 260, 1952, pp. 583-621.
- LANCIOTTI, E.; SANTINI, C.; LUPI, E.; BURRINI, D. Actinomycetes, cyanobacteria and algae causing tastes and odours in water of the river Arno used for the water supply of Florence. *Journal Water SRT-Acqua*. v.52, p. 489-500, 2003.
- LAWTON, L. A.; EDWARDS, C.; CODD, G.A. Extraction an high-performance liquid chromatographic method for the determination of Microcystins in raq and treated waters. *Analyst*, v. 119, p. 1525-1530, 1994
- LEFLAIVE, J.; TEN-HAGE, L. Algal and cyanobacterial secondary metabolites in freshwaters: a comparison of allelopathic compounds and toxins. *Fresh. Biol.*, v. 52, n. 2, p. 199-214, 2007.
- MAGALHÃES, V.F.; SOARES, R.M.; AZEVEDO, S.M.F.O. Microcystin contamination in fish from the Jacarepagua lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health risk. *Toxicon* v. 39, 1077-1085, 2001.

MIKALSEN, B.; BOISON, G.; SKULBERG, O.M.; FASTNER, J.; DAVIES, W.; GABRIELSEN, T.M.; RUDI, K.; JAKOBSEN, K.S. Natural variation in the microcystin synthetase operon *mcyABC* and impact on microcystin production in *Microcystis* strains. *J. Bacteriol.* v.185, n. 9, p. 2774-2785, 2003.

MISCHKE, U. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecologica.* n.24 p. 11-23, 2003.

MOFFITT C.M., NEILAN B.A. Characterization of the nodularin synthetase gene cluster and proposed evolution of cyanobacterial hepatotoxins. *Appl. Environ. Microbiol.* 70, p. 6353-6362, 2004.

MOREDJO, Armand. *Avaliação dos efeitos das atividades humanas sobre o estado trófico dos açudes paraibanos, com ênfase na utilização da comunidade zooplanctônica como bioindicador.* 1998. 135f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1998.

MUR, L.R.; SKULBERG, O.M., UTKILEN, H. Cyanobacteria in the environment. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Ed.) *Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management.* World Health Organization. London and New York, 1999. p. 15-40.

NEILAN, B.A.; DITTMANN, E.; ROUHIAINEN, L.; BASS, A.R.; SCHAUB, V.; SIVONEN, K.; BÖRNER, T. Nonribosomal peptide synthesis and toxigenicity of cyanobacteria. *J. Bact.*, v. 181, p.4089-4097, 1999.

NEILAN B.A., BURNS B.P., RELMAN D., LOWE D. Molecular identification of cyanobacteria associated with stromatolites from distinct geographical locations. *Astrobiology*, v. 2, p. 271-280, 2002.

NEILAN, B.A., JACOBS, D. GOODMAN, A. genetic diversity and phylogeny of toxic cyanobacteria determined by DNA polymorphisms within the phycocyanin locus. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 61, n. 11, p. 3875-3883, 1995.

OLIVEIRA, M. C. B. Detection of potential microcystin-producing cyanobacteria in Brazilian reservoirs with a *mcyB* molecular marker. *Harmful Algae* v. 2, p. 51–60, 2003.

OLIVER, R.L., GANF, G.G. Freshwater blooms. In: WHITTON, B.A., POTTS, M. (Ed.) *The ecology of cyanobacteria – their diversity in time and space.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. 2000. p. 149-194.

PÁDUA, V.L. *Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas para tratamento de água para consumo humano.* Projeto PROSAB, ABES, Rio de Janeiro, 504p, 2006.

PARANHOS, R. *Alguns métodos para análise da água.* UFRJ (Ed.) Sub-Reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Discente/SR-1 (Cadernos didáticos UFRJ). Rio de Janeiro. 1996. 200p.

PARK, H.D.; KIM, B.; KIM, E.; OKINO, T. Hepatotoxic microcystins and neurotoxic anatoxin-a in cyanobacterial blooms from Korean lakes. *Environ. Toxicol. Water Qual.*, n. 13, p. 225-234, 1998.

Prefeitura Municipal de Contagem/MG. Disponível em <<http://www.contagem.mg.gov.br/>>. Acesso em 06 de fevereiro de 2008.

QUEESLAND HEALTH. Queensland Government. Environmental Health Unit. Environmental Health Assessment Guidelines: *Cyanobacteria in recreational and drinking waters.* Brisbane, 2001. 22p.

- RAPALA, J. (1998) *Toxin Production by Freshwater Cyanobacteria: effects of Environmental Factors*. Dissertaciones Biocentri Viikki Universitatis Helsingiensis. Department of Applied Chemistry and Microbiology - University of Helsinki, Finland, 1998. 591p.
- RAPALA, J.; SIVONEM, K.; LUUKKAINEN, R.; NIEMELA, S.I. Anatoxin-a concentration in *Anabaena* and *Aphanizomenon* under different environmental conditions and comparison of growth by toxic and non-toxic *Anabaena*-strains – a laboratory study. *J. Appl. Phycol.* n.5, p. 581-591, 1993.
- REEDERS, H.H.; BOERS, P.C.M.; van der MOLEN, D.T.; HELMERHOST, T. H. Cyanobacterial dominance in the lakes Veluwemeer and Wolderwijd, the Netherlands. *Wat. Sci. Tech.* v. 37, n. 3, p. 85–92, 1998.
- REYNOLDS, C. S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia*, v. 369/370, p. 11–26, 1998.
- ROBSON, B.J.; HAMILTON, D.P. Three-dimensional modeling of a *Microcystis* bloom event in the Swan River estuary, Western Australia. *Ecol. Modelling*, n. 174, p. 203-222, 2004.
- RODIER, J. *Análisis de las aguas – aguas naturales, aguas residuales, águas de mar*. OMEGA (Ed), Barcelona. 1981. 1057p.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Contribution to the knowledge of potentially toxic cyanobacteria from Brazil. *Nova Hedwigia*, v.71, p. 359-385, 2000.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Oscillatoriaceae (Cyanophyceae) from São Paulo State, Brazil. *Nova Hedwigia*, v.16, p. 89-131, 1989.
- SCHÄFER, A. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Ed. da UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 1984. 532p.
- SHERMAN, B.S., WEBSTER, I.T., JONES, G.J., OLIVER, R.L. Transitions between *Aulacoseira* e *Anabaena* dominance in a turbid river weir pool. *Limnol. Oceanogr.* v.43, n. 8, p. 1902-1915, 1998.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. 1988. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, second edition, New York: McGraw-Hill, 399 pp.
- SILVA, Caroline Souza Pamplona da. *Caracterização molecular de cianobactérias brasileiras e distribuição de genes de produtos naturais*. 2006. 93f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- SIVONEN, K.; JONES, G. Cyanobacterial toxins. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Ed.) *Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management*. World Health Organization. London and New York, 1999. p. 41-111.
- SOUZA, Amilton Diniz. *Variações espaciais e temporais de parâmetros de qualidade de água em um reservatório tropical (represa de Vargem das Flores – Contagem – MG) e suas implicações com aspectos limnológicos*. 2003. 245f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- STATISTICA 6.1 STATSOFT, Inc., Tulsa, USA, 2003.
- STAUFFER, R.E. Nutrient internal cycling and the trophic regulation of Green Lake, Wisconsin. *Limnol. Oceanogr.* n.30, p. 347-363, 1985.

- STOCKNER, J. G.; CALLIERI, C.; CRONBERG, G. Picoplankton and other non-bloom forming Cyanobacteria in lakes. In: WHITTON, B. A.; POTTS, M., ed. *The Ecology of Cyanobacteria: Their diversity in time and space*. Dordrecht/London/Boston. Kluwer Academic Publishers, 2000, 7, 195-231.
- STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J.G. *Gerenciamento da qualidade da água de represas*. TUNDISI, J.G. (Ed.), ILEC; IIE, São Carlos, 2000, 258p.
- TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S.; HAGE, E. Epidemia de gastroenterite na área da barragem de Itaparica, Bahia. *Bol. Sanit. Panam.*, v.114, n. 6, p. 502-511, 1993.
- TILLET, D.; DITTMANN, E.; ERHARD, M.; VON DOHREN, H.; BORNER, T.; NEILAN, B. A. Structural organization of microcystin biosynthesis in *Microcystis aeruginosa* PCC7806: an integrated peptide-polyketide synthetase system. *Chemistry & Biology*, v. 7, p.753-764, 2000.
- UENO. Y.; NAGATA, S.; TSUTSUMI, T.; HASEGAWA, A.; WATANABE, M.F.; PARK, H.-D.; CHEN. G.-C.; CHEN, G.; YU, S.Z.. Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. *Carcinogenesis*, v.17, n.6, p. 1317-1321, 1996.
- VASCONCELOS, V.M.; EVANS, W.R.; CARMICHAEL, W.W.; NAMIKOSHI, M. Isolation of microcystin-LR from a *Microcystis* (cyanobacteria) waterbloom collected in the drinking water reservoir for Porto, Portugal. *J. Environ. Sci. Health*, v. A28, n. 9, p. 2081-2094, 1993.
- VÉZIE, C.; RAPALA, J.; VAITOMAA, J.; SEITSONEN, J.; SIVONEN, K. Effect OF Nitrogen and Phosphorus on growth of toxic and nontoxic *Microcystis* strains and on intracellular Microcystin concentrations. *Microb. Ecol.*, v.43, p.443-454, 2002.
- VIANA, T.H.; VON SPERLING, E. Qualidade de água em reservatórios do semi-árido mineiro: estudo de caso das represas do Soberbo e Ribeirão (Pedra Azul e Medina-MG). In: VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Vitória – ES, Anais... Vitória, 2002.
- VIA-ORDORIKI, L.; FASTNER, J.; KURMAYER, R.; HISBERGUES M.; DITTMANN E.; KOMAREK, J.; ERHARD, M., CHORUS I. Distribution of Microcystin-producing and non-Microcystin-producing *Microcystis* sp. in European freshwater bodies: detection of Microcystins and Microcystin genes in individual colonies. *System. Appl. Microbiol.*, v. 27, p. 592–602, 2004.
- VON RÜCKERT, G.; GIANI, A. Effect of nitrate and ammonium on the growth and protein concentration of *Microcystis viridis* Lemmermann (Cyanobacteria). *Rev. Brasil. Bot.*, v.27, n.2, p.325-331, abr., 2004.
- WELKER, M.; ŠEJNOHOVÁ, L; NÉMETHOVÁ, D.; von DÖHREN, H.; JARKOVSKÝ, J; MARŠÁLEK, B. Seasonal shifts in chemotype composition of *Microcystis* sp. communities in the pelagial and the sediment of a shallow reservoir. *Limnol. Oceanogr.*, v. 52, n.2, p. 609-619, 2007.
- WELKER, M.; von DÖHREN, H. Cyanobacterial peptides – Nature’s own combinatorial biosynthesis. *FEMS Microbiol. Rev.*, v. 30, p. 530-563, 2006.
- WIEDNER, C.; VISSER, P.M.; FASTNER, J.; METCALF, J.S.; CODD, G.A.; MUR, L.R. Effects of light on the microcystin content of *Microcystis* strain PCC 7806. *Appl. Environ. Microbiol.* v.69, n.3, p. 1475-1481, 2003.

WILLÉN, T.; MATTSSON, R. Water-blooming and toxin-producing cyanobacteria in Swedish fresh and brackish waters, 1981-1995. *Hydrobiologia*, v.353, p. 181-192, 1997.

APÊNDICE A

Testes de Normalidade dos dados da Estação 1

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

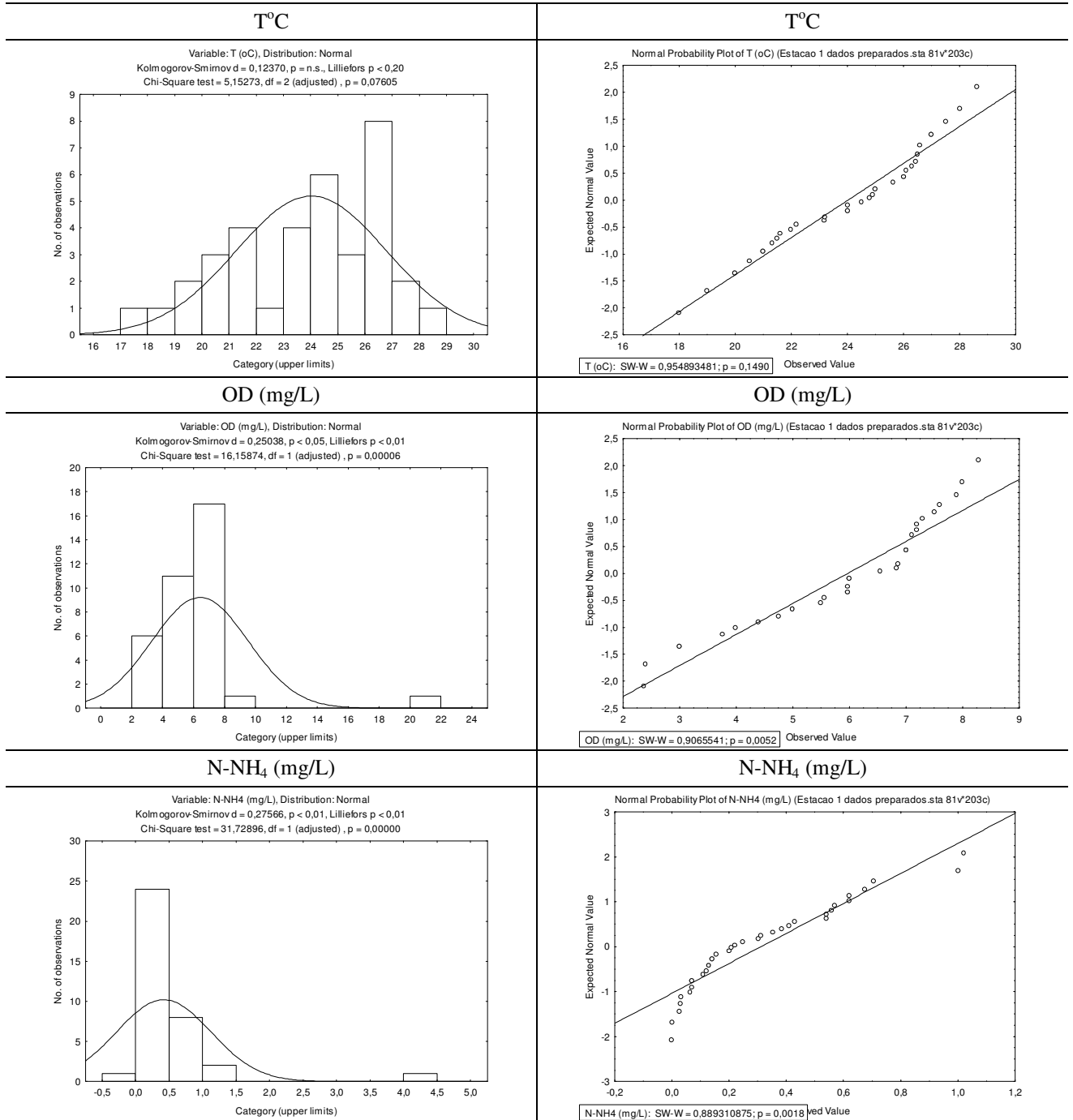


Figura A1 – Testes de normalidade dos dados de temperatura, OD e N-NH₄ da Estação 1 do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

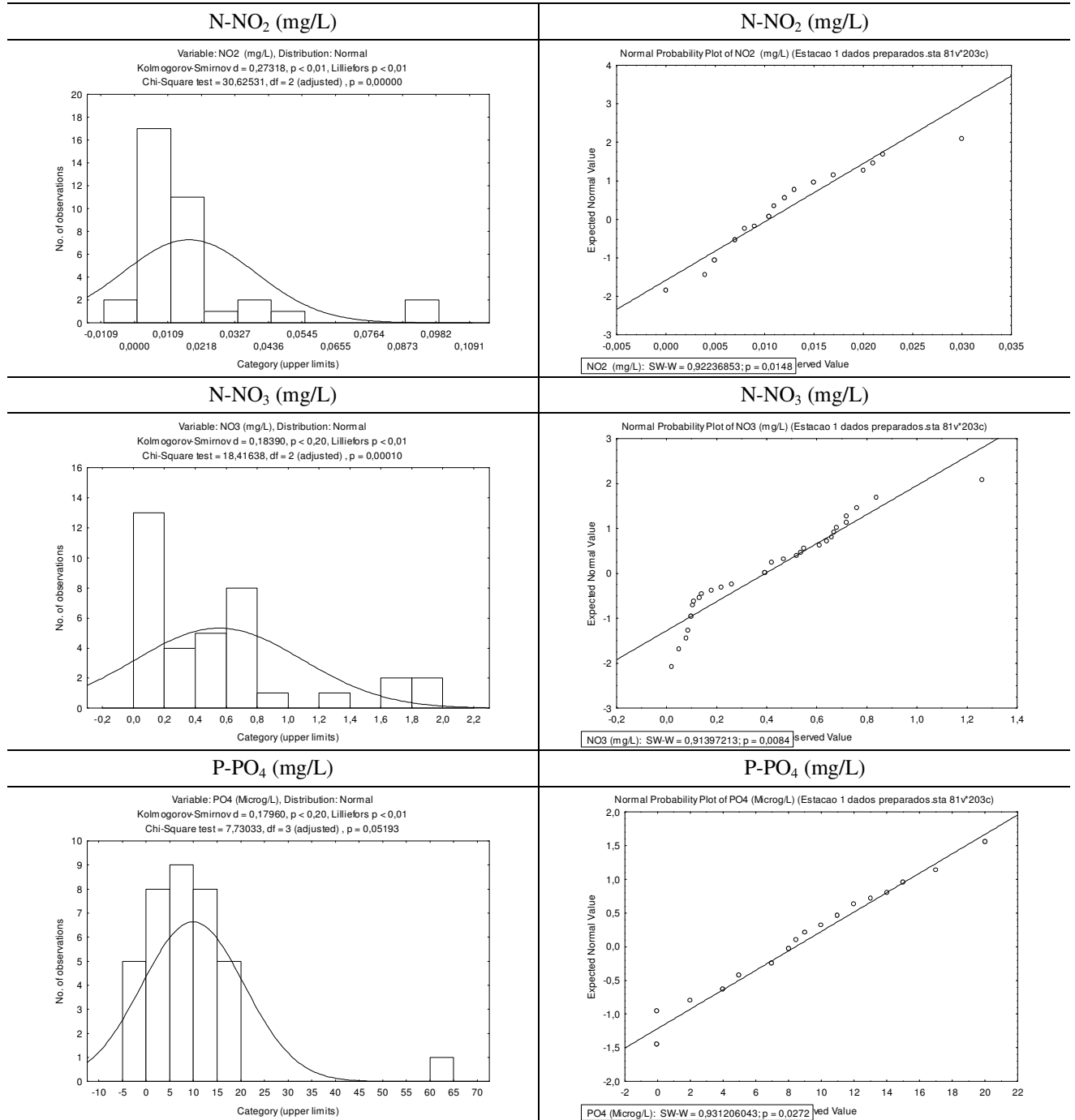


Figura A2 – Testes de normalidade dos dados de N-NO₂, N-NO₃, e P-PO₄, da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

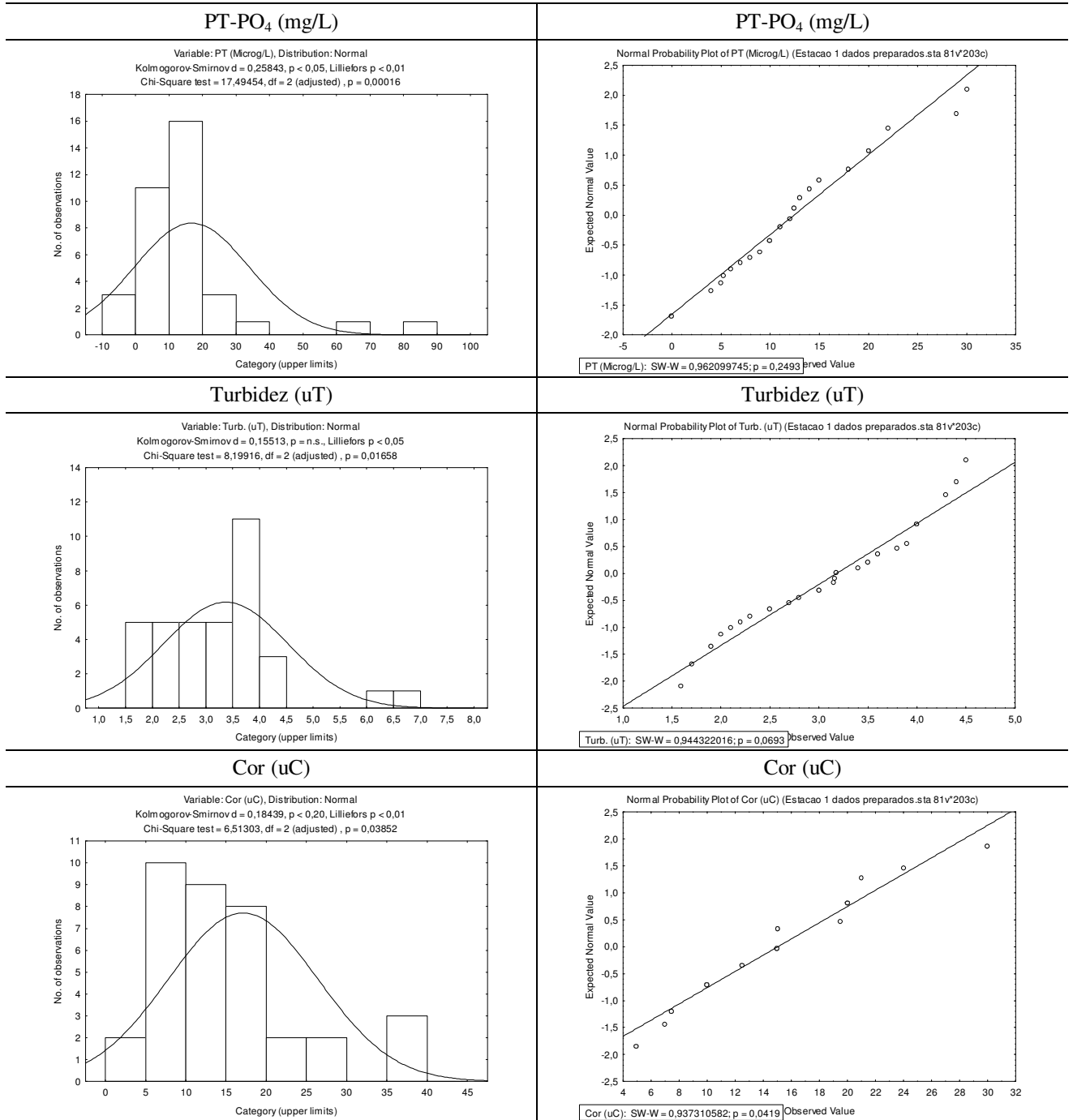


Figura A3 – Testes de normalidade dos dados de PT-PO₄, turbidez e cor, da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

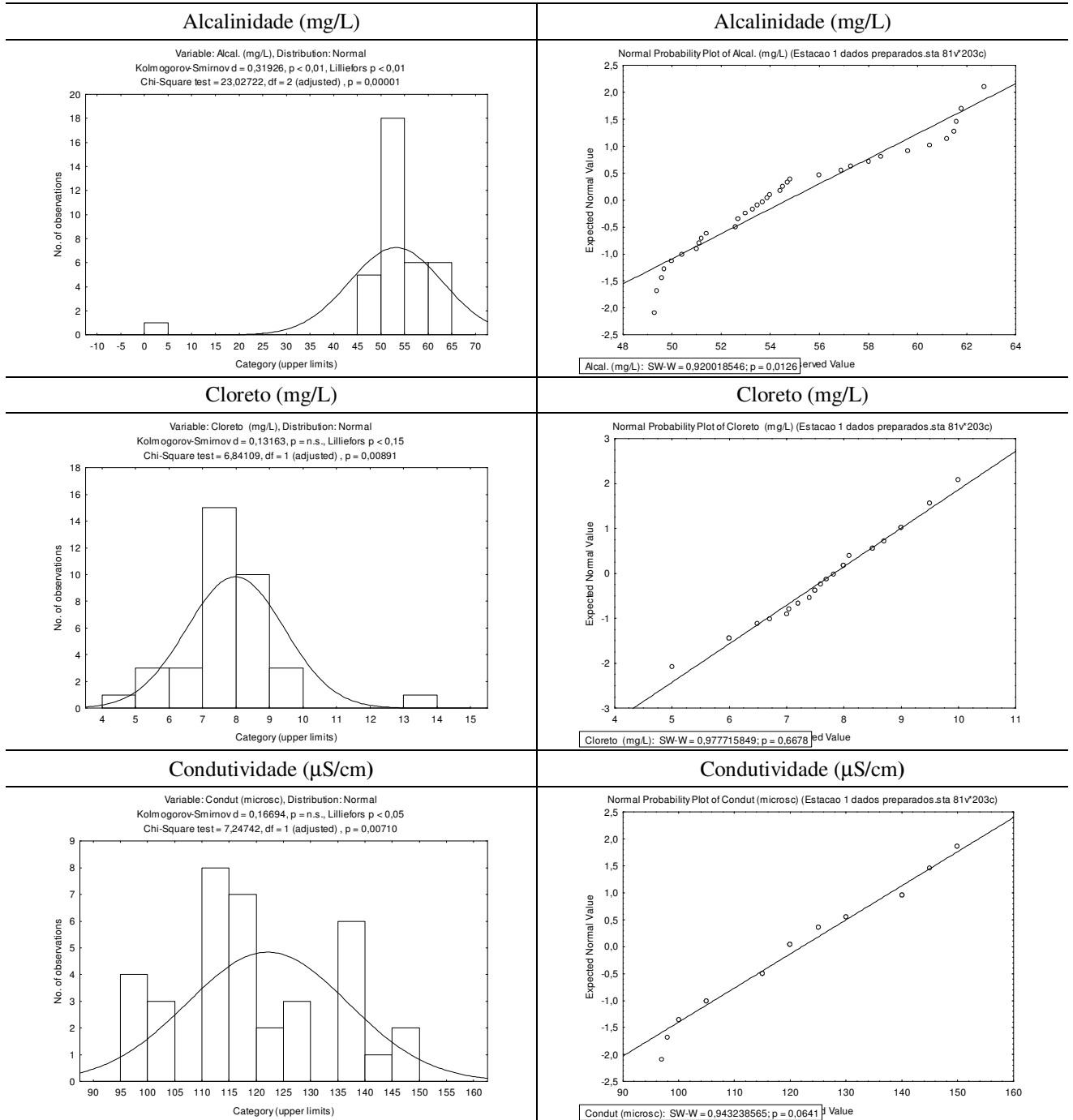


Figura A4 – Testes de normalidade dos dados de alcalinidade, cloreto e condutividade, da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

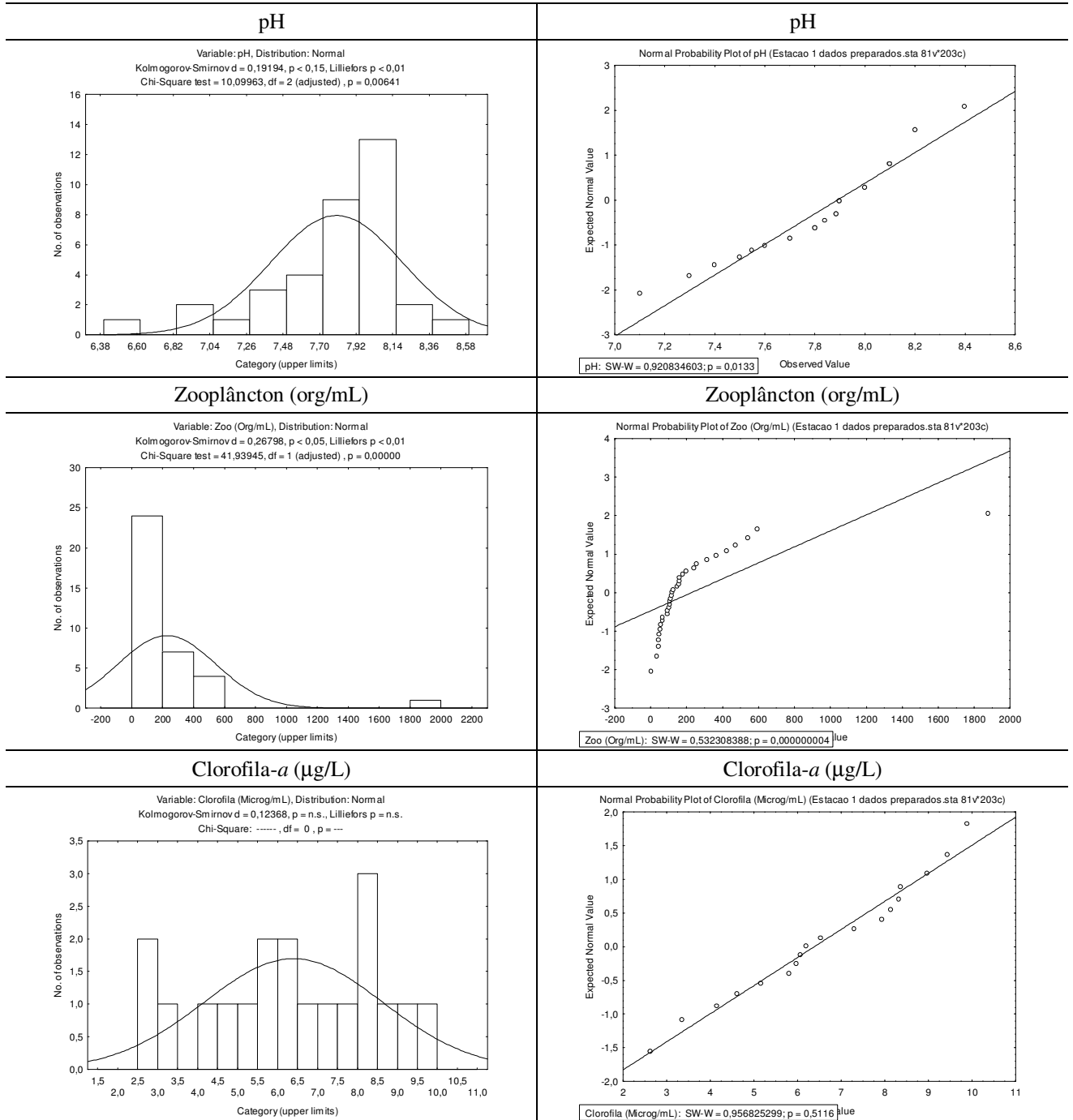


Figura A5 – Testes de normalidade dos dados de pH, zooplâncton e clorofila-a da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

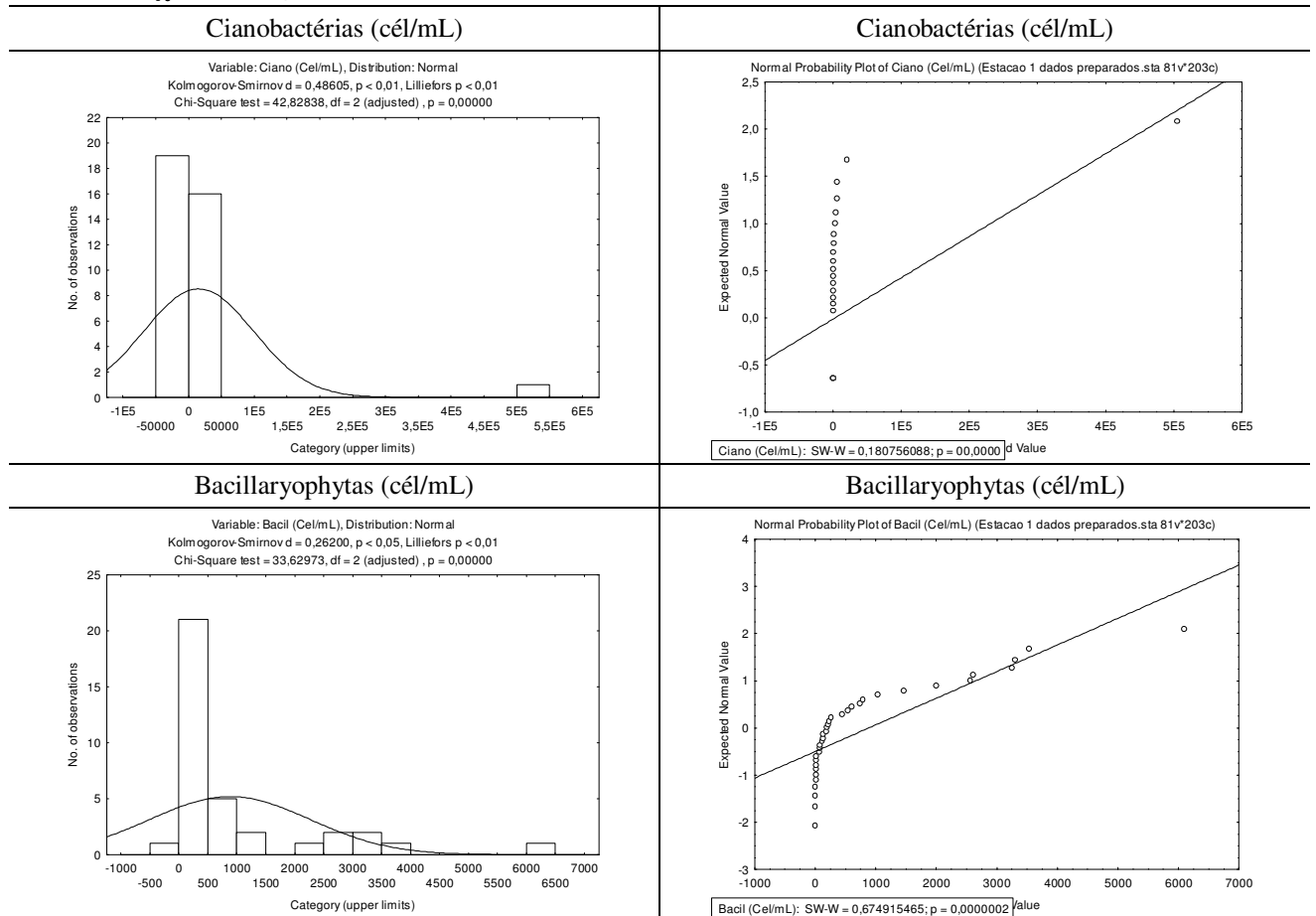


Figura A6 – Testes de normalidade dos dados de cianobactérias e bacillaryophytas da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

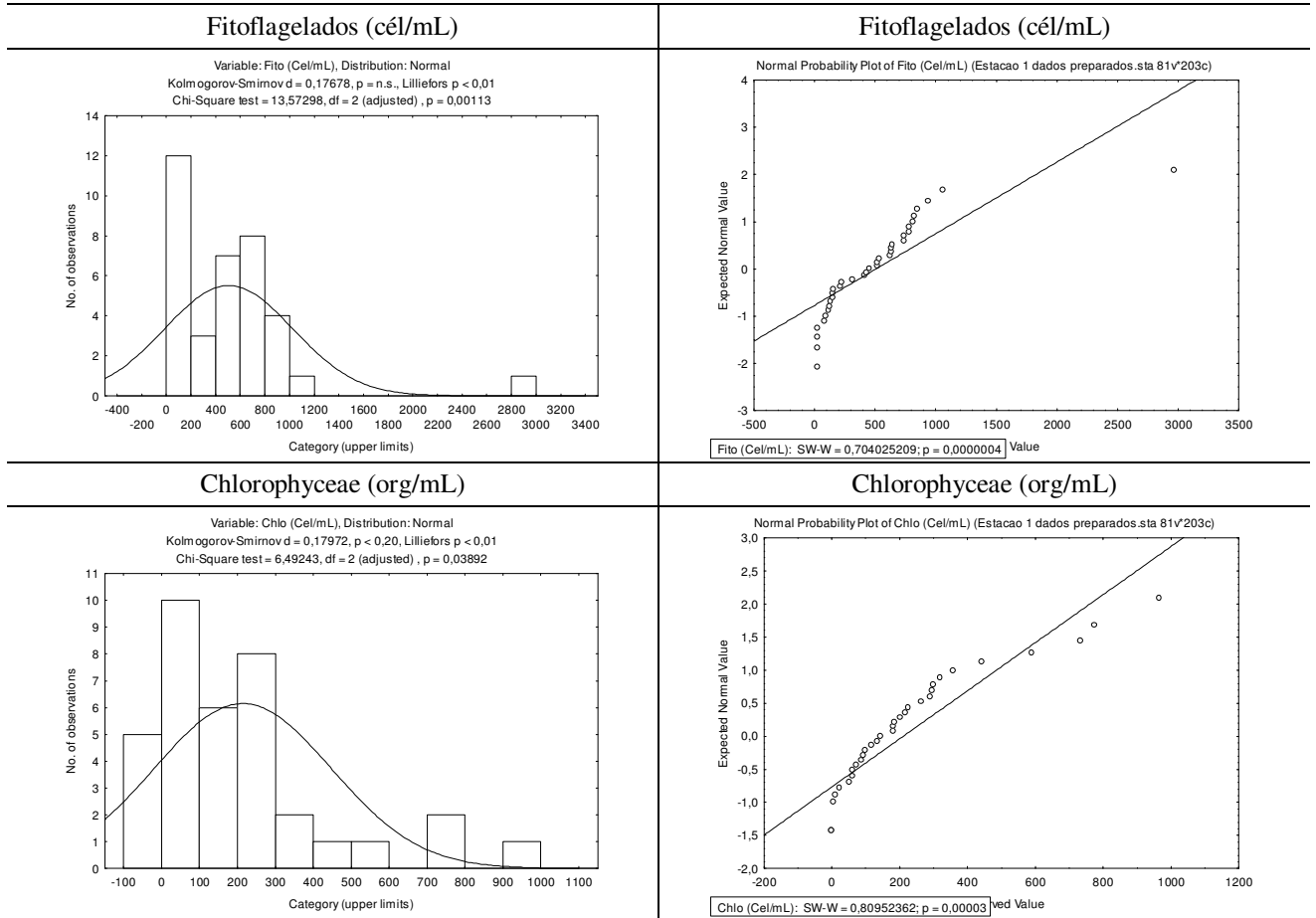


Figura A7 – Testes de normalidade dos dados de fitoflagelados, e chlorophyceas da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

APÊNDICE B

Coeficientes de correlação para postos de Spearman

Tabela B1 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados nas quatro estações de monitoramento nas quatro profundidades do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período chuvoso (Outubro a março)

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	0,10	-0,09	-0,15	0,10	0,26	-0,12	-0,10	-0,29	-0,20	0,01	0,08	0,04	-0,27	-0,33	-0,11	-0,14	-0,02	-0,16
OD	0,10	1,00	0,04	-0,07	-0,25	-0,24	-0,13	-0,11	0,14	0,22	-0,16	0,51	0,01	0,41	0,35	0,19	0,38	0,06	0,21
NH ₄	-0,09	0,04	1,00	-0,17	-0,19	-0,27	0,04	0,36	0,47	0,18	-0,10	0,16	0,01	0,19	0,14	-0,12	-0,01	0,29	0,10
NO ₃	-0,15	-0,07	-0,17	1,00	0,01	0,19	-0,09	-0,37	0,04	0,25	0,45	-0,14	-0,12	-0,11	-0,03	0,34	0,04	-0,01	-0,31
PO ₄	0,10	-0,25	-0,19	0,01	1,00	0,66	0,21	0,01	-0,33	-0,12	0,21	-0,34	0,12	-0,13	-0,17	0,10	-0,17	-0,18	0,19
PT	0,26	-0,24	-0,27	0,19	0,66	1,00	0,09	-0,08	-0,41	-0,10	0,19	-0,38	-0,10	-0,35	-0,19	0,30	0,04	-0,13	-0,14
Turb.	-0,12	-0,13	0,04	-0,09	0,21	0,09	1,00	0,16	-0,05	0,02	0,05	-0,14	0,08	0,04	0,00	-0,07	-0,08	-0,26	0,27
Cor	-0,10	-0,11	0,36	-0,37	0,01	-0,08	0,16	1,00	-0,05	-0,18	-0,41	0,04	0,08	-0,05	-0,28	-0,32	-0,34	0,08	0,16
Alc.	-0,29	0,14	0,47	0,04	-0,33	-0,41	-0,05	-0,05	1,00	0,28	0,10	0,30	0,11	0,39	0,40	-0,02	0,14	0,27	0,13
Cl	-0,20	0,22	0,18	0,25	-0,12	-0,10	0,02	-0,18	0,28	1,00	0,35	0,13	-0,05	0,31	0,37	0,24	0,35	-0,10	0,04
Cond	0,01	-0,16	-0,10	0,45	0,21	0,19	0,05	-0,41	0,10	0,35	1,00	-0,15	0,01	-0,02	0,16	0,25	0,12	-0,22	-0,09
pH	0,08	0,51	0,16	-0,14	-0,34	-0,38	-0,14	0,04	0,30	0,13	-0,15	1,00	-0,01	0,42	0,26	0,07	0,23	0,08	-0,03
SST	0,04	0,01	0,01	-0,12	0,12	-0,10	0,08	0,08	0,11	-0,05	0,01	-0,01	1,00	0,21	0,04	-0,16	-0,13	-0,03	0,16
Ciano	-0,27	0,41	0,19	-0,11	-0,13	-0,35	0,04	-0,05	0,39	0,31	-0,02	0,42	0,21	1,00	0,53	0,02	0,24	0,06	0,21
Bac	-0,33	0,35	0,14	-0,03	-0,17	-0,19	0,00	-0,28	0,40	0,37	0,16	0,26	0,04	0,53	1,00	0,33	0,59	0,14	-0,14
Fito	-0,11	0,19	-0,12	0,34	0,10	0,30	-0,07	-0,32	-0,02	0,24	0,25	0,07	-0,16	0,02	0,33	1,00	0,51	-0,02	-0,05
Chloro	-0,14	0,38	-0,01	0,04	-0,17	0,04	-0,08	-0,34	0,14	0,35	0,12	0,23	-0,13	0,24	0,59	0,51	1,00	-0,17	-0,05
Zoo	-0,02	0,06	0,29	-0,01	-0,18	-0,13	-0,26	0,08	0,27	-0,10	-0,22	0,08	-0,03	0,06	0,14	-0,02	-0,17	1,00	-0,22
Cl-a	-0,16	0,21	0,10	-0,31	0,19	-0,14	0,27	0,16	0,13	0,04	-0,09	-0,03	0,16	0,21	-0,14	-0,05	-0,05	-0,22	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B2 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados nas quatro estações de monitoramento nas quatro profundidades do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período seco (Abril a setembro)

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	-0,46	-0,18	-0,62	0,30	0,32	0,26	0,17	-0,03	-0,05	0,19	-0,38	0,15	0,01	-0,53	-0,46	-0,43	0,00	-0,05
OD	-0,46	1,00	-0,18	0,37	-0,26	-0,18	-0,36	-0,33	-0,10	0,13	0,01	0,47	0,00	0,09	0,49	0,44	0,43	0,09	0,40
NH ₄	-0,18	-0,18	1,00	-0,34	0,03	-0,33	0,09	0,43	0,15	-0,39	-0,56	-0,34	-0,09	-0,22	-0,33	-0,34	-0,24	0,17	-0,37
NO ₃	-0,62	0,37	-0,34	1,00	-0,10	0,03	-0,40	-0,53	-0,22	0,35	0,30	0,48	-0,18	0,10	0,52	0,39	0,31	-0,02	0,27
PO ₄	0,30	-0,26	0,03	-0,10	1,00	0,30	0,21	0,15	-0,13	0,01	0,14	-0,15	0,23	0,05	-0,19	-0,33	-0,29	0,20	-0,05
PT	0,32	-0,18	-0,33	0,03	0,30	1,00	0,17	-0,17	-0,11	0,25	0,57	-0,13	0,14	0,11	-0,01	0,12	-0,07	-0,12	-0,10
Turb.	0,26	-0,36	0,09	-0,40	0,21	0,17	1,00	0,53	0,30	-0,13	0,04	-0,31	0,21	0,02	-0,40	-0,36	-0,29	0,50	-0,24
Cor	0,17	-0,33	0,43	-0,53	0,15	-0,17	0,53	1,00	0,34	-0,36	-0,23	-0,44	0,15	-0,16	-0,56	-0,42	-0,35	0,48	-0,51
Alc.	-0,03	-0,10	0,15	-0,22	-0,13	-0,11	0,30	0,34	1,00	0,17	0,14	-0,10	-0,11	0,01	-0,18	0,02	0,12	0,43	-0,31
Cl	-0,05	0,13	-0,39	0,35	0,01	0,25	-0,13	-0,36	0,17	1,00	0,55	0,30	-0,17	0,21	0,24	0,34	0,33	0,09	-0,02
Cond	0,19	0,01	-0,56	0,30	0,14	0,57	0,04	-0,23	0,14	0,55	1,00	0,10	-0,06	0,24	0,23	0,42	0,19	-0,01	0,10
pH	-0,38	0,47	-0,34	0,48	-0,15	-0,13	-0,31	-0,44	-0,10	0,30	0,10	1,00	-0,07	0,37	0,58	0,35	0,52	-0,20	0,49
SST	0,15	0,00	-0,09	-0,18	0,23	0,14	0,21	0,15	-0,11	-0,17	-0,06	-0,07	1,00	0,00	0,02	-0,14	-0,01	0,12	0,08
Ciano	0,01	0,09	-0,22	0,10	0,05	0,11	0,02	-0,16	0,01	0,21	0,24	0,37	0,00	1,00	0,40	0,16	0,27	0,07	0,44
Bac	-0,53	0,49	-0,33	0,52	-0,19	-0,01	-0,40	-0,56	-0,18	0,24	0,23	0,58	0,02	0,40	1,00	0,58	0,64	-0,23	0,64
Fito	-0,46	0,44	-0,34	0,39	-0,33	0,12	-0,36	-0,42	0,02	0,34	0,42	0,35	-0,14	0,16	0,58	1,00	0,61	-0,18	0,25
Chloro	-0,43	0,43	-0,24	0,31	-0,29	-0,07	-0,29	-0,35	0,12	0,33	0,19	0,52	-0,01	0,27	0,64	0,61	1,00	0,12	0,37
Zoo	0,00	0,09	0,17	-0,02	0,20	-0,12	0,50	0,48	0,43	0,09	-0,01	-0,20	0,12	0,07	-0,23	-0,18	0,12	1,00	-0,13
Cl-a	-0,05	0,40	-0,37	0,27	-0,05	-0,10	-0,24	-0,51	-0,31	-0,02	0,10	0,49	0,08	0,44	0,64	0,25	0,37	-0,13	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B3 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na **superfície** nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	0,25	-0,08	-0,20	0,01	0,12	-0,28	-0,21	-0,28	-0,24	0,00	0,33	-0,07	-0,18	-0,28	-0,16	-0,13	0,00	-0,19
OD	0,25	1,00	0,14	-0,01	-0,18	-0,18	-0,15	-0,02	0,11	0,19	-0,15	0,53	0,20	0,40	0,24	0,18	0,27	0,03	0,18
NH ₄	-0,08	0,14	1,00	-0,21	-0,11	-0,22	0,03	0,40	0,43	0,29	-0,19	0,14	-0,02	0,21	0,21	-0,10	0,11	0,29	0,11
NO ₃	-0,20	-0,01	-0,21	1,00	-0,19	0,04	-0,09	-0,40	0,14	0,35	0,50	-0,10	-0,10	-0,15	0,02	0,35	-0,02	-0,01	-0,31
PO ₄	0,01	-0,18	-0,11	-0,19	1,00	0,62	0,22	0,01	-0,22	-0,09	0,23	-0,34	0,08	0,00	-0,05	0,11	-0,09	-0,18	0,19
PT	0,12	-0,18	-0,22	0,04	0,62	1,00	0,04	-0,05	-0,32	-0,07	0,21	-0,31	-0,16	-0,26	-0,06	0,31	0,13	-0,13	-0,14
Turb.	-0,28	-0,15	0,03	-0,09	0,22	0,04	1,00	0,07	-0,06	-0,02	-0,02	-0,23	0,02	0,09	0,08	-0,01	-0,05	-0,26	0,27
Cor	-0,21	-0,02	0,40	-0,40	0,01	-0,05	0,07	1,00	-0,10	-0,16	-0,50	0,01	0,06	0,02	-0,18	-0,22	-0,20	0,08	0,16
Alc.	-0,28	0,11	0,43	0,14	-0,22	-0,32	-0,06	-0,10	1,00	0,33	0,17	0,25	0,12	0,35	0,40	0,07	0,19	0,27	0,13
Cl	-0,24	0,19	0,29	0,35	-0,09	-0,07	-0,02	-0,16	0,33	1,00	0,31	0,04	-0,06	0,28	0,30	0,24	0,27	-0,10	0,04
Cond	0,00	-0,15	-0,19	0,50	0,23	0,21	-0,02	-0,50	0,17	0,31	1,00	-0,07	-0,08	-0,04	0,15	0,31	0,15	-0,22	-0,09
pH	0,33	0,53	0,14	-0,10	-0,34	-0,31	-0,23	0,01	0,25	0,04	-0,07	1,00	0,03	0,27	0,06	0,07	0,16	0,08	-0,03
SST	-0,07	0,20	-0,02	-0,10	0,08	-0,16	0,02	0,06	0,12	-0,06	-0,08	0,03	1,00	0,41	0,10	-0,10	-0,10	-0,03	0,16
Ciano	-0,18	0,40	0,21	-0,15	0,00	-0,26	0,09	0,02	0,35	0,28	-0,04	0,27	0,41	1,00	0,43	-0,01	0,10	0,06	0,21
Bac	-0,28	0,24	0,21	0,02	-0,05	-0,06	0,08	-0,18	0,40	0,30	0,15	0,06	0,10	0,43	1,00	0,28	0,53	0,14	-0,14
Fito	-0,16	0,18	-0,10	0,35	0,11	0,31	-0,01	-0,22	0,07	0,24	0,31	0,07	-0,10	-0,01	0,28	1,00	0,46	-0,02	-0,05
Chloro	-0,13	0,27	0,11	-0,02	-0,09	0,13	-0,05	-0,20	0,19	0,27	0,15	0,16	-0,10	0,10	0,53	0,46	1,00	-0,17	-0,05
Zoo	0,00	0,03	0,29	-0,01	-0,18	-0,13	-0,26	0,08	0,27	-0,10	-0,22	0,08	-0,03	0,06	0,14	-0,02	-0,17	1,00	-0,22
Cl-a	-0,19	0,18	0,11	-0,31	0,19	-0,14	0,27	0,16	0,13	0,04	-0,09	-0,03	0,16	0,21	-0,14	-0,05	-0,05	-0,22	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B4 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na **superfície** nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	-0,28	-0,22	-0,59	0,20	0,07	0,09	0,22	0,02	-0,12	0,07	-0,27	0,19	0,03	-0,58	-0,41	-0,26	0,01	-0,35
OD	-0,28	1,00	-0,20	0,20	-0,20	-0,27	-0,29	-0,23	0,02	0,27	0,04	0,48	-0,02	0,09	0,47	0,24	0,41	0,15	0,64
NH ₄	-0,22	-0,20	1,00	-0,26	0,03	-0,28	0,14	0,39	0,00	-0,43	-0,61	-0,29	0,07	-0,28	-0,37	-0,36	-0,29	0,21	-0,58
NO ₃	-0,59	0,20	-0,26	1,00	-0,11	0,08	-0,31	-0,52	-0,28	0,41	0,32	0,28	-0,27	-0,10	0,43	0,21	0,06	-0,08	0,26
PO ₄	0,20	-0,20	0,03	-0,11	1,00	0,11	0,18	0,17	-0,28	-0,18	-0,10	-0,03	0,37	0,19	0,00	-0,29	-0,08	0,24	0,04
PT	0,07	-0,27	-0,28	0,08	0,11	1,00	0,21	-0,02	-0,19	0,16	0,46	-0,04	0,13	0,13	0,12	0,07	-0,27	-0,15	-0,26
Turb.	0,09	-0,29	0,14	-0,31	0,18	0,21	1,00	0,61	0,25	-0,09	-0,01	-0,22	0,09	0,15	-0,31	-0,19	-0,11	0,53	-0,32
Cor	0,22	-0,23	0,39	-0,52	0,17	-0,02	0,61	1,00	0,30	-0,41	-0,18	-0,55	0,31	-0,25	-0,54	-0,29	-0,24	0,46	-0,77
Alc.	0,02	0,02	0,00	-0,28	-0,28	-0,19	0,25	0,30	1,00	0,05	0,17	-0,25	-0,09	0,04	-0,10	0,24	0,26	0,30	-0,20
Cl	-0,12	0,27	-0,43	0,41	-0,18	0,16	-0,09	-0,41	0,05	1,00	0,58	0,24	-0,15	0,18	0,28	0,49	0,30	0,11	0,30
Cond	0,07	0,04	-0,61	0,32	-0,10	0,46	-0,01	-0,18	0,17	0,58	1,00	0,18	-0,20	0,16	0,35	0,54	0,14	-0,01	0,38
pH	-0,27	0,48	-0,29	0,28	-0,03	-0,04	-0,22	-0,55	-0,25	0,24	0,18	1,00	-0,18	0,37	0,59	0,28	0,46	-0,22	0,70
SST	0,19	-0,02	0,07	-0,27	0,37	0,13	0,09	0,31	-0,09	-0,15	-0,20	-0,18	1,00	-0,11	-0,08	-0,25	0,12	0,17	-0,22
Ciano	0,03	0,09	-0,28	-0,10	0,19	0,13	0,15	-0,25	0,04	0,18	0,16	0,37	-0,11	1,00	0,48	0,25	0,24	-0,07	0,50
Bac	-0,58	0,47	-0,37	0,43	0,00	0,12	-0,31	-0,54	-0,10	0,28	0,35	0,59	-0,08	0,48	1,00	0,53	0,58	-0,12	0,77
Fito	-0,41	0,24	-0,36	0,21	-0,29	0,07	-0,19	-0,29	0,24	0,49	0,54	0,28	-0,25	0,25	0,53	1,00	0,46	-0,02	0,30
Chloro	-0,26	0,41	-0,29	0,06	-0,08	-0,27	-0,11	-0,24	0,26	0,30	0,14	0,46	0,12	0,24	0,58	0,46	1,00	0,20	0,50
Zoo	0,01	0,15	0,21	-0,08	0,24	-0,15	0,53	0,46	0,30	0,11	-0,01	-0,22	0,17	-0,07	-0,12	-0,02	0,20	1,00	-0,08
Cl-a	-0,35	0,64	-0,58	0,26	0,04	-0,26	-0,32	-0,77	-0,20	0,30	0,38	0,70	-0,22	0,50	0,77	0,30	0,50	-0,08	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B5 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na profundidade de secchi nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	0,34	-0,15	-0,24	0,08	0,13	-0,24	-0,25	-0,30	-0,18	0,02	0,36	-0,02	-0,08	-0,30	-0,15	-0,07	-0,06	-0,12
OD	0,34	1,00	0,18	-0,11	-0,10	-0,20	-0,16	0,04	0,15	0,16	-0,23	0,49	0,29	0,48	0,16	0,05	0,21	0,08	0,22
NH ₄	-0,15	0,18	1,00	-0,20	-0,10	-0,23	0,04	0,40	0,46	0,32	-0,17	0,16	-0,06	0,22	0,22	-0,08	0,09	0,29	0,11
NO ₃	-0,24	-0,11	-0,20	1,00	-0,19	0,04	-0,09	-0,40	0,14	0,35	0,50	-0,10	-0,10	-0,15	0,02	0,35	-0,02	-0,01	-0,31
PO ₄	0,08	-0,10	-0,10	-0,19	1,00	0,62	0,22	0,01	-0,22	-0,09	0,23	-0,34	0,08	0,00	-0,05	0,11	-0,09	-0,18	0,19
PT	0,13	-0,20	-0,23	0,04	0,62	1,00	0,04	-0,05	-0,32	-0,07	0,21	-0,31	-0,16	-0,26	-0,06	0,31	0,13	-0,13	-0,14
Turb.	-0,24	-0,16	0,04	-0,09	0,22	0,04	1,00	0,07	-0,06	-0,02	-0,02	-0,23	0,02	0,09	0,08	-0,01	-0,05	-0,26	0,27
Cor	-0,25	0,04	0,40	-0,40	0,01	-0,05	0,07	1,00	-0,10	-0,16	-0,50	0,01	0,06	0,02	-0,18	-0,22	-0,20	0,08	0,16
Alc.	-0,30	0,15	0,46	0,14	-0,22	-0,32	-0,06	-0,10	1,00	0,33	0,17	0,25	0,12	0,35	0,40	0,07	0,19	0,27	0,13
Cl	-0,18	0,16	0,32	0,35	-0,09	-0,07	-0,02	-0,16	0,33	1,00	0,31	0,04	-0,06	0,28	0,30	0,24	0,27	-0,10	0,04
Cond	0,02	-0,23	-0,17	0,50	0,23	0,21	-0,02	-0,50	0,17	0,31	1,00	-0,07	-0,08	-0,04	0,15	0,31	0,15	-0,22	-0,09
pH	0,36	0,49	0,16	-0,10	-0,34	-0,31	-0,23	0,01	0,25	0,04	-0,07	1,00	0,03	0,27	0,06	0,07	0,16	0,08	-0,03
SST	-0,02	0,29	-0,06	-0,10	0,08	-0,16	0,02	0,06	0,12	-0,06	-0,08	0,03	1,00	0,41	0,10	-0,10	-0,10	-0,03	0,16
Ciano	-0,08	0,48	0,22	-0,15	0,00	-0,26	0,09	0,02	0,35	0,28	-0,04	0,27	0,41	1,00	0,43	-0,01	0,10	0,06	0,21
Bac	-0,30	0,16	0,22	0,02	-0,05	-0,06	0,08	-0,18	0,40	0,30	0,15	0,06	0,10	0,43	1,00	0,28	0,53	0,14	-0,14
Fito	-0,15	0,05	-0,08	0,35	0,11	0,31	-0,01	-0,22	0,07	0,24	0,31	0,07	-0,10	-0,01	0,28	1,00	0,46	-0,02	-0,05
Chloro	-0,07	0,21	0,09	-0,02	-0,09	0,13	-0,05	-0,20	0,19	0,27	0,15	0,16	-0,10	0,10	0,53	0,46	1,00	-0,17	-0,05
Zoo	-0,06	0,08	0,29	-0,01	-0,18	-0,13	-0,26	0,08	0,27	-0,10	-0,22	0,08	-0,03	0,06	0,14	-0,02	-0,17	1,00	-0,22
Cl-a	-0,12	0,22	0,11	-0,31	0,19	-0,14	0,27	0,16	0,13	0,04	-0,09	-0,03	0,16	0,21	-0,14	-0,05	-0,05	-0,22	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B6 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na profundidade de secchi nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	-0,45	-0,24	-0,65	0,31	0,32	0,22	0,10	-0,23	-0,22	0,08	-0,39	0,23	0,02	-0,42	-0,32	-0,36	-0,02	0,09
OD	-0,45	1,00	-0,05	0,53	-0,30	0,00	-0,34	-0,28	-0,19	0,18	-0,02	0,42	0,06	0,12	0,33	0,37	0,31	0,03	0,25
NH ₄	-0,24	-0,05	1,00	-0,31	-0,05	-0,41	0,03	0,31	0,14	-0,38	-0,60	-0,37	-0,32	-0,32	-0,17	-0,20	0,00	0,15	-0,29
NO ₃	-0,65	0,53	-0,31	1,00	-0,18	-0,05	-0,51	-0,57	-0,06	0,58	0,51	0,52	-0,08	0,23	0,61	0,50	0,31	0,01	0,26
PO ₄	0,31	-0,30	-0,05	-0,18	1,00	0,20	0,20	0,23	-0,04	0,06	0,13	-0,21	0,03	0,07	-0,15	-0,24	-0,31	0,17	-0,10
PT	0,32	0,00	-0,41	-0,05	0,20	1,00	0,06	-0,23	-0,23	0,32	0,52	-0,01	0,23	0,31	0,05	0,26	0,04	-0,09	0,00
Turb.	0,22	-0,34	0,03	-0,51	0,20	0,06	1,00	0,61	0,22	-0,28	0,01	-0,36	0,13	0,07	-0,41	-0,33	-0,32	0,45	-0,18
Cor	0,10	-0,28	0,31	-0,57	0,23	-0,23	0,61	1,00	0,49	-0,43	-0,19	-0,52	0,01	-0,17	-0,53	-0,45	-0,27	0,49	-0,39
Alc.	-0,23	-0,19	0,14	-0,06	-0,04	-0,23	0,22	0,49	1,00	0,22	0,13	-0,12	-0,15	0,00	-0,15	-0,09	0,11	0,56	-0,38
Cl	-0,22	0,18	-0,38	0,58	0,06	0,32	-0,28	-0,43	0,22	1,00	0,61	0,36	-0,23	0,25	0,24	0,31	0,34	0,08	-0,22
Cond	0,08	-0,02	-0,60	0,51	0,13	0,52	0,01	-0,19	0,13	0,61	1,00	0,16	0,16	0,34	0,19	0,43	0,16	0,00	-0,04
pH	-0,39	0,42	-0,37	0,52	-0,21	-0,01	-0,36	-0,52	-0,12	0,36	0,16	1,00	0,12	0,45	0,67	0,33	0,56	-0,18	0,38
SST	0,23	0,06	-0,32	-0,08	0,03	0,23	0,13	0,01	-0,15	-0,23	0,16	0,12	1,00	0,13	0,06	0,06	-0,04	0,04	0,27
Ciano	0,02	0,12	-0,32	0,23	0,07	0,31	0,07	-0,17	0,00	0,25	0,34	0,45	0,13	1,00	0,53	0,16	0,37	0,14	0,43
Bac	-0,42	0,33	-0,17	0,61	-0,15	0,05	-0,41	-0,53	-0,15	0,24	0,19	0,67	0,06	0,53	1,00	0,58	0,61	-0,29	0,58
Fito	-0,32	0,37	-0,20	0,50	-0,24	0,26	-0,33	-0,45	-0,09	0,31	0,43	0,33	0,06	0,16	0,58	1,00	0,50	-0,30	0,21
Chloro	-0,36	0,31	0,00	0,31	-0,31	0,04	-0,32	-0,27	0,11	0,34	0,16	0,56	-0,04	0,37	0,61	0,50	1,00	0,05	0,28
Zoo	-0,02	0,03	0,15	0,01	0,17	-0,09	0,45	0,49	0,56	0,08	0,00	-0,18	0,04	0,14	-0,29	-0,30	0,05	1,00	-0,17
Cl-a	0,09	0,25	-0,29	0,26	-0,10	0,00	-0,18	-0,39	-0,38	-0,22	-0,04	0,38	0,27	0,43	0,58	0,21	0,28	-0,17	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B7 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados a **cinco metros** nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,03	-0,11	-0,19	0,07	0,26	-0,12	-0,06	-0,26	-0,24	-0,11	-0,01	-0,08	-0,34	-0,33	0,12	-0,22
OD	-0,03	1,00	0,15	-0,04	-0,34	-0,28	-0,07	0,00	0,18	0,27	-0,18	0,54	-0,08	0,32	0,33	-0,03	0,29
NH4	-0,11	0,15	1,00	-0,13	-0,26	-0,31	0,01	0,29	0,57	0,15	-0,15	0,31	0,16	0,30	0,24	-0,02	0,03
NO3	-0,19	-0,04	-0,13	1,00	0,19	0,38	-0,06	-0,46	0,02	0,15	0,42	-0,28	-0,17	-0,10	-0,02	0,37	0,22
PO4	0,07	-0,34	-0,26	0,19	1,00	0,67	0,22	-0,10	-0,32	-0,10	0,26	-0,38	0,07	-0,20	-0,23	0,17	-0,30
PT	0,26	-0,28	-0,31	0,38	0,67	1,00	0,01	-0,28	-0,40	-0,14	0,21	-0,41	-0,16	-0,38	-0,21	0,48	0,02
Turb.	-0,12	-0,07	0,01	-0,06	0,22	0,01	1,00	0,13	-0,02	0,21	0,19	-0,15	0,06	0,02	-0,09	-0,20	-0,13
Cor	-0,06	0,00	0,29	-0,46	-0,10	-0,28	0,13	1,00	-0,06	-0,22	-0,44	0,17	0,02	-0,11	-0,35	-0,28	-0,36
Alc.	-0,26	0,18	0,57	0,02	-0,32	-0,40	-0,02	-0,06	1,00	0,30	0,07	0,37	0,23	0,51	0,51	-0,17	0,24
Cl	-0,24	0,27	0,15	0,15	-0,10	-0,14	0,21	-0,22	0,30	1,00	0,26	0,26	0,11	0,49	0,47	0,09	0,50
Cond	-0,11	-0,18	-0,15	0,42	0,26	0,21	0,19	-0,44	0,07	0,26	1,00	-0,18	0,11	0,10	0,25	0,18	0,14
pH	-0,01	0,54	0,31	-0,28	-0,38	-0,41	-0,15	0,17	0,37	0,26	-0,18	1,00	0,13	0,48	0,35	-0,13	0,09
SST	-0,08	-0,08	0,16	-0,17	0,07	-0,16	0,06	0,02	0,23	0,11	0,11	0,13	1,00	0,22	0,24	0,00	0,10
Ciano	-0,34	0,32	0,30	-0,10	-0,20	-0,38	0,02	-0,11	0,51	0,49	0,10	0,48	0,22	1,00	0,62	-0,18	0,30
Bac	-0,33	0,33	0,24	-0,02	-0,23	-0,21	-0,09	-0,35	0,51	0,47	0,25	0,35	0,24	0,62	1,00	0,21	0,59
Fito	0,12	-0,03	-0,02	0,37	0,17	0,48	-0,20	-0,28	-0,17	0,09	0,18	-0,13	0,00	-0,18	0,21	1,00	0,43
Chloro	-0,22	0,29	0,03	0,22	-0,30	0,02	-0,13	-0,36	0,24	0,50	0,14	0,09	0,10	0,30	0,59	0,43	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B8 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados a **cinco metros** nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,43	-0,27	-0,59	0,13	0,32	0,28	0,02	0,03	0,06	0,16	-0,35	0,04	-0,04	-0,57	-0,51	-0,52
OD	-0,43	1,00	-0,19	0,21	-0,13	-0,12	-0,32	-0,26	-0,21	-0,01	0,12	0,38	0,21	0,15	0,64	0,49	0,49
NH4	-0,27	-0,19	1,00	-0,23	0,02	-0,47	0,08	0,49	0,10	-0,37	-0,61	-0,31	-0,14	-0,10	-0,34	-0,34	-0,28
NO3	-0,59	0,21	-0,23	1,00	0,13	0,40	-0,28	-0,43	-0,20	0,07	0,28	0,43	-0,17	0,03	0,38	0,35	0,30
PO4	0,13	-0,13	0,02	0,13	1,00	0,34	0,18	0,05	-0,16	-0,10	0,12	-0,08	0,26	-0,10	-0,14	-0,43	-0,48
PT	0,32	-0,12	-0,47	0,40	0,34	1,00	0,10	-0,44	-0,01	0,20	0,51	-0,05	0,13	-0,12	-0,01	0,10	-0,06
Turb.	0,28	-0,32	0,08	-0,28	0,18	0,10	1,00	0,35	0,45	-0,08	-0,01	-0,22	0,35	-0,15	-0,49	-0,43	-0,40
Cor	0,02	-0,26	0,49	-0,43	0,05	-0,44	0,35	1,00	0,26	-0,37	-0,43	-0,22	0,11	-0,04	-0,60	-0,35	-0,41
Alc.	0,03	-0,21	0,10	-0,20	-0,16	-0,01	0,45	0,26	1,00	0,33	0,25	-0,08	-0,07	-0,13	-0,22	0,17	0,05
Cl	0,06	-0,01	-0,37	0,07	-0,10	0,20	-0,08	-0,37	0,33	1,00	0,52	0,35	-0,13	0,13	0,30	0,29	0,32
Cond	0,16	0,12	-0,61	0,28	0,12	0,51	-0,01	-0,43	0,25	0,52	1,00	0,16	-0,04	0,11	0,34	0,56	0,26
pH	-0,35	0,38	-0,31	0,43	-0,08	-0,05	-0,22	-0,22	-0,08	0,35	0,16	1,00	-0,05	0,46	0,55	0,40	0,55
SST	0,04	0,21	-0,14	-0,17	0,26	0,13	0,35	0,11	-0,07	-0,13	-0,04	-0,05	1,00	-0,13	0,14	-0,12	0,00
Ciano	-0,04	0,15	-0,10	0,03	-0,10	-0,12	-0,15	-0,04	-0,13	0,13	0,11	0,46	-0,13	1,00	0,17	0,13	0,19
Bac	-0,57	0,64	-0,34	0,38	-0,14	-0,01	-0,49	-0,60	-0,22	0,30	0,34	0,55	0,14	0,17	1,00	0,59	0,75
Fito	-0,51	0,49	-0,34	0,35	-0,43	0,10	-0,43	-0,35	0,17	0,29	0,56	0,40	-0,12	0,13	0,59	1,00	0,71
Chloro	-0,52	0,49	-0,28	0,30	-0,48	-0,06	-0,40	-0,41	0,05	0,32	0,26	0,55	0,00	0,19	0,75	0,71	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B9 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados no **fundo** das estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,20	-0,02	0,08	0,25	0,48	0,27	0,11	-0,30	-0,11	0,16	-0,33	0,29	-0,38	-0,46	-0,32	-0,24
OD	-0,20	1,00	-0,24	-0,10	-0,27	-0,26	-0,08	-0,45	0,09	0,28	-0,02	0,46	-0,39	0,54	0,73	0,61	0,67
NH ₄	-0,02	-0,24	1,00	-0,08	-0,30	-0,27	0,04	0,33	0,45	0,05	0,07	0,10	-0,11	0,04	-0,08	-0,21	-0,19
NO ₃	0,08	-0,10	-0,08	1,00	0,29	0,31	-0,07	-0,32	-0,18	0,13	0,28	-0,07	-0,10	0,02	-0,05	0,35	0,08
PO ₄	0,25	-0,27	-0,30	0,29	1,00	0,68	0,26	0,12	-0,49	-0,21	0,16	-0,30	0,35	-0,27	-0,35	0,01	-0,21
PT	0,48	-0,26	-0,27	0,31	0,68	1,00	0,29	0,10	-0,57	-0,08	0,12	-0,47	0,09	-0,47	-0,46	0,05	-0,14
Turb.	0,27	-0,08	0,04	-0,07	0,26	0,29	1,00	0,35	-0,12	-0,11	0,04	-0,03	0,22	-0,07	-0,21	-0,01	-0,10
Cor	0,11	-0,45	0,33	-0,32	0,12	0,10	0,35	1,00	0,04	-0,21	-0,24	-0,04	0,17	-0,15	-0,43	-0,47	-0,55
Alc.	-0,30	0,09	0,45	-0,18	-0,49	-0,57	-0,12	0,04	1,00	0,20	-0,02	0,32	-0,07	0,36	0,27	-0,05	-0,01
Cl	-0,11	0,28	0,05	0,13	-0,21	-0,08	-0,11	-0,21	0,20	1,00	0,53	0,20	-0,23	0,28	0,39	0,39	0,33
Cond	0,16	-0,02	0,07	0,28	0,16	0,12	0,04	-0,24	-0,02	0,53	1,00	-0,21	0,12	-0,04	0,10	0,19	0,13
pH	-0,33	0,46	0,10	-0,07	-0,30	-0,47	-0,03	-0,04	0,32	0,20	-0,21	1,00	-0,26	0,59	0,62	0,33	0,44
SST	0,29	-0,39	-0,11	-0,10	0,35	0,09	0,22	0,17	-0,07	-0,23	0,12	-0,26	1,00	-0,20	-0,36	-0,41	-0,41
Ciano	-0,38	0,54	0,04	0,02	-0,27	-0,47	-0,07	-0,15	0,36	0,28	-0,04	0,59	-0,20	1,00	0,68	0,43	0,42
Bac	-0,46	0,73	-0,08	-0,05	-0,35	-0,46	-0,21	-0,43	0,27	0,39	0,10	0,62	-0,36	0,68	1,00	0,61	0,77
Fito	-0,32	0,61	-0,21	0,35	0,01	0,05	-0,01	-0,47	-0,05	0,39	0,19	0,33	-0,41	0,43	0,61	1,00	0,70
Chloro	-0,24	0,67	-0,19	0,08	-0,21	-0,14	-0,10	-0,55	-0,01	0,33	0,13	0,44	-0,41	0,42	0,77	0,70	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B10 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados no **fundo** das estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,68	0,04	-0,63	0,48	0,55	0,47	0,34	0,04	0,10	0,41	-0,56	0,15	-0,02	-0,68	-0,69	-0,72
OD	-0,68	1,00	-0,29	0,56	-0,34	-0,34	-0,38	-0,54	-0,07	0,04	-0,07	0,59	-0,28	-0,04	0,68	0,67	0,65
NH ₄	0,04	-0,29	1,00	-0,62	0,10	-0,17	0,13	0,60	0,37	-0,35	-0,46	-0,38	-0,01	-0,17	-0,61	-0,54	-0,48
NO ₃	-0,63	0,56	-0,62	1,00	-0,33	-0,31	-0,57	-0,67	-0,30	0,30	0,12	0,68	-0,26	0,22	0,64	0,56	0,72
PO ₄	0,48	-0,34	0,10	-0,33	1,00	0,53	0,21	0,11	-0,05	0,21	0,43	-0,34	0,19	0,12	-0,36	-0,29	-0,32
PT	0,55	-0,34	-0,17	-0,31	0,53	1,00	0,30	0,00	0,08	0,27	0,70	-0,39	0,02	0,15	-0,30	0,02	-0,04
Turb.	0,47	-0,38	0,13	-0,57	0,21	0,30	1,00	0,50	0,27	-0,15	0,15	-0,39	0,24	-0,01	-0,48	-0,49	-0,44
Cor	0,34	-0,54	0,60	-0,67	0,11	0,00	0,50	1,00	0,30	-0,34	-0,19	-0,46	0,23	-0,20	-0,67	-0,69	-0,62
Alc.	0,04	-0,07	0,37	-0,30	-0,05	0,08	0,27	0,30	1,00	0,11	0,07	0,05	-0,07	0,16	-0,35	-0,14	0,01
Cl	0,10	0,04	-0,35	0,30	0,21	0,27	-0,15	-0,34	0,11	1,00	0,45	0,24	-0,12	0,27	0,27	0,31	0,37
Cond	0,41	-0,07	-0,46	0,12	0,43	0,70	0,15	-0,19	0,07	0,45	1,00	-0,11	-0,16	0,29	0,04	0,18	0,20
pH	-0,56	0,59	-0,38	0,68	-0,34	-0,39	-0,39	-0,46	0,05	0,24	-0,11	1,00	-0,17	0,17	0,53	0,49	0,66
SST	0,15	-0,28	-0,01	-0,26	0,19	0,02	0,24	0,23	-0,07	-0,12	-0,16	-0,17	1,00	-0,09	-0,10	-0,28	-0,17
Ciano	-0,02	-0,04	-0,17	0,22	0,12	0,15	-0,01	-0,20	0,16	0,27	0,29	0,17	-0,09	1,00	0,06	0,14	0,17
Bac	-0,68	0,68	-0,61	0,64	-0,36	-0,30	-0,48	-0,67	-0,35	0,27	0,04	0,53	-0,10	0,06	1,00	0,72	0,73
Fito	-0,69	0,67	-0,54	0,56	-0,29	0,02	-0,49	-0,69	-0,14	0,31	0,18	0,49	-0,28	0,14	0,72	1,00	0,82
Chloro	-0,72	0,65	-0,48	0,72	-0,32	-0,04	-0,44	-0,62	0,01	0,37	0,20	0,66	-0,17	0,17	0,73	0,82	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**Estudo da associação entre parâmetros bióticos e
abióticos e a ocorrência de florações de
cianobactérias no reservatório de Vargem das
Flores – MG.**

Lenora Nunes Ludolf Gomes

Belo Horizonte

2008

**Estudo da associação entre parâmetros bióticos e
abióticos e a ocorrência de florações de
cianobactérias no reservatório de Vargem das
Flores – MG.**

Lenora Nunes Ludolf Gomes

Lenora Nunes Ludolf Gomes

**Estudo da associação entre parâmetros bióticos e
abióticos e a ocorrência de florações de
cianobactérias no reservatório de Vargem das
Flores – Minas Gerais.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Caracterização e modelagem da qualidade de água para consumo humano

Orientador: Prof. Eduardo von Sperling

Co-orientadora: Prof^a. Alessandra Giani

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2008

*Aos meus queridos pais e
irmão.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador prof. Eduardo von Sperling, pelos conhecimentos transmitidos, incentivo e apoio em todos os momentos.

À prof.^a Alessandra Giani, pela co-orientação e colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

À querida amiga Sílvia M. A. C. Oliveira, companheira incansável nas longas e prazerosas horas de discussões sobre o trabalho, pelo incentivo e carinho inesquecíveis.

Ao prof. Brett Neilan pelo incentivo e oportunidade de desenvolver parte do trabalho em seu laboratório na Austrália.

Ao prof. Valter Lúcio de Pádua, pelas valiosas discussões e pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

À prof.^a Sandra M. F. O. Azevedo, por ter sempre me incentivado e orientado no meu caminho profissional.

À prof.^a Beatriz S. O. de Ceballos pelas contribuições e discussões enriquecedoras ao longo da pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, sempre dispostos a me ajudar quando precisei.

Aos queridos amigos e companheiros de longas noites de laboratório Jacson, Ana Maria e Lucinda, pelo apoio incondicional em todos os momentos e principalmente durante o ano em que estive na Austrália.

Às queridas amigas Valéria, Adriana e Silvana, por todo o carinho e apoio em todos os momentos.

A todos os colegas da equipe do Prosab Água - UFMG pela valiosa convivência e aprendizado mútuo.

À Iara, secretária do Programa de Pós-Graduação, pela constante disposição em me ajudar e apoio durante todos esses anos.

A todos os funcionários do DESA, em especial, Norma, Reginaldo, Deyse e Cláudia.

A todos os pesquisadores participantes da rede do Prosab edital-4 (EESC/USP, EPUSP, FEIS/UNESP, UFSC, UNB e IPH/UFRGS) pela gratificante troca de conhecimento durante os trabalhos.

À Copasa, em especial às equipes do Laboratório Central e da ETA de Vargem das Flores pelo apoio e disponibilização de sua estrutura e equipamentos durante a pesquisa.

Aos amigos queridos do Laboratório Central da Copasa Fernando Jardim, Patrícia Galinari, Simoni Cavaliere, Arlindo Mauro, pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

Ao Arlindo Valter, companheiro de tantas coletas que com dedicação e eficiência garantiu a boa qualidade das amostras.

Aos colegas do laboratório da Austrália, em especial à Anne Jungblut pelo treinamento e apoio permanente.

Ao CT-HIDRO e CNPq, pela concessão das bolsas.

À Finep e CEF, pelo financiamento do projeto dentro do âmbito do Prosab.

A todos os amigos e colegas que sempre me incentivaram e contribuíram nessa caminhada.

À Dona Chica pelo carinho e lembranças sempre amorosas.

E finalmente, à UFMG que foi responsável por toda minha formação.

RESUMO

O presente estudo visa compreender as relações entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos, e a ocorrência de cianobactérias no manancial de Vargem das Flores/MG. Para tanto, foi realizado o monitoramento dos parâmetros bióticos e abióticos da água do reservatório entre outubro de 2004 e outubro de 2007, e também estudo genético das cianobactérias isoladas do manancial. Os resultados dos parâmetros monitorados (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, Ferro Total, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*) indicaram perfis de distribuição na coluna d'água, tanto dos fatores físicos e químicos quanto dos biológicos, característicos para cada estação de amostragem. Análise estatística de agrupamento confirmou que a estação 1, localizada próxima à torre de tomada d'água da ETA, possui comportamento diferenciado, quase sempre apresentando água de melhor qualidade. Em geral, foi observada estratificação da coluna d'água, apresentando anoxia e maior concentração de nutrientes no hipolímnio durante o período chuvoso (verão) e circulação da massa d'água no período seco (inverno). O grupo das cianobactérias não foi encontrado durante o período seco, retornando logo após a desestratificação sendo esse ciclo repetido durante os três anos de pesquisa. Foi observada sucessão das espécies de cianobactérias encontradas no reservatório, com predomínio ao final do estudo do gênero *Aphanocapsa* sp. (picoplâncton). Através das análises de componentes principais pode ser percebido um padrão de correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de ortofosfato e fósforo total em todas as profundidades da coluna d'água. Uma concentração mais elevada de fósforo foi verificada sempre antes do aparecimento das cianobactérias, indicando a relação desse nutriente com a ocorrência do grupo. Os resultados da investigação da presença dos genes da síntese de microcistina mostraram que as cianobactérias isoladas apresentaram apenas parte desses genes. Apenas um dos isolados apresentou atividade tóxica por inibição da enzima fosfatase, porém não foi evidenciada a presença de microcistinas.

ABSTRACT

The aim of this study is to understand the associations between physical, chemical and biological features and the occurrence of cyanobacteria in the water supply reservoir Vargem das Flores/MG. A monitoring program was undertaken in four sampling sites from October 2004 to October 2007 to investigate the following parameters: temperature, dissolved oxygen, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , P-TP turbidity, color, alkalinity, chlorides, conductivity, pH, total iron, total suspended solids, phytoplankton and zooplankton quantification, chlorophyll-*a*, together with a molecular biology research of the cyanobacteria isolated from the reservoir. According to the results of the physical, chemical and biological factors the water column profiles presented different behavior for each sampling site. The cluster analyses found better water quality for sampling site 1, located close to the water treatment plant withdrawal. In general, the lake was stratified during the summer (raining season) leading to the formation of an anoxic hypolimnion and higher concentrations of nutrients. Deep mixing occurred only once during the cool, dry season. The cyanobacteria group followed a seasonal pattern during the three year research period. The group was absent in the dry period, returning after the onset of stratification (warm season). A succession pattern was observed within the cyanobacteria group in the reservoir. The *Aphanocapsa* genus (picoplankton) was dominant in the last period. The PCA analysis showed negative correlation between cyanobacteria and orthophosphate and total phosphorus concentrations. A higher concentration of phosphorus was observed just before the occurrence of cyanobacteria. The results of the molecular biology study indicated that the cyanobacterial isolates possessed only part of the genes from the microcystin gene cluster and only one of the isolates presented toxicity effect by protein phosphatase 2A inhibition assay, although no microcystin could be detected.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE QUADROS.....	XII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 TOXINAS PRODUZIDAS PELAS CIANOBACTÉRIAS	4
3.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE CIANOTOXINAS E A OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES	6
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1 ÁREA DE ESTUDO	14
4.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA	17
4.3 MÉTODOS DE ANÁLISE	18
4.3.1 Coletas.....	18
4.3.2 Parâmetros físicos e químicos.....	19
4.3.3 Parâmetros biológicos.....	21
4.3.3.1 Análise qualitativa do fitoplâncton	21
4.3.3.2 Análise quantitativa do fitoplâncton	21
4.3.3.3 Análise qualitativa e quantitativa do zooplâncton.....	22
4.3.3.4 Análise de Clorofila-a.....	22
4.3.3.5 Análise de Cianotoxinas	22
4.3.4 Estudo genético e investigação da toxicidade dos isolados de cianobactéria.....	23
4.3.4.1 Isolamento e cultivo das cianobactérias	23
4.3.4.2 Extração de DNA	24
4.3.4.3 Amplificação das seqüências alvo do DNA	24
4.3.4.4 Seqüenciamento dos produtos da PCR.....	26
4.3.4.5 Processamento e análises filogenéticas das seqüências	26
4.3.4.6 Investigação da presença de microcistinas e/ou metabólitos secundários.....	26
4.3.5 Tratamento estatístico e apresentação gráfica dos resultados.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS BIÓTICOS E ABIÓTICOS ANALISADOS NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES DA COLUNA D'ÁGUA	31
5.1.1 Estação 1.....	32
5.1.1.1 Parâmetros abióticos.....	32
5.1.1.2 Parâmetros bióticos	47
5.1.2 Estação 2.....	52
5.1.2.1 Parâmetros abióticos.....	52
5.1.2.2 Parâmetros bióticos	63
5.1.3 Estação 3.....	67
5.1.3.1 Parâmetros abióticos.....	67
5.1.3.2 Parâmetros bióticos	78
5.1.4 Estação 4.....	81
5.1.4.1 Parâmetros abióticos.....	81
5.1.4.2 Parâmetros bióticos	92
5.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS PARÂMETROS BIÓTICOS E ABIÓTICOS NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DO RESERVATÓRIO	95
5.2.1 Parâmetros abióticos.....	95
5.2.1.1 Avaliação temporal das quatro estações de amostragem.....	95
5.2.1.2 Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem.....	106

5.2.2	<i>Parâmetros bióticos</i>	112
5.2.2.1	Avaliação temporal das quatro estações de amostragem.....	112
5.2.2.2	Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem.....	117
5.2.3	<i>Estudo das relações entre nutrientes e ocorrência de cianobactérias</i>	117
5.2.4	<i>Verificação da condição da qualidade da água do reservatório em termos da legislação ambiental</i>	123
5.3	ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS.....	125
5.3.1	<i>Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades</i>	125
5.3.2	<i>Análise de agrupamentos - Superfície</i>	127
5.3.3	<i>Análise de agrupamentos - Secchi</i>	128
5.3.4	<i>Análise de agrupamentos – 5 metros</i>	128
5.3.5	<i>Análise de agrupamentos - Fundo</i>	129
5.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	130
5.4.1	<i>Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades</i>	130
5.4.2	<i>Análise de componentes principais – Superfície</i>	134
5.4.3	<i>Análise de componentes principais - Secchi</i>	137
5.4.4	<i>Análise de componentes principais – Cinco metros</i>	139
5.4.5	<i>Análise de componentes principais - Fundo</i>	142
5.5	ESTUDOS GENÉTICOS E INVESTIGAÇÃO DA TOXICIDADE DAS CIANOBACTÉRIAS	145
5.5.1	<i>Estudo genético</i>	145
5.5.1.1	Caracterização molecular - Filogenia.....	145
5.5.1.2	Investigação do potencial de biossíntese de microcistinas e metabólitos secundários.....	148
5.5.2	<i>Investigação da toxicidade dos isolados</i>	153
6	CONCLUSÕES	160
7	RECOMENDAÇÕES	162
	REFERÊNCIAS	163

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Localização do reservatório de Vargem das Flores/MG.....	15
Figura 4.2 -- Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Vargem das Flores/MG (SOUZA, 2003).....	17
Figura 5.1 - Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura (oC), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	35
Figura 5.2 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	36
Figura 5.3 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato(μg/L), fósforo total (μg/L) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.....	37
Figura 5.4 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	38
Figura 5.5 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade (μS/cm), sólidos em suspensão totais (mg/L) e ferro total (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	39
Figura 5.6 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a outubro/07 – Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	46
Figura 5.7 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.	47
Figura 5.8 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.....	48
Figura 5.9 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila (μg/L) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.	49
Figura 5.10 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura (oC), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	55
Figura 5.11 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	56
Figura 5.12 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato(μg/L), fósforo total (μg/L) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.....	57
Figura 5.13 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	58
Figura 5.14 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade (μS/cm) e sólidos em suspensão totais (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.	59
Figura 5.15 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	63
Figura 5.16 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.	63
Figura 5.17 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.....	64
Figura 5.18 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila (μg/L) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.	65
Figura 5.19 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura (oC), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.	70
Figura 5.20 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.	71

Figura 5.21 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato ($\mu\text{g/L}$), fósforo total ($\mu\text{g/L}$) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.....	72
Figura 5.22 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.	73
Figura 5.23 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos em suspensão totais (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	74
Figura 5.24 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	77
Figura 5.25 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.	77
Figura 5.26 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.....	78
Figura 5.27 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila ($\mu\text{g/L}$) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.....	79
Figura 5.28 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.	84
Figura 5.29 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros amônio(mg/L), nitrato (mg/L) e nitrito (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	85
Figura 5.30 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros ortofosfato ($\mu\text{g/L}$), fósforo total ($\mu\text{g/L}$) e turbidez (uT) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	86
Figura 5.31 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cor (uC), alcalinidade (mg/L) e cloreto (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.	87
Figura 5.32 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros condutividade ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos em suspensão totais (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	88
Figura 5.33 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	91
Figura 5.34 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.	91
Figura 5.35 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros cianobactérias (cél/mL), Bacillariophyta (cél/mL) e fitoflagelados (cél/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	92
Figura 5.36 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros Chlorophyceae (org/mL), clorofila ($\mu\text{g/L}$) e zooplâncton (org/mL) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.....	93
Figura 5.37 - Perfil térmico ($^{\circ}\text{C}$) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.....	96
Figura 5.38 - Perfil da distribuição da concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	98
Figura 5.39 - Perfil da distribuição da concentração de amônio (mg/L) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.....	100
Figura 5.40 - Perfil da distribuição da concentração de nitrato (mg/L) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	102
Figura 5.41 - Perfil da distribuição da concentração de ortofosfato ($\square\text{g/L}$) da coluna d’água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	103

Figura 5.42 - Perfil da distribuição da concentração de fósforo total (\square g/L) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.	105
Figura 5.43 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.....	106
Figura 5.44 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade de extinção do disco de Secchi - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.	107
Figura 5.45 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.....	108
Figura 5.46 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 1 metro do fundo - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.	109
Figura 5.47 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade da superfície, Secchi e 5 metros- período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.....	111
Figura 5.48 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.	111
Figura 5.49 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água das estações amostrais 1, 2, 3 e 4 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a junho/2006.	112
Figura 5.50 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água da estação 1 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007.....	113
Figura 5.51 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 1 no período de outubro/04 a outubro/07. Vargem das Flores/MG.....	119
Figura 5.52 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 2 no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG.....	120
Figura 5.53 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 3 no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG.....	121
Figura 5.54 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na estação 4 no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG.....	122
Figura 5.55 - Dendograma das estações de amostragem distribuídos ao longo das profundidades, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante.	126
Figura 5.56 - Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando os períodos (a) chuvoso e (b) seco.	126
Figura 5.57 -Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando ambos os períodos numa distância euclidiana maior ((Dlink/Dmax) x 100 > 85).	127
Figura 5.58 - Dendograma das estações amostragem distribuídos ao longo da superfície, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.	127
Figura 5.59 - Dendograma das estações amostragem distribuídos ao longo da profundidade de Secchi, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.....	128

Figura 5.60 - Dendrograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo da profundidade de 5 metros, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante. ...	129
Figura 5.61 - Dendrograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo do fundo, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante.	129
Figura 5.62 - Gráfico de autovalor para determinação do número de componentes principais pelo critério do teste scree, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	131
Figura 5.63 - - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos nas quatro profundidades nas quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	133
Figura 5.64 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na superfície das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	136
Figura 5.65 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na profundidade de Secchi das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	138
Figura 5.66 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na profundidade de 5 metros das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	141
Figura 5.67 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos no fundo das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.	143
Figura 5.68- Colônias do cultivo de <i>Spaherocavum brasiliense</i> isoladas do manancial de Vargem das Flores/MG.	146
Figura 5.69 - Árvore filogenética da porção 16S DNAr dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados no cladograma.	147
Figura 5.70 - Esquema do agrupamento de genes responsáveis pela síntese das microcistinas.	148
Figura 5.71 - Árvore filogenética da sequência de aminoácidos codificada pelo gene <i>mcyB</i> dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados no cladograma.	152
Figura 5.72- Espectros gerados nas análises por HPLC apresentando a curva do padrão de microcistina-LR, do extrato da cepa <i>M. aeruginosa</i> 7806 e do extrato do isolado VF 3 do reservatório de Vargem das Flores/MG.	154
Figura 5.73 - Espectro de massa Maldi-Tof do padrão de microcistina -LR.	155
Figura 5.74- Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 11 minutos do cromatograma.	156
Figura 5.75 - Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 21 minutos do cromatograma.	157
Figura 5.76 - Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 23 minutos do cromatograma.	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Dados morfométricos da represa de vargem das Flores	15
Tabela 5.1 - Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 1 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	33
Tabela 5.2 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 1 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	34
Tabela 5.3 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 2 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	53
Tabela 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 2 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	54
Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 3 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	68
Tabela 5.6 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 3 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	69
Tabela 5.7 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 4 no período chuvoso (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.....	82
Tabela 5.8 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da estação 4 no período seco (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.....	83
Tabela 5.9 - Valores da relação N:P na profundidade de extinção do disco de Secchi das estações de amostragem – Vargem das Flores-MG.	123
Tabela 5.10 - Percentual de atendimento aos padrões de qualidade da água preconizados pela Resolução Conama 357/05 para águas doces de Classe 2.	124
Tabela 5.11– Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas nas quatro profundidades nas quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco	132
Tabela 5.12 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na superfície das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco.....	135
Tabela 5.13 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de Secchi das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco.....	137
Tabela 5.14 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de 5 metros das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco.....	140
Tabela 5.15 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas no fundo das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco	142

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Características das estações de amostragem.....	18
Quadro 4.2 - Programa de monitoramento das estações.....	19
Quadro 4.3 – Relação dos parâmetros físicos e químicos para o monitoramento da represa de Vargem das Flores e seus respectivos métodos de análise.....	21
Quadro 4.4 - Relação dos oligonucleotídeos iniciadores usados para amplificação das diferentes porções do genoma das cianobactérias estudadas.....	25
Quadro 5.1 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	40
Quadro 5.2 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	41
Quadro 5.3 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	50
Quadro 5.4 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.....	50
Quadro 5.5 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	60
Quadro 5.6 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	61
Quadro 5.7 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	66
Quadro 5.8 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.....	66
Quadro 5.9 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	75
Quadro 5.10 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	76
Quadro 5.11 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	80
Quadro 5.12 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.....	80
Quadro 5.13 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	89

Quadro 5.14 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	90
Quadro 5.15 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.....	94
Quadro 5.16 - Composição do fitoplâncton da represa de Vargem das Flores – Minas Gerais.....	115
Quadro 5.17 - Resultados positivos das reações em cadeia da polimerase (PCR) para os iniciadores testados.....	149

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACP	Análise de componentes principais
APHA	AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION
ASM-1	Meio líquido para cultura de cianobactérias
Alc	Alcalinidade
Bac	Bacillariophyta
Blast	Basic Local Aligment Search Tool
Chloro	Chlorophyceae
Ciano	Cianobactérias
Cl	Cloretos
Cl-a	Clorofila-a
Copasa	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
Condut	Condutividade
CP	Componente principal
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
E1-E2-E3-E4	Estação 1, 2,3 e 4
EDTA	Etileno Diamino Tetra Acetato de Sódio Diidratado
ELISA	(Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)
EXPASY	Expert Protein Analysis System
Fito	fitoflagelados
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
LPS	Lipopolissacarídeos
MS	Ministério da Saúde
µm	Micrômetro
mg/L	Miligrama/Litro
µg/L	Micrograma/Litro
NCBI	National Center for Biotechnology Information
PCR	Polymerase Chain Reaction
Prosab	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
rDNA	DNA ribossomal
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNSW	Universidade de New South Wales - Austrália.
uT	Unidade de Turbidez
Zoo	Zooplâncton

1 INTRODUÇÃO

O armazenamento de água através da construção de represas destina-se a múltiplos usos. Os principais usos da água seriam o abastecimento para centros urbanos e industriais, o uso nas atividades agrícolas e a geração de energia. A deterioração dos recursos hídricos pelas múltiplas atividades humanas vem alterando a qualidade da água de lagos e reservatórios. Desta forma, a manutenção da qualidade da água torna-se um desafio frente ao aumento da demanda pelo seu uso devido ao crescimento populacional.

Dentre os principais fatores que atingem os sistemas aquáticos, destacam-se as alterações químicas produzidas pela entrada de substâncias tóxicas e nutrientes no sistema. Os despejos de esgotos domésticos e industriais e a descarga de fertilizantes utilizados na agricultura são as principais fontes dessas substâncias. A eutrofização artificial acarreta a deterioração dos ecossistemas aquáticos e seu controle implica no emprego de diferentes técnicas de manejo e recuperação que devem ser aplicados tanto na totalidade da bacia hidrográfica quanto no reservatório que se deseja recuperar. Geralmente a recuperação do ambiente aquático é lentamente obtida, sendo necessário o acompanhamento contínuo do ambiente, o que demanda custos elevados.

Um dos efeitos da degradação dos ecossistemas aquáticos é o aumento da ocorrência de florações tóxicas de cianobactérias. Evidências fósseis sugerem que as cianobactérias estavam entre os primeiros seres vivos a habitarem o planeta, dominando a bióta do pré-cambriano há aproximadamente 3,5 bilhões de anos. Por possuírem fisiologia versátil e estratégias adaptativas em resposta às mudanças das condições do meio, as cianobactérias podem dominar sobre outros grupos de fitoplâncton, especialmente em ambientes eutrofizados.

A dominância das cianobactérias, principalmente nos mananciais destinados ao abastecimento público, tem recebido grande atenção por implicar risco potencial à saúde humana. Desta forma, muitos países estão desenvolvendo guias de recomendação para os serviços de abastecimento público de água lidarem com a presença das cianobactérias. O Brasil tornou-se o primeiro país a editar uma portaria (Portaria MS 518/2004) contemplando, como parâmetro de controle de qualidade da água potável, as análises de cianobactérias e cianotoxinas na água.

Para o controle dos problemas causados pela dominância das cianobactérias nos mananciais, têm-se buscado tecnologias adequadas ao manejo e tratamento das águas contendo cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas. Da mesma forma, o conhecimento das relações existentes entre os diversos fatores componentes de um ecossistema aquático, pode levar ao melhor entendimento da dinâmica do ambiente possibilitando entender quais fatores favorecerão a proliferação das cianobactérias.

Dentro desse contexto essa pesquisa foi desenvolvida no reservatório de Vargem das Flores, em Minas Gerais, dentro da proposta de desenvolvimento do projeto da UFMG para o edital-4 do Prosab (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico). O manancial de Vargem das Flores é utilizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa para o abastecimento de parte da população da região metropolitana de Belo Horizonte.

A dominância de cianobactérias nesse manancial foi observada a partir do ano de 1999. Através do monitoramento realizado pela Empresa pode-se constatar a ocorrência sazonal das cianobactérias que vêm alternando o predomínio junto com o grupo das diatomáceas e algas verdes. Dessa forma, foi levantada a possibilidade de desenvolver esse estudo para a elucidação dos fatores responsáveis pela presença das cianobactérias nesse reservatório.

O estudo buscou avaliar os parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água do manancial durante o período de três anos de monitoramento. A análise de fatores ambientais contribui para o entendimento da ocorrência das cianobactérias no ambiente. E o maior conhecimento dos ambientes de clima tropical poderá fornecer informações para que medidas adequadas sejam tomadas no controle da ocorrência de florações de cianobactérias.

O acompanhamento da qualidade da água dos reservatórios e melhor conhecimento das relações existentes no ecossistema aquático, em particular nos ambientes tropicais brasileiros, poderão contribuir para o desenvolvimento de ferramentas, como os modelos preditivos, que possibilitem prever a ocorrência das florações de cianobactérias, permitindo que as estações de tratamento de água se adequem operacionalmente, garantindo a qualidade da água distribuída e protegendo a saúde da população.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Investigar as associações entre os parâmetros bióticos e abióticos, de um manancial urbano destinado ao abastecimento público, e sua relação com a ocorrência de florações de cianobactérias.

2.2 *Objetivos específicos*

- Analisar as variações dos parâmetros bióticos e abióticos em diferentes profundidades da coluna d'água, nos períodos chuvoso e seco;
- Avaliar comparativamente os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água nas estações de amostragem do reservatório;
- Relacionar os fatores ambientais com a ocorrência de cianobactérias no manancial;
- Realizar o estudo genético das espécies de cianobactérias isoladas do manancial;
- Investigar a toxicidade das espécies de cianobactérias isoladas do manancial.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A deterioração dos recursos hídricos pelas múltiplas atividades humanas vem alterando a qualidade da água de lagos e reservatórios. Dentre os principais fatores que atingem os sistemas aquáticos, destacam-se as alterações químicas produzidas pela entrada de substâncias tóxicas e nutrientes e as modificações microbiológicas resultantes da carga orgânica que atinge os lagos e reservatórios. Este processo de eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água, incluindo a redução de oxigênio dissolvido e da biodiversidade aquática, a perda das qualidades cênicas, a morte extensiva de peixes e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias (MINISTÉRIO DA SAÚDE/FUNASA, 2003).

Especial atenção tem sido dada à ocorrência de florações de cianobactérias, por serem alguns gêneros e espécies potenciais produtores de toxinas. As cianobactérias têm seu crescimento favorecido em ambientes eutrofizados. Formam um grupo diferenciado de procariotas fototróficos, apresentando fisiologia versátil e estratégias adaptativas em resposta às mudanças das condições do meio, levando a sua dominância sobre outros grupos do fitoplâncton. Aproximadamente metade destas florações é tóxica, e vêm causando numerosos envenenamentos em animais, assim como risco à saúde humana pelo uso da água para abastecimento e recreação (RAPALA, 1998).

Grande número de ocorrências de florações tóxicas de cianobactérias em reservatórios de abastecimento de água vem sendo descrito em todo o mundo (KENEFICK *et al.*, 1992, VASCONCELOS *et al.*, 1993, UENO *et al.*, 1996, WILLÉN e MATTSSON, 1997, PARK *et al.*, 1998, LANCIOTTI, *et al.*, 2003), assim como no Brasil (AZEVEDO *et al.*, 1994, BOUVY *et al.*, 2000, JARDIM, 1999 e JARDIM *et al.*, 2003, CHELLAPPA e COSTA, 2003, VIANA e VON SPERLING, 2002). Entre os problemas associados à ocorrência das cianobactérias nos reservatórios destinados ao abastecimento destacam-se a produção das toxinas, a presença de sabor e odor e a colmatção dos filtros das estações de tratamento.

3.1 Toxinas produzidas pelas cianobactérias

As toxinas produzidas pelas cianobactérias, denominadas cianotoxinas, formam um grupo diferenciado, do ponto de vista químico e toxicológico, de toxinas naturais. Estas toxinas são metabólitos secundários que, por definição, apresentam mecanismos de ação sobre outros tecidos, células, ou organismos. As cianotoxinas podem ser classificadas de acordo com seu

modo de ação em hepatoxinas, neurotoxinas e endotoxinas, estando divididas, respectivamente, dentro de três grandes grupos químicos: os peptídeos cíclicos, os alcalóides e os lipopolissacarídeos (LPS) (CARMICHAEL, 1992).

As hepatotoxinas são as toxinas mais comumente encontradas em florações de cianobactérias, sendo representadas pelas famílias das microcistinas, nodularinas ou cilindrospermopsina. As microcistinas são as toxinas mais amplamente estudadas, sendo produzidas por diferentes espécies. Os gêneros conhecidamente produtores de microcistinas são *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria* (*Planktothrix*), *Nostoc* e *Anabaenopsis*. Em ensaios com camundongos (injeção intraperitoneal), algumas vezes utilizados para avaliação da presença de toxinas na água, causam morte em poucas horas por hemorragia intra-hepática. Os sinais observados após a ingestão dessas hepatotoxinas são prostração, anorexia, vômitos, dor abdominal e diarreia (SIVONEN e JONES, 1999).

As neurotoxinas são as cianotoxinas que apresentam ação mais rápida. Existem três tipos: anatoxina-a, anatoxina-a (s) e as saxitoxinas. Podem ser produzidas por espécies incluídas nos gêneros *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* (*Planktothrix*) e *Cylindrospermopsis*. As neurotoxinas afetam a condução nervosa de várias maneiras e a ingestão dessas toxinas pode causar a paralisia dos músculos esqueléticos e respiratórios, levando à falência do sistema respiratório em poucos minutos ou algumas horas, dependendo do grau de exposição.

As endotoxinas (dermatotoxinas) são lipopolissacarídeos que fazem parte da parede celular das bactérias Gram-negativas, sendo encontradas também em cianobactérias (*Microcystis* spp., *Anabaena circinalis*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Phormidium* spp.). São considerados potenciais agentes causadores de irritações na pele, distúrbios gastrointestinais e alergia respiratória em pessoas que tiveram contato com águas contendo florações de cianobactérias durante a recreação (CHORUS e BARTRAM, 1999, QUEENSLAND HEALTH, 2001).

Muitas das cianotoxinas, como as microcistinas, são produzidas e contidas dentro das células ativas das cianobactérias, isto é, elas são intracelulares ou particuladas. A liberação na água, tornando-as solúveis, ocorre pelo envelhecimento, morte ou ruptura das células por mecanismos físicos ou químicos, e não por sua excreção. Contudo, algumas toxinas podem ser excretadas em condições fisiológicas normais. As diferenças nas concentrações de toxinas intracelular e extracelular em cepas cultivadas em meios livres de bactérias mostraram que as

as cepas produtoras de anatoxina-a liberaram quantidades consideráveis da toxina para o meio de cultura, principalmente em condição de baixa luminosidade. (RAPALA, 1998).

A solubilidade das cianotoxinas na água, juntamente com os diferentes graus de estabilidade química existentes, apresentam-se como um fator de preocupação em águas destinadas ao abastecimento público. A estabilidade das cianotoxinas pode variar de altamente estáveis, resistentes à oxidação química próximo ao pH neutro (microcistinas), lentamente degradadas em temperatura ambiente no escuro (saxitoxinas) e resistentes à fervura (microcistinas e nodularinas), a mais facilmente degradadas, pela exposição à luz solar (cilindrospermopsina e anatoxina-a) e a elevadas temperaturas (anatoxina-a (s)) (CHORUS e BARTRAM, 1999).

3.2 Fatores que influenciam na produção de cianotoxinas e a ocorrência de florações

A produção de toxinas pelas cianobactérias é extremamente variável, não só entre diferentes florações, como também ao longo do tempo em uma mesma floração. Acredita-se que este fato seja devido à presença conjunta de espécies tóxicas e não-tóxicas na população natural. Apesar dos determinantes da produção de toxinas serem pouco conhecidos, sabe-se que os fatores genéticos e ambientais são importantes contribuintes (MINISTÉRIO DA SAÚDE/FUNASA, 2003).

Alguns estudos têm sido realizados em escala laboratorial na tentativa de determinar quais fatores ambientais influenciariam em maior grau a produção das toxinas, assim como a variação na concentração produzida.

Rapala *et al.* (1993), comparando o crescimento e produção de toxinas de cepas de *Anabaena* e *Aphanizomenon* em diferentes condições ambientais, demonstraram que, para as cepas de *Anabaena*, a elevada incidência de luz foi fator de inibição, tanto para crescimento quanto para produção de toxina, enquanto para o *Aphanizomenon*, a maior luminosidade influenciou positivamente o crescimento e a produção de toxina. Em relação à concentração de nutrientes, observaram que, quanto maior a concentração de nitrato, menor é a concentração intracelular de toxina para ambos os gêneros.

Wiedner *et al* (2002) estudando os efeitos da luz sobre a produção de microcistina de determinada cepa de *Microcystis*, encontraram um efeito positivo da radiação luminosa no aumento da produção de microcistina.

O estudo de von Rückert e Giani (2004) avaliando o efeito dos íons amônio e nitrato sobre o crescimento e concentração protéica de *Microcystis viridis* evidenciou a capacidade de crescimento da cianobactéria em ambas as fontes nitrogenadas. Quando a fonte de nitrogênio foi o amônio, o crescimento foi mais rápido (maiores taxas de absorção e assimilação) indicando a possibilidade dessa fonte nitrogenada induzir a formação de florações. Contudo no tratamento com nitrato a população de *M. viridis* manteve alta densidade celular por mais tempo, com maior concentração de proteínas.

A pesquisa de Amé e Wunderlin (2005) com uma população de cianobactérias coletadas diretamente do ambiente avaliou a influência das concentrações de ferro, amônio e temperatura no crescimento e produção de microcistinas. Os resultados mostraram que altas concentrações de ferro levaram ao aumento da concentração total de microcistinas e proteínas nas células cultivadas. A presença de amônio apresentou um efeito negativo na concentração de microcistinas e proteínas na cultura, enquanto a temperatura não apresentou influência na concentração total de microcistinas, mas promoveu a predominância de microcistina-RR em relação à microcistinas-LR no cultivo a 20°C.

Uma vez que linhagens tóxicas e não tóxicas podem estar presentes em determinada floração (KUMAYER *et al.*, 2002, VIA-ORDORIKA, *et al.*, 2004) estudos enfocando a dinâmica da toxicidade das florações têm sido realizados comparando a resposta dessas linhagens em diferentes condições ambientais.

Os resultados encontrados por Vézic *et al.* (2002), avaliando em laboratório o efeito da interação de diferentes concentrações de nutrientes (fósforo e nitrogênio) no crescimento de cepas tóxicas e não tóxicas, sugerem que as concentrações de nutrientes necessárias ao crescimento são variáveis entre as cepas de um mesmo gênero. E que possivelmente, o aumento da concentração de nutrientes no ambiente favoreça a predominância das produtoras de toxinas. Nos experimentos, as cepas tóxicas necessitaram de maiores concentrações de nitrogênio e fósforo quando cultivadas em baixa concentração desses nutrientes. E cresceram melhor do que as não tóxicas em condições de altas concentrações de fósforo e nitrogênio.

Contudo, a maior necessidade de nutrientes das cepas tóxicas pode estar ligada ao maior requerimento de energia para o processo de biossíntese das toxinas.

Estudando a competição por luz entre cepas tóxicas e não tóxicas de *Microcystis*, Edwin et al. (2007) confirmaram que a proporção entre cepas tóxicas e não tóxicas determina a toxicidade da população. Além disso, as cepas não tóxicas competiram melhor pela luz, resultando no declínio da concentração de microcistinas no decorrer dos ensaios. A princípio, parece que a competição por luz poderá promover a sucessão das cepas tóxicas pelas não tóxicas durante a ocorrência de densas florações de *Microcystis* no ambiente. As cepas tóxicas seriam encontradas no início da floração sendo substituídas gradativamente pelas cepas não tóxicas à medida que a biomassa aumentasse e a incidência de luz na coluna d'água fosse diminuída.

Os resultados muitas vezes contraditórios dos trabalhos desenvolvidos em laboratório podem ser atribuídos à análise isolada da influência dos diferentes fatores ambientais. Os experimentos são geralmente realizados em ambientes controlados não abrangendo a complexidade das interações encontradas nos ecossistemas aquáticos. Contudo, os resultados são ferramentas importantes para a descoberta dos mecanismos reguladores da produção de toxinas e dominância das cianobactérias no ambiente natural.

A identificação dos genes responsáveis pela produção de cianotoxinas, particularmente das microcistinas, demonstrou que a diferença entre cepas tóxicas e não tóxicas de *Microcystis aeruginosa* está relacionada com a presença ou não dos genes associados com a regulação e síntese de microcistinas (DITTMANN *et al.*, 1997 NEILAN, *et. al.*, 1999, TILLET, *et. al.*, 2000, MOFFITT e NEILAN, 2004). As pesquisas visando à avaliação da presença dessas seqüências genéticas na população de cianobactérias permitem a identificação das linhagens potencialmente produtoras de toxinas, fornecendo uma ferramenta importante na avaliação do potencial tóxico das florações (KAEBERNICK e NEILAN, 2001, KURMAYER *et. al.*, 2004, OLIVEIRA, 2003, HOTTO *et. al.*, 2007).

Segundo Kaebernick e Neilan (2001) a realização de estudos moleculares poderá levar à identificação dos fatores ambientais que afetam diretamente a transcrição e expressão dos genes responsáveis pela produção das toxinas de forma a evidenciar aqueles diretamente relacionados à produção das cianotoxinas daqueles que possam estar afetando outros processos celulares.

O isolamento de grande número de metabólitos secundários de cianobactérias (ex.: mais de 600 tipos de peptídeos), produzidos por diferentes espécies (WELKER e von DÖHREN, 2006), demonstra a importância desse grupo no que se refere tanto à saúde pública, uma vez que esses compostos potencialmente tóxicos podem ser encontrados nas águas destinadas ao abastecimento, quanto ao potencial farmacológico apresentado pelas diferentes estruturas bioativas encontradas.

Embora a função fisiológica ou ecológica dos metabólitos secundários e/ou toxinas ainda não tenha sido esclarecida, algumas hipóteses vêm sendo discutidas tais como: a provável função ecofisiológica das microcistinas (ação no metabolismo celular), função como moléculas sinalizadoras intraespecíficas (controle da transcrição gênica) ou interespecíficas, incluindo proteção contra herbivoria e ação sobre outros organismos fotoautotróficos (BABICA *et al.*, 2006, LEFLAIVE e TEM-HAGE, 2007).

A intoxicação humana pelo consumo de água contaminada por cianotoxinas, causando principalmente distúrbios gastrointestinais, já foi relatada em diversos países como Austrália, Estados Unidos, Inglaterra e países do continente africano (CHORUS e BARTRAM, 1999). No Brasil existem poucos relatos, provavelmente pela falta de estudos epidemiológicos. Contudo o trabalho de Teixeira, *et al.* (1993) descreve uma forte relação entre a ocorrência de florações de cianobactérias na barragem de Itaparica e os surtos de gastroenterite ocorridos entre março e abril de 1988, levando à morte de 88 pessoas entre as 200 intoxicadas. O primeiro caso confirmado no mundo de mortes humanas causadas por cianotoxinas, foi o ocorrido em 1996, na cidade de Caruaru – Pernambuco, onde 131 pacientes (76 mortes), de uma clínica de hemodiálise sofreram intoxicação, com sintomas de forte hepatotoxicose, devido à presença de dois grupos de toxinas de cianobactérias, microcistina e cilindrospermopsina, na água utilizada para a diálise (JOCHIMSEN *et al.*, 1998; CARMICHAEL *et al.*, 2001; AZEVEDO *et al.*, 2002).

A bioacumulação das cianotoxinas na cadeia alimentar das comunidades aquáticas encontra-se como outra provável via de intoxicação. As toxinas podem acumular no zooplâncton, peixes e mexilhões. Aparentemente, o risco de intoxicação estará relacionado com a quantidade consumida e a intensidade das florações onde peixes e mariscos forem encontrados (CHORUS e BARTRAM, 1999, MAGALHÃES *et al.*, 2001).

Segundo Jones e Poplawski (1998), em reservatórios subtropicais ou tropicais, o estabelecimento de uma relação de causa e efeito entre os fatores físicos, químicos e biológicos, e as florações de cianobactérias encontra-se como um pré-requisito para o manejo adequado de um reservatório. O manejo do ponto de captação, a retirada de fontes difusas de nutrientes e estratégias de prevenção da liberação de nutrientes do sedimento, podem ser importantes ferramentas para a prevenção de problemas causados pelas cianobactérias. Além dessas medidas, são recomendadas formas de prevenção da afluência de cianobactérias nas captações de água destinada ao abastecimento público. O uso de barreiras de contenção, semelhantes às utilizadas em derramamentos de óleo, e a injeção de ar na captação, para o afastamento físico da floração, são algumas das medidas possíveis para reduzir o número de células aduzidas às estações de tratamento de água (PÁDUA, 2006).

A busca de medidas para evitar ou minimizar a formação de florações de cianobactérias deve considerar várias características do corpo d'água, como o tempo de residência, o balanço de nutrientes, disponibilidade de luz, as características da estratificação térmica e a população de macrófitas (CHORUS, 2001).

Em diversos estudos, realizados em lagos e reservatórios de clima temperado, tem sido demonstrada a importância dos fatores ambientais na dinâmica da ocorrência de florações de cianobactérias, assim como no estabelecimento de espécies produtoras de toxinas (ISHIKAWA *et al.*, 2002, MISCHKE, 2003).

Segundo Hyenstrand *et al.* (1998), os fatores ambientais mais importantes para desenvolvimento inicial das diferentes populações de cianobactérias no ambiente aquático são: temperatura e nutrientes. Em relação à temperatura, as temperaturas mais elevadas da água, levando à estratificação e conseqüentemente à divisão em camadas da coluna d'água (estratificação dos nutrientes e luminosidade), favorece as cianobactérias pela capacidade de migração do grupo. A estratificação também elimina da zona eufótica competidores sem mobilidade (diatomáceas) através da sedimentação. O aumento da temperatura também acarretaria maior atividade do zooplâncton, aumentando o consumo das outras algas competidoras (ex. Chlorophyceae) das cianobactérias. Já quanto aos nutrientes, principalmente as condições de nitrogênio limitante parecem beneficiar as cianobactérias. A capacidade de assimilação do nitrogênio atmosférico (espécies fixadoras) e a capacidade de competir com maior sucesso pelo amônio devido à alta relação superfície-volume

(cianobactérias picoplanctônicas) são apontadas como as características responsáveis para o sucesso das cianobactérias.

O estudo realizado com dados históricos (28 anos) de um lago subtropical na Flórida (EUA), buscando prever o risco da ocorrência de florações de cianobactérias fixadoras de nitrogênio, demonstrou que o aumento da concentração de fósforo total, levando à baixa relação N:P, juntamente com o decaimento da medida de transparência do disco de Secchi (aumento da turbidez mineral), favoreceram a dominância da população de cianobactérias não fixadoras de nitrogênio (*Oscillatoria* e *Lyngbya* spp.), grupo dominante durante a última década. Demonstrou também que a dominância de cianobactérias fixadoras de nitrogênio na zona pelágica é impedida devido à baixa irradiação e à desestratificação da coluna d'água (HAVENS *et al.*, 2003).

Segundo Hecky (2000), ao se compararem as diferenças nos ciclos biogeoquímicos de ambientes temperados e tropicais (lagos Superior e Malawi – Grandes Lagos), observa-se que as características tropicais favorecem a dominância das cianobactérias. De forma resumida, pode-se dizer que a estratificação com formação de um hipólímnio anóxico, resultando na solubilização do fósforo e elevada desnitrificação, caracterizando uma baixa relação N:P, pode ser considerada determinante na predominância das cianobactérias em ambientes tropicais.

No trabalho realizado por Jacoby *et al.* (2000) a ocorrência de floração tóxica de cianobactéria no verão de 1994, mas não no ano seguinte, possibilitou a comparação das condições do lago Steilacoom (Washington) nos dois anos e apontou os possíveis fatores ambientais promotores da floração. A floração em 1994 foi associada à elevada concentração de fósforo total, menor transparência e maior estabilidade da coluna d'água, maior temperatura na superfície, elevado pH e menor fluxo de água extravasada do lago. Por outro lado, no ano seguinte (sem floração), além da inversão das características físicas e químicas do lago encontradas em 1994, foi observado aumento considerável da população do zooplâncton, o que pode ter contribuído para a diminuição da biomassa fitoplanctônica pela herbivoría. Os autores ainda concluem que a dominância da espécie *Microcystis aeruginosa* em detrimento das outras cianobactérias foi favorecida pela baixa relação N:P, baixas concentrações de nitrato e disponibilidade suficiente de amônio.

Embora a redução na concentração de fósforo tenha sido considerado o fator mais importante para o controle da população de cianobactérias, no trabalho de Reeders et al. (1998) nos lagos Veluwemeer e Wolderwijd (Holanda) as alterações climáticas no inverno também exerceram influência na dominância das cianobactérias filamentosas (*Oscillatoria*) no verão. Quando as concentrações de fósforo total encontravam-se em uma faixa intermediária (0,05-0,020 mg/L PT) a dominância das cianobactérias no verão foi relacionada à intensidade do inverno. Os autores encontraram que, quanto menores as temperaturas no inverno, menores as chances de dominância das cianobactérias no verão.

Desta forma, observa-se que, apesar dos relatos da ocorrência de florações estarem, em sua maioria, relacionados a ambientes eutrofizados, a dominância das cianobactérias em um ambiente é determinada por uma série de fatores ainda não muito bem elucidados. Esta dominância pode estar relacionada tanto às características morfológicas das células (BONNET e POULIN, 2002), quanto à capacidade de assimilação dos nutrientes, aliada às características físicas e químicas do corpo d'água (JACQUET *et al.*, 2004). Esse conjunto de fatores, apresentando complexas interações, em combinações ainda desconhecidas, encontra-se como causa principal para a formação das florações.

Na tentativa de encontrar uma forma de anteverem-se os problemas causados pelo desenvolvimento das cianobactérias nos ambientes aquáticos destinados a múltiplos usos, modelos preditivos (HOWARD e EASTHOPE, 2002, HAKANSON *et al.*, 2003, ROBSON e HAMILTON, 2004) da ocorrência de florações de cianobactérias vêm sendo desenvolvidos. Contudo, o conhecimento da dinâmica desses ambientes torna-se imprescindível para o sucesso da predição do fenômeno da floração, necessitando que os estudos abordem tanto as interações das comunidades, quanto dessas, com os fatores físicos e químicos particulares de cada ecossistema. Além disso, quanto maior o número de variáveis monitoradas e mais longo o período de observação, maior a eficácia do modelo.

Como relatado anteriormente, a busca de soluções para os problemas causados pela presença das cianobactérias e suas toxinas no ambiente aquático envolve estudos com diferentes enfoques: ecológicos, toxicológicos, fisiológicos e genéticos. Torna-se fundamental considerar todos os pontos de vista englobando abordagens tanto experimentais, quanto de modelagem, assim como análises de séries históricas para que as respostas do ambiente

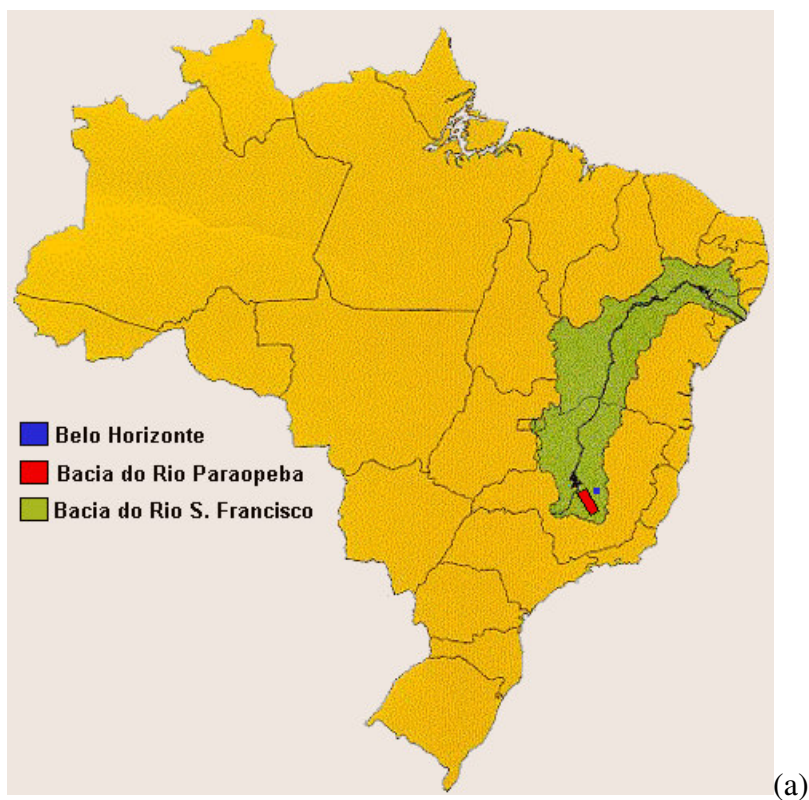
aquático aos novos fatores como mudanças climáticas, redução do aporte de nutrientes e diferentes interações tróficas possam ser entendidas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa e cumprimento dos objetivos propostos a metodologia descrita a seguir foi desenvolvida.

4.1 Área de estudo

O reservatório do sistema Vargem das Flores, utilizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa para abastecimento de parte da população da região metropolitana de Belo Horizonte, foi escolhido por caracterizar-se como um manancial urbano com um histórico de ocorrências de florações de cianobactérias tóxicas. Localiza-se na parte sudoeste da região metropolitana de Belo Horizonte, dentro da bacia de drenagem do Rio Paraopeba (Figura 4-1).



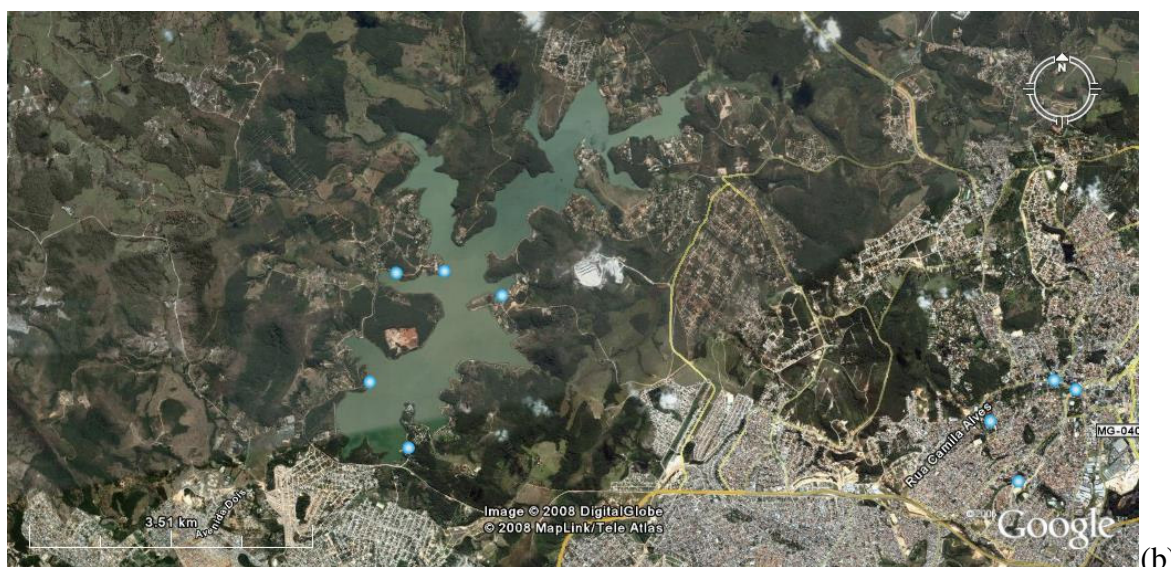


Figura 4.1 - Localização do reservatório de Vargem das Flores/MG: (a) mapa da localização da bacia hidrográfica – (b) Localização geográfica da represa (Fonte: Google Earth, 2008).

A represa de Vargem das Flores está localizada entre os municípios de Betim e Contagem com 13 % e 87 % de sua área inseridos em cada um deles, respectivamente. Foi inaugurada em 1972 com o objetivo de abastecer Betim, Contagem e Belo Horizonte. A represa está situada nas coordenadas geográficas 19° 53' 44,99" S e 44° 09' 01,56" W (coordenadas referentes à captação de água da ETA) e sua água tem origem nos seguintes tributários: córrego Água Suja, ribeirão Betim, córrego Morro Redondo e córrego Bela Vista. Na Tabela 4.1 estão apresentados os dados morfométricos da represa.

Tabela 4.1 - Dados morfométricos da represa de Vargem das Flores	
Parâmetros morfométricos	Valores
Área	5,25 km ²
Volume	44,0 x10 ⁶ m ³
Profundidade máxima	25,02 m
Profundidade média	8,38 m
Perímetro	54,0 km
Comprimento máximo	7,2 km
Largura máxima	1,5 km
Altitude	856 m

Fonte: Souza, 2003.

O clima da região apresenta-se como tropical/mesotérmico semi-úmido, com sazonalidade regularizada e definida e radiação solar forte e intensa (média anual de 2600 h/ano). As duas estações bem definidas compreendem o período chuvoso e quente de outubro a março e seco e frio de abril a setembro, sendo que abril, maio, setembro e outubro podem ser considerados

meses de transição. A precipitação média anual é de 1500 mm, com umidade relativa do ar variando de 65 % (agosto e setembro) a 80 % (dezembro). No verão (período chuvoso) a temperatura máxima média é de 28°C e temperatura mínima média de 17 °C. Já no inverno (seco) as menores temperaturas são encontradas em junho e julho, com temperatura máxima média de 24 °C e mínima média de 11 °C (SOUZA, 2003).

O reservatório de Vargens das Flores destina-se a múltiplos usos. Desde seu enchimento, além de seu uso como fonte de água para o abastecimento público, é utilizado para recreação, irrigação, controle de cheias e recepção de águas residuárias diversas. A região caracteriza-se historicamente por acelerado processo de urbanização e sistema de esgotamento sanitário deficitário atendendo apenas parte da população. Além do lançamento de esgotos nos tributários, o desmatamento, as atividades agrícolas e o acúmulo de lixo no leito dos rios e córregos efluentes, contribuem para a degradação da bacia de drenagem. A região à montante dos tributários, ribeirão Betim e córrego Água Suja, destacam-se como as áreas mais afetadas. As águas desses tributários são consideradas como as principais fontes de nutrientes (nitrogênio e fósforo) da represa (SOUZA, 2003).

Algumas medidas de recuperação da bacia de drenagem vêm sendo tomadas nos últimos anos. Dentre elas destaca-se a construção da estação de tratamento de esgotos de Nova Contagem (montante da represa), com reversão do lançamento do efluente tratado para o córrego do Onça no município de Esmeraldas, aumento da rede coletora de esgotos, retirada do lixo da orla, reflorestamento e programas de educação ambiental para conscientização dos usuários da represa (Prefeitura Municipal de Contagem, 2008).

O tratamento de água da ETA de Vargem das Flores é realizado através de filtração direta descendente com uma vazão média de 1,0 m³/s para atender a uma população aproximada de 400.000 habitantes. Devido à preocupação com a ocorrência de florações de cianobactérias o sistema de tratamento da ETA está sendo modificado com a implementação do processo de flotação por ar dissolvido para a otimização da remoção das cianobactérias e algas.

4.2 Monitoramento da qualidade da água

Para o levantamento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do monitoramento da qualidade da água do manancial, foram escolhidas as estações de amostragem mais representativas do reservatório. Devido ao conhecimento prévio do programa de monitoramento realizado pela companhia de abastecimento, assim como das características físicas (profundidade, influência de tributários, localização etc.) dos diferentes pontos de interesse limnológico, foram escolhidas 4 estações de amostragem (Figura 4.2):

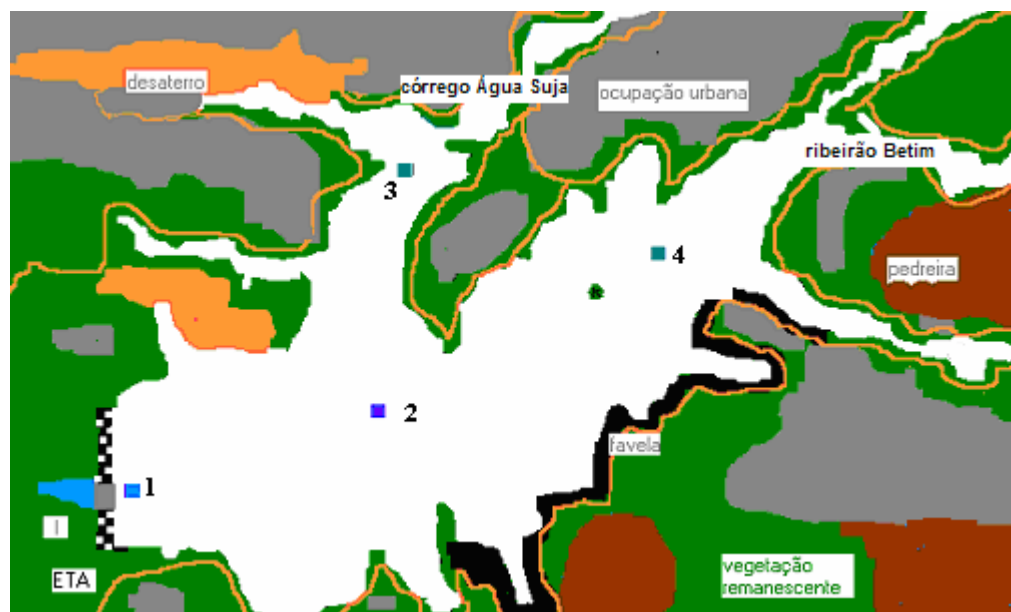


Figura 4.2 – Esquema da localização dos pontos de amostragem no reservatório de Vargem das Flores/MG (SOUZA, 2003).

A estação 1 é a estação mais profunda da represa, estando na área de proteção da Copasa, próxima ao barramento, não recebendo influência direta dos tributários. Já a estação 2 encontra-se em uma posição mais central do espelho d'água, no encontro dos dois braços principais da represa que recebem a influência da entrada dos dois afluentes com maior impacto poluidor, córrego Água Suja e ribeirão Betim, onde se localizam as estações 3 e 4 respectivamente (Figura 4.2). O Quadro 4.1 apresenta as características de cada estação de amostragem.

Quadro 4.1 - Características das estações de amostragem

Estação de amostragem	Localização	Profundidades amostradas
Estação 1	Próximo à torre de tomada d'água da ETA	Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 e 10 metros da superfície e a 1 metro do fundo
Estação 2	Ponto de encontro dos dois braços principais da represa	Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 metros da superfície e a 1 metro do fundo
Estação 3	Ponto de afluência do córrego Água Suja	Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 metros da superfície e a 1 metro do fundo
Estação 4	Ponto de afluência do ribeirão Betim	Superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 metros da superfície e a 1 metro do fundo.

Nota: a profundidade correspondente ao final da zona eufótica (Secchi x 3) também foi monitorada durante outubro de 2004 e junho de 2006.

4.3 Métodos de análise

4.3.1 Coletas

Para a realização das coletas, foi utilizada a estrutura operacional da Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Copasa. O transporte até as estações de amostragem era feito com barco a motor, e as coletas foram realizadas utilizando-se garrafa de Van Dorn (coletas em profundidade) com capacidade para 6 litros, seguindo-se a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998). As coletas foram realizadas sempre durante a manhã, entre 9:30 h e 11:30 h. Devido ao grande número de parâmetros amostrados as coletas nas quatro estações eram divididas em dois dias subsequentes, sendo geralmente coletadas as amostras das estações 1 e 2 em um dia e das estações 3 e 4 no dia seguinte.

As coletas foram realizadas com uma frequência mensal em todas as estações de amostragem. A estação 1 foi monitorada durante o período de outubro de 2004 a outubro de 2007, enquanto as estações 2, 3 e 4 foram monitoradas de outubro de 2004 a junho de 2006 (Quadro 4.2). A diferença dos períodos de monitoramento entre as estações foi devida tanto ao término do contrato de cooperação da Copasa e as pesquisas do Prosab-Edital 4 - UFMG, à qual este

estudo estava inserido, quanto à ausência da pesquisadora durante o período de agosto de 2006 a julho de 2007, para realização do estágio de doutorado sanduíche na Austrália.

Desta forma, como o programa de monitoramento da Copasa segue a frequência mensal apenas para a estação 1 (estações 2, 3 e 4 frequência bimestral) foi acordado com a Empresa a continuidade das coletas nessa estação para a obtenção de dados referentes à 3 anos de monitoramento na represa, período esse suficiente para cobrir as possíveis variações de três ciclos hidrológicos.

Devido a esse fato, a profundidade correspondente ao final da zona eufótica também foi monitorada apenas durante o período de outubro de 2004 e junho de 2006. Os valores dos parâmetros analisados nessa profundidade só foram considerados para a construção dos gráficos de perfil da coluna d'água (Surfer 8.0) e na avaliação da concentração dos parâmetros bióticos: clorofila-a e zooplâncton.

Ressalta-se que, a partir de junho de 2006, apenas as análises qualitativas e quantitativas do fitoplâncton e análises dos nutrientes (série nitrogenada e fosforada) continuaram sendo feitas pela equipe do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Desa. As análises dos outros parâmetros foram realizadas pelo laboratório Metropolitano da Copasa durante esse período e os resultados disponibilizados para o presente estudo.

Quadro 4.2 - Programa de monitoramento das estações

Estação	Período de amostragem	Frequência de monitoramento
1	Outubro de 2004 a outubro de 2007	mensal
2, 3 e 4	Outubro de 2004 a junho de 2006	mensal
2, 3 e 4	Julho de 2006 a outubro de 2007	bimestral

4.3.2 Parâmetros físicos e químicos

Para a determinação dos parâmetros físicos e químicos, tanto para a preservação, quanto para transporte e análise, foram seguidos os métodos propostos pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998), com exceção das análises de nutrientes (ortofosfato, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato) que foram realizadas através de metodologias diferentes (Quadro 4.3) que permitissem a redução do limite de detecção na análise desses compostos. O emprego de tais metodologias permitiram a detecção de concentrações iguais ou maiores que 0,05 mg/L para nitrito, 0,1 mg/L para

nitrito, 0,01 mg/L para amônia e 0,005 µg / L para a série fosforada em substituição aos métodos utilizados pela Copasa que apresentam limite de detecção igual ou maior que 0,20 mg/L e 20 µg/L, respectivamente.

Os parâmetros determinados em todas as estações mencionadas anteriormente, em todas as profundidades e as referências às respectivas metodologias estão descritos na Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Relação dos parâmetros físicos e químicos para o monitoramento da represa de Vargem das Flores e seus respectivos métodos de análise.

Análise	Método	Referência
Alcalinidade total	Titulométrico (H ₂ SO ₄)	APHA 2320B
pH	Eletrométrico	APHA 4500 H ⁺ B
Condutividade elétrica	Condutivímetro	APHA 2510 B
Cor aparente	Colorimétrico Pt-Co	APHA 2120 D
Turbidez	Nefelométrico	APHA 2130 B
Temperatura da água	Termômetro °C (Hg) e sonda	APHA 2550 B
Oxigênio dissolvido	Método iodométrico	APHA (4500B).
Ortofosfato	Ascórbico/molibdato	Paranhos (1996)
Fósforo total	Pré digestão/Ascórbico/molibdato	Paranhos (1996)
Nitrogênio amoniacal	Colorimétrico/iodofenol	Paranhos (1996)/Carmouze (1994)
Nitrato	Colorimétrico /salicílico	Rodie (1981)
Nitrito	Colorimétrico/ sulfanílico	APHA/4500B
Sólidos em suspensão totais	Filtração/secagem/gravimétrico	APHA 2540 D
Cloretos	Titulométrico/nitrato de mercúrio	APHA 4500 C
Ferro total	Absorção atômica	APHA 3500 B

Nota: as análises de Ferro total foram realizadas apenas na estação 1

4.3.3 Parâmetros biológicos

Os parâmetros biológicos determinados nas quatro estações mencionadas anteriormente são: análises qualitativas e quantitativas do fitoplâncton e zooplâncton, clorofila-a, análise de coliformes (coliformes totais e *Escherichia coli*) e análise de cianotoxinas.

4.3.3.1 Análise qualitativa do fitoplâncton

As amostras para as análises qualitativas do fitoplâncton foram obtidas através da coleta em todas as profundidades de um litro de água, em frasco de polietileno, mantido resfriado sem adição de preservativos, seguida de concentração por filtração em malha de monyl de 25 µm, e identificação em microscópio binocular (Olympus, modelo BX-50) dos gêneros e espécies presentes, através da utilização de chaves taxonômicas (ANAGNOSTIDIS e KOMÁREK, 1988, KOMÁREK e ANAGNOSTIDIS, 1989, 1999 e 2005, SANT'ANNA e AZEVEDO, 1989 e 2000, FOTT *et al.*, 1983, AZEVEDO e SANT'ANNA, 2003, BICUDO E MENEZES, 2006). As análises foram realizadas em um período máximo de 12 horas após a coleta (APHA, 1998).

4.3.3.2 Análise quantitativa do fitoplâncton

Para as análises quantitativas foi utilizado o método de contagem em câmara de Sedgwick-Rafter (APHA, 1998) (microscópio Olympus, modelo BX-50, objetiva de 20 x, aumento total de 200 x). As contagens das amostras preservadas em solução de lugol foram realizadas por faixas (até 100 organismos da espécie predominante), ou por campos (10 organismos da

espécie predominante), segundo a distribuição de *Poisson*, obtendo-se um intervalo de confiança aproximado de 95 %, com uma margem de erro de ± 20 %.

Os resultados foram expressos em células/mL para as espécies de cianobactérias e em organismos/mL, segundo o critério da contagem por conjuntos ou *clump counting* (BRANCO, 1986) para as demais. Para a obtenção da contagem das cianobactérias em número de células/mL, foi utilizado o retículo de Whipple, calibrado com régua micrométrica padrão, como descrito por JARDIM *et al.* (2002). A diferenciação na contagem do fitoplâncton foi devida à necessidade de expressar os resultados referentes às cianobactérias de acordo com as exigências da Portaria MS 518/2004. Contudo, para alguns grupos do fitoplâncton, como as diatomáceas e os flagelados, a relação com o número das cianobactérias foi equivalente, ou seja, em número de células, uma vez que são organismos unicelulares.

4.3.3.3 Análise qualitativa e quantitativa do zooplâncton

A coleta, tanto para as análises qualitativas quanto quantitativas do zooplâncton, foi realizada através do arraste vertical de toda a zona eufótica da coluna d'água, utilizando-se uma rede de plâncton com malha de monyl com abertura de poro de 35 μm . A determinação da profundidade da zona eufótica é dada pela profundidade da extinção do disco de Secchi, multiplicada por 3. Para a análise qualitativa realizou-se o exame da amostra viva em lâmina de vidro contendo pequena alíquota de amostra coberta com uma lamínula, identificando-se os gêneros presentes. Para a análise quantitativa, a amostra foi fixada com uma solução de formol 1 % e contada em câmara de Sedgwick-Rafter, como descrito em APHA (1998).

4.3.3.4 Análise de Clorofila-a

Para a análise de clorofila-a, utilizou-se o método espectrofotométrico descrito no *Standard Methods* (APHA, 1998), com a extração da clorofila com etanol 90 % a 80 °C após concentração de um volume de amostra suficiente para a colmatação dos pré-filtros de borosilicato (GF 50/A com diâmetro de 25 mm) utilizados.

4.3.3.5 Análise de Cianotoxinas

Como as espécies dominantes de cianobactérias encontradas durante o monitoramento eram potenciais produtoras de microcistinas, foram utilizados métodos de análises para esse tipo de cianotoxinas. A quantificação das microcistinas foi realizada através de testes imunoenzimáticos, ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), utilizando-se kits

disponíveis no mercado. O teste baseia-se no emprego de anticorpos anti-microcistinas, que através de um ensaio imuno-competitivo proporcionam a estimativa da concentração destas toxinas nas amostras analisadas (CHU *et al.*, 1990).

4.3.4 Estudo genético e investigação da toxicidade dos isolados de cianobactéria

As pesquisas visando o estudo genético e a investigação da toxicidade das cianobactérias isoladas na represa de Vargem das Flores foram realizadas durante o estágio de doutorado sanduíche no Laboratório de Cianobactérias do Departamento de Microbiologia Ambiental e da Saúde, da Escola de Biotecnologia e Ciências Biomoleculares, na Universidade de New South Wales- UNSW em Sydney, Austrália.

4.3.4.1 Isolamento e cultivo das cianobactérias

Para o isolamento das espécies de cianobactérias o material utilizado foi obtido a partir de amostras compostas coletadas na superfície no manancial durante o período de ocorrência do grupo compreendido entre os meses de setembro e novembro de 2005. Uma parte do material do seston coletado foi inoculado em meio de cultura ASM-1 (GORHAM *et al.*, 1964 *apud* COSTA E AZEVEDO, 1994) e outra foi concentrada e congelada.

Os isolados de cianobactérias foram obtidos seguindo-se a metodologia descrita em Costa e Azevedo (1994). O isolamento foi realizado inicialmente pela técnica de microcapilares e os isolados mantidos em meio de cultura em câmara de cultivo sob condições controladas (temperatura: 22 °C; fotoperíodo:12 horas; intensidade luminosa $\cong 60 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Para a maior purificação dos isolados, após o crescimento em meio líquido, estes foram plaqueados em meio ASM-1 sólido usando-se a técnica de plaqueamento por esgotamento com o auxílio da alça de Drigalsky. As colônias crescidas foram então reintroduzidas ao meio líquido e após o crescimento, novamente identificadas em microscópio óptico. Os 15 isolados de cianobactérias foram mantidos na câmara de cultivo do laboratório de microbiologia do Desa para as análises posteriores.

Para a realização das análises moleculares e toxicológicas a biomassa de cada um dos 15 isolados foi concentrada por centrifugação (3.000 g por 15 min) e colocada em placas de Petri estéreis para dessecação. O material seco foi devidamente rotulado e acondicionado em papel alumínio para congelamento.

O material do seston coletado no mesmo período (setembro a novembro de 2005) também foi dessecado e acondicionado sob congelamento para as análises moleculares.

Além disso, o material liofilizado da floração de cianobactérias ocorrida em 1999 foi cedido pelo Setor de Hidrobiologia da Copasa para o estudo molecular. As biomassas (material seco do seston, dos 15 isolados e da floração 1999) foram enviadas para o laboratório da UNSW para as análises descritas a seguir.

4.3.4.2 Extração de DNA

Para a extração de DNA, aproximadamente 100 mg do material seco de cada biomassa (dos 15 isolados, do seston de 2005 e da floração de 1999) foi adicionado a 500 µL do tampão XS (1 % de potássio-metilxantogenato; 800 mM de acetato de amônio; 20 mM EDTA; 1% SDS; 100 mM Tris-HCL, pH 7,4) e incubado a 65 °C por duas horas (agitando em vórtex após uma hora). A solução foi então colocada em banho de gelo por 10 minutos e em seguida centrifugada a 12.000 g por 10 minutos. Após essa fase, o sobrenadante foi recolhido e o DNA presente foi precipitado com a adição de uma solução de isopropanol (1 volume) e acetato de potássio 4 M (1/10 de volume) e colocado a 4 °C por 15 minutos, seguido centrifugação a 12.000 g por 15 minutos. O DNA já extraído foi então lavado com etanol 70 % e novamente centrifugado a 12.000 g por 15 minutos. Após o descarte do sobrenadante e evaporação do etanol o DNA foi ressuspensionado em 50 µL de água deionizada (NEILAN *et al.*, 2002).

4.3.4.3 Amplificação das seqüências alvo do DNA

Para a amplificação das seqüências alvo do DNA foi empregada a técnica de amplificação *in vitro*, reação em cadeia da polimerase (*Polymerase Chain Reaction* – PCR). Para tanto, foram utilizados diferentes oligonucleotídeos iniciadores, específicos para a detecção tanto dos genes relacionados às microcistinas, quanto da porção 16S do genoma e do operon da ficocianina (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 - Relação dos oligonucleotídeos iniciadores usados para amplificação das diferentes porções do genoma das cianobactérias estudadas.

Denominação	Genes alvo	Temperatura de anelamento	Referência
27F/809R	16SrDNA	52 °C	Salmon e Neilan (não publicado)
740F/1494R	16SrDNA	52 °C	Neilan <i>et al.</i> (1997)
PCβF/PCαR	Ficocianina	50 °C	Neilan <i>et al.</i> (1995)
Cd1F/R	mcyA	50 °C	Hisburgues <i>et al.</i> (2003)
FAA/RAA	mcyB	50 °C	Neilan <i>et al.</i> (1999)
ArgCATF/R	mcyC	50 °C	Roberts e Neilan (não publicado)
D ₁ SCRF/R	mcyD	42 °C	Roberts e Neilan (não publicado)
HepF/R	mcyE	52 °C	Jungblunt e Neilan (2006)
mcyGintF/R	mcyG	53 °C	Roberts e Neilan (não publicado)
MT ₂ F/R	Sintetases de peptídeo	52 °C	Neilan <i>et al.</i> (1999)
DKF/R	Sintases de policetídeos	55 °C	Moffitt e Neilan (2001)
mcyHF/R	mcyH	50 °C	Pearson <i>et al.</i> (2004)
mcyIF/R	mcyI	50 °C	Pearson <i>et al.</i> (2007)
mcyJF/R	mcyJ	50 °C	Pearson e Neilan (não publicado)

A PCR foi realizada sempre em um volume de reação definido de 20 µL, sendo 19 µL da solução de reagentes e 1 µL da amostra de DNA a ser amplificada. A reação foi feita em solução contendo: 0,2 U da enzima *Taq* polimerase (Fischer Biotech, Perth, Austrália), cloreto de magnésio (MgCl₂) 2,5 mM, tampão para reação PCR 1X (Fischer Biotech), 0,2 mM dNTPs (Fischer Biotech), 0,5 pmol de cada iniciador e água ultra pura esterilizada suficiente para um volume final de 20 µL.

A reação ocorreu em um termociclador GeneAmp PCR System 2400 (Perkin Elmer, Norwalk, CT). O ciclo básico da reação consiste em uma fase inicial de desnaturação a 92 °C por 2 minutos, seguido por 30 ciclos de: 92 °C por 20 segundos, 50 °C 30 segundos e 72 °C por 1 minuto. Em seguida a extensão final ocorre em um passo de 5 minutos a 72 °C. As condições da reação podem variar de acordo com o par de iniciadores (temperatura de anelamento no Quadro 4.4) usados ou mesmo a qualidade do DNA extraído.

Os produtos da reação foram analisados em eletroforese de gel de agarose (1 ou 2%) em solução tampão TAE 1X e corados em solução de brometo de etídio (1 µg/mL) por 10 minutos. Para a documentação fotográfica foi utilizado o sistema Gel-DOC Bio-RAD e o programa de computador Quantity One 4.1R (BIO-RAD, USA).

4.3.4.4 Seqüenciamento dos produtos da PCR

O seqüenciamento dos produtos obtidos após as reações de amplificação (PCR) foi realizado automaticamente no laboratório de seqüenciamento da UNSW pelos sistemas PRISM Big Dye e ABI 3730 Capillary Applied Biosystem. As seqüências obtidas foram então analisadas utilizando-se o programa de computador Applied Biosystem Auto-Assembler e conferidas manualmente quanto à sua qualidade. A identidade de cada seqüência foi determinada através da homologia com as seqüências publicadas no banco internacional de genes - GenBank, utilizando-se a ferramenta Blast (*Basic Local Alignment Search Tool*).

As seqüências obtidas utilizando-se os iniciadores específicos para os genes que codificam a síntese das microcistinas foram analisadas quanto à identidade. Para isso, as seqüências de nucleotídeos foram traduzidas para seqüências de peptídeos usando o programa EXPASY (Expert Protein Analysis System - <http://www.expasy.org>). A avaliação baseou-se no resultado apresentado pela seqüência de aminoácidos quando estas foram alinhadas com as seqüências referência no GenBank.

4.3.4.5 Processamento e análises filogenéticas das seqüências

Para o estudo das seqüências obtidas foram construídas árvores filogenéticas com as seqüências das porções 16S rDNA e *mcyB* das cepas estudadas. As seqüências dos isolados juntamente com as seqüências de referência obtidas no banco de dados do GenBank (*National Center for Biotechnology Information-NCBI-<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>*) foram comparadas e submetidas ao alinhamento múltiplo utilizando-se o programa Clustal X (1.8) (<http://www.bioinformatics.ubc.ca>). As árvores filogenéticas foram construídas pelo método de distância (*Neighbour-Joining*) e o cálculo da significância estatística de similaridade entre as seqüências foi feito através da análise de reamostragem (*bootstrap*) para 1000 replicações.

4.3.4.6 Investigação da presença de microcistinas e/ou metabólitos secundários

Para a avaliação da produção de cianotoxinas pelos 15 isolados e material do seston foram realizados primeiramente ensaios de inibição da enzima fosfatase (PP2A) de acordo com descrito em Heresztyn e Nicholson (2001). A capacidade de inibição da proteína fosfatase foi comparada com a curva do padrão da microcistina-LR e o resultado foi expresso em equivalentes de microcistina-LR/mg de matéria orgânica. Os testes foram realizados em duplicata e foram repetidos três vezes.

Em seguida foram realizadas análises de cromatografia líquida de alta eficiência (High Performance Liquid Chromatography - HPLC) apenas dos extratos das amostras que apresentaram resultado positivo nos ensaios de inibição da fosfatase. O procedimento de extração e análise foi realizado como descrito em Lawton *et al.* (1994). A extração foi feita em solução de metanol 70% e o extrato final foi analisado por HPLC-DAD (*solvent module* 125 e *autosampler* 507e, Beckman, Krefeld, Germany; *photodiode array detector* SPD-M10A, Shimadzu, Duisburg, Germany) utilizando-se uma coluna C18 de fase reversa (Grom-Sil-ODS4 He). As frações obtidas foram coletadas, secas a vácuo e ressuspendidas em água ultra pura.

Para a avaliação dos possíveis metabólitos secundários produzidos pelos isolados foram feitas análises de detecção por Maldi-Tof MS (*Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry*). De acordo com a metodologia descrita em Kumayer *et al.* (2002), com apenas 1 µL da amostra e 1 µL da solução matriz (10 mg/mL de ácido 2,5-dihidroxibenzoico em água/acetonitrila (1:1) e 0,03 % de ácido trifluoroacético) foram realizadas as análises e gerados os espectros contendo os picos dos diferentes peptídeos presentes em cada amostra. O equipamento utilizado foi o espectrofotômetro Applied Biosystems Voyager DE STR MALDI reflectron TOFMS.

4.3.5 Tratamento estatístico e apresentação gráfica dos resultados

- *Análise dos parâmetros bióticos e abióticos amostrados nas diferentes profundidades da coluna d'água*

Inicialmente, os dados referentes aos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água do manancial foram analisados para verificação da presença de “outliers”, ou seja, observações substancialmente diferentes das outras, que apresentam valores extremos. Como tais valores podem ser indicativos de características reais da população em estudo ou serem conseqüências de erros de medição que podem distorcer seriamente os testes estatísticos, todas as ocorrências foram analisadas individualmente para verificação da necessidade ou não de sua exclusão.

Quando a opção adotada foi a exclusão dos “outliers”, foi empregada uma regra empírica largamente utilizada no meio científico e adotada pelo pacote estatístico utilizado (Statística 6.1) e todos os conjuntos de dados foram tratados como a seguir:

Observação > Quartil superior + 1,5 (Quartil superior – Quartil inferior) ⇒ exclusão do dado

ou

Observação < Quartil inferior - 1,5 (Quartil superior – Quartil inferior) ⇒ exclusão do dado

Onde,

Quartil superior: percentil 75 %

Quartil inferior: percentil 25 %

Em seguida, os constituintes Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, Ferro Total, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*, foram analisados por meio de estudos estatísticos preliminares. Para todos os constituintes de interesse, foram calculadas as estatísticas básicas relativas ao número de dados, médias aritmética e geométrica, mediana, desvio padrão, percentis de 10 e de 90 %. Os resultados foram apresentados na forma de tabelas e de gráficos “box-whisker” para permitir uma melhor visualização da variabilidade observada em cada estação de amostragem, em todas as profundidades.

Numa etapa posterior, a normalidade dos dados foi checada com a utilização dos testes estatísticos Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro Wilk e o teste gráfico “Normal Probability Plot”, executados pelo pacote estatístico Statistica 6.1 (StatSoft, Inc., 2003).

A partir dos resultados obtidos, foram determinados os testes estatísticos não paramétricos a serem empregados para verificação da existência de diferenças significativas entre as medianas dos dados relativos aos parâmetros físicos, químicos e biológicos coletados nas diversas profundidades. Quando os dados foram considerados diferentes nos testes Kruskal-Wallis ANOVA e no teste de medianas (Kruskal-Wallis, 1952, Siegel & Castellan, 1988), ao nível de significância (α) de 5%, foram empregados os testes de comparações múltiplas. Estes testes permitem uma comparação simultânea entre todos os resultados obtidos e a verificação de quais constituintes apresentam comportamentos diferenciados dentre as quatro profundidades (superfície, secchi, 5 metros e fundo). O teste não paramétrico de comparações múltiplas de classes para todos os grupos (Siegel & Castellan, 1988) foi empregado após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis ANOVA e teste de medianas.

- *Avaliação comparativa dos parâmetros bióticos e abióticos nas estações de amostragem do reservatório*

As quatro estações foram analisadas, também, de forma comparativa, buscando a identificação de diferenças significativas dos parâmetros bióticos e abióticos amostrados em cada uma delas. Para isto, foram empregados os mesmos testes estatísticos não paramétricos citados anteriormente.

Foi efetuada, ainda, a verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nos períodos seco e chuvoso em todas as profundidades amostradas, por meio do teste estatístico de Mann-Whitney, considerando o nível de significância (α) de 5 %,

- *Análise de agrupamentos*

A análise de agrupamentos foi realizada numa tentativa de evidenciar os grupos de pontos similares, considerando as características limnológicas e sanitárias das quatro estações de monitoramento, a partir da avaliação de 19 variáveis (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*) que possuíam dados suficientes. A análise foi efetuada para os períodos chuvoso e seco separadamente.

O “software” Statistica 6.1 foi utilizado para a execução da análise, que se constituiu das seguintes etapas:

- Padronização dos dados, já que existiam tipos de escala muito diferentes e é importante que as dimensões que são usadas para computar distâncias entre objetos sejam de magnitudes comparáveis. A forma de padronização efetuada pelo Statistica (e a mais usualmente utilizada) consiste na conversão de cada variável em escores padrão (também conhecidos como escores Z) pela subtração da média e divisão pelo desvio-padrão para cada variável:

$$\text{Valor padronizado} = \frac{X - \bar{X}}{S_x}$$

Esse processo converte cada variável inicial em um valor padronizado com uma média zero e um desvio-padrão igual a um, eliminando o viés introduzido pelas diferenças nas escalas das diversas variáveis utilizadas na análise.

- Utilização da análise de cluster pelo método hierárquico (análise hierárquica de agrupamentos), com o objetivo de perceber se agrupamentos “naturais” são formados pelos dados de uma maneira significativa.

O algoritmo aglomerativo usado para desenvolver os agrupamentos foi o de ligação completa, baseado na distância máxima entre indivíduos, ou seja, todos os objetos em um agrupamento são conectados um com o outro a alguma distância máxima ou similaridade mínima. A medida de similaridade utilizada foi a distância euclideana, que considera o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo formado a partir de dois pontos em duas dimensões.

- *Análise de componentes principais*

A análise de componentes principais (ACP) foi efetuada também nos dados padronizados para evitar distorções devidas às diferentes ordens de magnitude dos valores numéricos e das variâncias dos parâmetros analisados. As 19 variáveis, anteriormente citadas, foram também analisadas neste caso e a ACP foi empregada numa tentativa de explicar as principais tendências de variação da qualidade da água observada tanto no período de chuva quanto de seca.

Duas abordagens foram consideradas para elaboração das análises de agrupamento e de componentes principais:

- Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades, nos períodos chuvoso e seco;
- Análise individual dos dados das quatro estações em cada profundidade, nos períodos chuvoso e seco.

A matriz de correlação de Spearman das 19 variáveis foi também calculada a partir dos dados padronizados, já que é útil para apontar associações entre variáveis que podem mostrar a coerência global do conjunto de dados e evidenciar a participação de parâmetros individuais em vários fatores de influência. Como esta técnica estatística foi utilizada como ferramenta de apoio para a interpretação dos resultados obtidos na ACP, as tabelas de dados são apresentadas no Apêndice B.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 *Análise dos parâmetros bióticos e abióticos analisados nas diferentes profundidades da coluna d'água*

Os resultados do monitoramento realizado no reservatório de Vargem das Flores que são apresentados compreendem o período entre outubro de 2004 e março de 2007 para a estação 1 e outubro de 2004 e junho de 2006 para as estações 2, 3 e 4. Como as variações sazonais nos ambientes aquáticos tropicais estão relacionadas na maioria das vezes à ocorrência de chuvas, foram analisados separadamente os resultados dos períodos chuvoso e seco obtidos durante o estudo.

No intuito de caracterizar o ambiente estudado, primeiramente, são apresentados os resultados de cada estação de amostragem, considerando separadamente os parâmetros abióticos e bióticos, os gráficos para comparação entre os dois períodos (chuvoso e seco) e os resultados dos testes estatísticos.

Em seguida são apresentados os resultados das comparações dos parâmetros bióticos e abióticos entre as quatro estações de amostragem estudadas, incluindo as séries temporais e os resultados das análises multivariadas. E por fim, são mostrados os resultados do estudo genético e avaliação da toxicidade das cianobactérias isoladas do manancial.

Para o emprego da estatística descritiva, a normalidade dos dados foi verificada por meio da execução dos testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk e o teste gráfico “Normal Probability Plot”. Os resultados dos testes de normalidade efetuados para a estação 1 (Apêndice A) indicaram que apenas os parâmetros referentes à temperatura, turbidez, condutividade, PT-PO₄ e clorofila-a não apresentaram desvios acentuados de normalidade, dentre os 26 constituintes testados. Este comportamento foi considerado como representativo de todo o reservatório.

Como alguns parâmetros não possuíam dados suficientes para a determinação do tipo de distribuição de frequência que melhor representasse o comportamento das variáveis, não foi possível efetuar as transformações necessárias para a normalização de dados assimétricos. Desta forma, testes não paramétricos foram empregados para verificação da existência de diferenças significativas entre os parâmetros monitorados em cada profundidade. Numa

primeira etapa foram aplicados o teste de Kruskal-Wallis ANOVA e o teste de medianas (Kruskal-Wallis, 1952, Siegel & Castellan, 1988), considerando o nível de significância (α) de 5 %, para verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nas diversas profundidades. Quando os resultados eram considerados diferentes por estes testes (valores de $p < 5\%$), foram empregados os testes de comparações múltiplas para definição de quais profundidades apresentavam valores menores ou maiores que as outras.

Em seguida foi aplicado o teste estatístico de Mann-Whitney, considerando o nível de significância (α) de 5 %, para a verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nos períodos seco e chuvoso nas profundidades amostradas.

5.1.1 Estação 1

A estatística descritiva dos parâmetros abióticos e bióticos (seis últimas colunas) analisados na estação 1 no período chuvoso, outubro a março, é apresentada na Tabela 5.1. A Tabela 5.2 apresenta os resultados do período seco, abril a setembro, durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a outubro de 2007.

5.1.1.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.1 a 5.5 apresentam os gráficos “box whisker” dos períodos chuvoso e seco de outubro de 2004 a outubro de 2007 para a estação 1. Em seguida são apresentadas os Quadros 5.1 e 5.2 contendo os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

A discussão conjunta dos resultados será efetuada após a apresentação de todos os resultados.

Tabela 5.1 - Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 1 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	FeT	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	12
	Méd. aritm.	25	6,5	0,42	0,01	0,45	9	13	3	15	55	8	124	8	0,06	6	28815	669	409	289	232	7
	Méd. geom.	25	6,4			0,27			3	14	55	8	123	8	0,05	6		231	252		108	7
	Mediana	26	7,0	0,14	0,01	0,45	8	12	4	15	54	8	120	8	0,04	6	203	216	432	216	115	7
	Perc. 10%	21	5,0	0,00	0,01	0,08	0	0	2	7	50	6	105	8	0,04	3	0	18	25	0	35	5
	Perc. 90%	28	7,5	1,00	0,02	0,72	20	20	4	21	61	10	150	8	0,10	8	20331	2566	811	773	595	9
	Desv. Pad.	3	1,1	0,95	0,01	0,46	7	7	1	6	4	1	15	0	0,04	2	115621	871	306	255	420	2
Secchi	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	26	6,4	0,38	0,01	0,40	10	14	3	16	54	8	124	8	0,05	6	19612	699	374	238	232	8
	Méd. geom.	26	6,3			0,24			3	14	54	8	123	8	0,05	5					108	7
	Mediana	26	6,4	0,13	0,01	0,31	10	15	4	15	54	8	120	8	0,04	6	371	177	364	148	115	8
	Perc. 10%	24	5,0	0,00	0,01	0,06	0	1	2	8	48	7	110	8	0,04	2	0	0	26	0	35	4
	Perc. 90%	28	7,7	0,96	0,02	0,73	20	20	4	25	59	9	150	8	0,08	8	12229	1590	699	743	595	15
	Desv. Pad.	2	1,0	0,84	0,01	0,39	7	8	1	6	4	1	14	0	0,03	5	76693	1044	269	310	420	4
5 metros	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	25	6,2	0,50	0,01	0,75	12	15	3	16	54	8	122	8	0,05	5	19573	714	380	169		
	Méd. geom.	25	6,0			0,27			3	15	54	8	122	8	0,05	5			270			
	Mediana	25	6,2	0,19	0,01	0,31	15	20	3	15	55	8	120	8	0,04	5	190	223	340	128		
	Perc. 10%	24	4,6	0,02	0,00	0,05	0	1	2	8	49	8	110	8	0,04	2	0	4	39	0		
	Perc. 90%	28	7,7	0,99	0,02	1,61	20	26	4	25	59	9	140	8	0,09	8	10331	2049	814	394		
	Desv. Pad.	2	1,2	1,13	0,01	1,56	8	8	1	6	4	1	12	0	0,03	3	77856	942	277	170		
10 metros	Nº dados	18	18	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	25	3,3	0,66	0,01	0,94	13	16	4	26	57	8	127	8	0,20	6	8321	457	176	93		
	Méd. geom.	25	3,0	0,38		0,40			4	22	56	8	126	8	0,12	5			105			
	Mediana	25	3,6	0,42	0,01	0,52	16	20	4	20	57	8	120	8	0,09	5	58	96	116	60		
	Perc. 10%	23	1,0	0,09	0,00	0,10	0	0	2	8	50	7	110	7	0,04	2	0	0	20	0		
	Perc. 90%	26	5,0	1,15	0,02	3,62	23	26	8	40	62	9	150	8	0,63	10	4142	1066	557	297		
	Desv. Pad.	2	1,3	1,07	0,01	1,47	9	9	2	13	4	1	12	0	0,23	4	33147	771	188	105		
Fundo	Nº dados	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Méd. aritm.	23	1,4	0,80	0,01	0,91	15	19	5	66	60	8	132	7	0,77	6	204	284	95	34		
	Méd. geom.	23		0,61		0,35			5	48	60	8	131	7	0,34	4						
	Mediana	24	1,0	0,59	0,01	0,32	19	20	5	60	62	9	130	7	0,50	4	0	59	14	11		
	Perc. 10%	21	0,5	0,22	0,00	0,10	0	0	3	8	54	6	110	7	0,05	2	0	2	0	0		
	Perc. 90%	26	3,5	1,89	0,01	5,20	30	33	7	110	66	9	150	8	1,99	10	1101	697	557	94		
	Desv. Pad.	2	1,0	0,59	0,00	1,80	10	11	2	42	4	1	16	0	0,94	7	446	505	180	46		

Tabela 5.2 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 1 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	Fe	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	17	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	14	7
	Méd. aritm.	22	5,4	0,42	0,01	0,69	8	12	3	15	55	8	120	8	0,07	4	420	1133	623	125	221	5
	Méd. geom.	22	5,1	0,32		0,39			3	14	55	8	119	8	0,06	3			361		172	5
	Mediana	22	5,6	0,43	0,01	0,57	8	11	3	15	54	8	120	8	0,05	4	0	111	573	67	155	5
	Perc. 10%	20	2,4	0,07	0,00	0,11	0	5	2	8	50	7	98	7	0,04	2	0	2	86	0	67	3
	Perc. 90%	26	8,0	0,71	0,02	1,70	15	29	4	24	62	9	140	8	0,13	5	122	3530	1063	265	473	9
	Desv. Pad.	2	1,9	0,27	0,01	0,64	6	8	1	7	5	1	15	0	0,04	1	1649	1851	703	182	163	3
Secchi	Nº dados	17	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	17	17	17	14	15
	Méd. aritm.	22	5,3	0,49	0,01	0,75	8	11	3	16	55	8	120	8	0,08	4	404	827	454	137	221	6
	Méd. geom.	22	5,0	0,36		0,37			3	14	55	8	119	8	0,06	4		87	235		172	4
	Mediana	22	5,0	0,55	0,01	0,41	9	11	3	16	53	8	120	8	0,04	4	0	101	575	51	155	5
	Perc. 10%	20	2,1	0,07	0,00	0,09	0	5	2	8	51	7	98	7	0,04	2	0	1	31	0	67	2
	Perc. 90%	26	7,3	1,01	0,02	1,70	17	18	4	30	61	9	140	8	0,18	7	50	3464	1080	568	473	11
	Desv. Pad.	2	1,8	0,33	0,01	0,84	6	7	1	8	4	1	15	0	0,08	3	1650	1322	393	198	163	4
5 metros	Nº dados	17	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	16	16	16	16	16
	Méd. aritm.	22	5,0	0,48	0,01	1,21	10	16	3	16	56	7	120	8	0,07	4	325	745	728	112		
	Méd. geom.	22	4,3	0,36		0,53			3	15	55	7	119	8	0,05	4						
	Mediana	22	5,0	0,49	0,01	0,58	10	13	3	16	54	8	115	8	0,04	4	0	111	285	67		
	Perc. 10%	20	1,4	0,09	0,00	0,12	0	6	2	8	50	6	105	7	0,04	2	0	0	24	0		
	Perc. 90%	25	8,3	1,01	0,03	4,50	18	28	4	25	62	9	140	8	0,15	6	271	2480	2581	356		
	Desv. Pad.	2	2,4	0,33	0,01	1,52	9	10	1	6	5	1	13	0	0,10	1	1254	1211	1074	134		
10 metros	Nº dados	17	17	17	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	16	16	16	16	16
	Méd. aritm.	22	4,3	0,61	0,01	1,09	9	16	4	23	56	7	120	7	0,26	3	1	679	380	93		
	Méd. geom.	22	3,7	0,47		0,68			3	19	56	7	120	7	0,10	3			173			
	Mediana	22	4,4	0,61	0,01	0,63	9	13	3	20	55	7	120	8	0,06	3	0	96	206	62		
	Perc. 10%	20	1,9	0,10	0,00	0,17	0	6	2	8	51	6	100	7	0,04	2	0	2	17	0		
	Perc. 90%	25	6,8	1,10	0,03	2,60	19	28	8	50	63	9	140	8	1,14	4	0	2689	911	220		
	Desv. Pad.	2	1,9	0,36	0,01	1,14	8	10	2	14	5	1	15	0	0,44	1	3	994	363	131		
Fundo	Nº dados	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	16	16	16	16	16
	Méd. aritm.	21	2,9	0,97	0,01	0,81	16	25	5	37	57	8	125	7	0,98	4	1	549	130	74		
	Méd. geom.	21				0,51			4	26	57	8	124	7	0,18	4						
	Mediana	21	3,7	0,72	0,01	0,45	15	22	3	20	59	8	125	7	0,05	4	0	60	70	26		
	Perc. 10%	19	0,0	0,06	0,00	0,16	0	5	2	10	51	7	100	7	0,04	2	0	0	3	0		
	Perc. 90%	24	5,6	2,45	0,02	2,10	35	57	10	100	62	9	150	8	3,11	6	2	2443	382	173		
	Desv. Pad.	2	2,2	0,81	0,01	0,95	12	18	3	36	6	1	18	0	1,70	2	3	915	160	156		

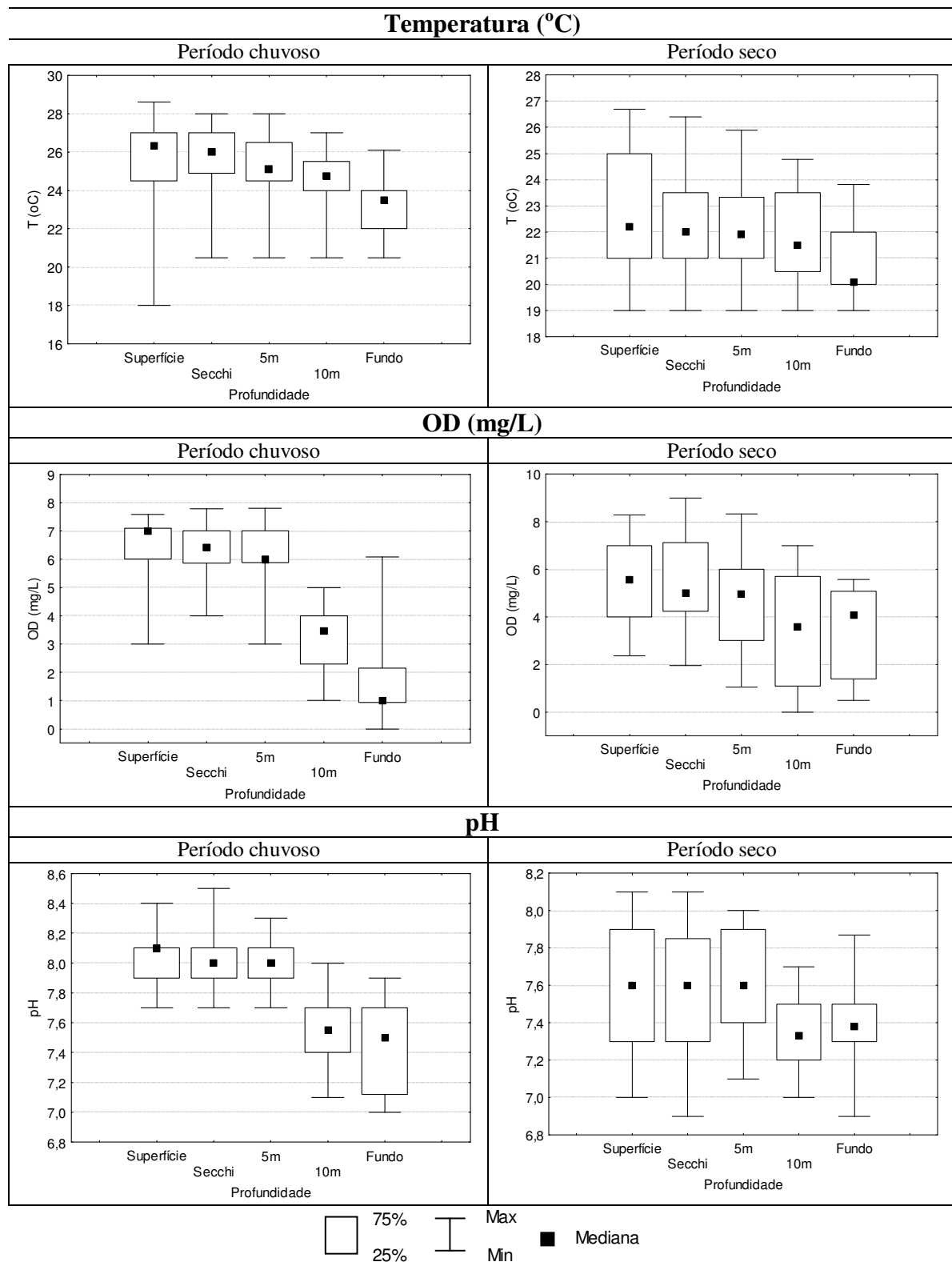


Figura 5.1 - Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

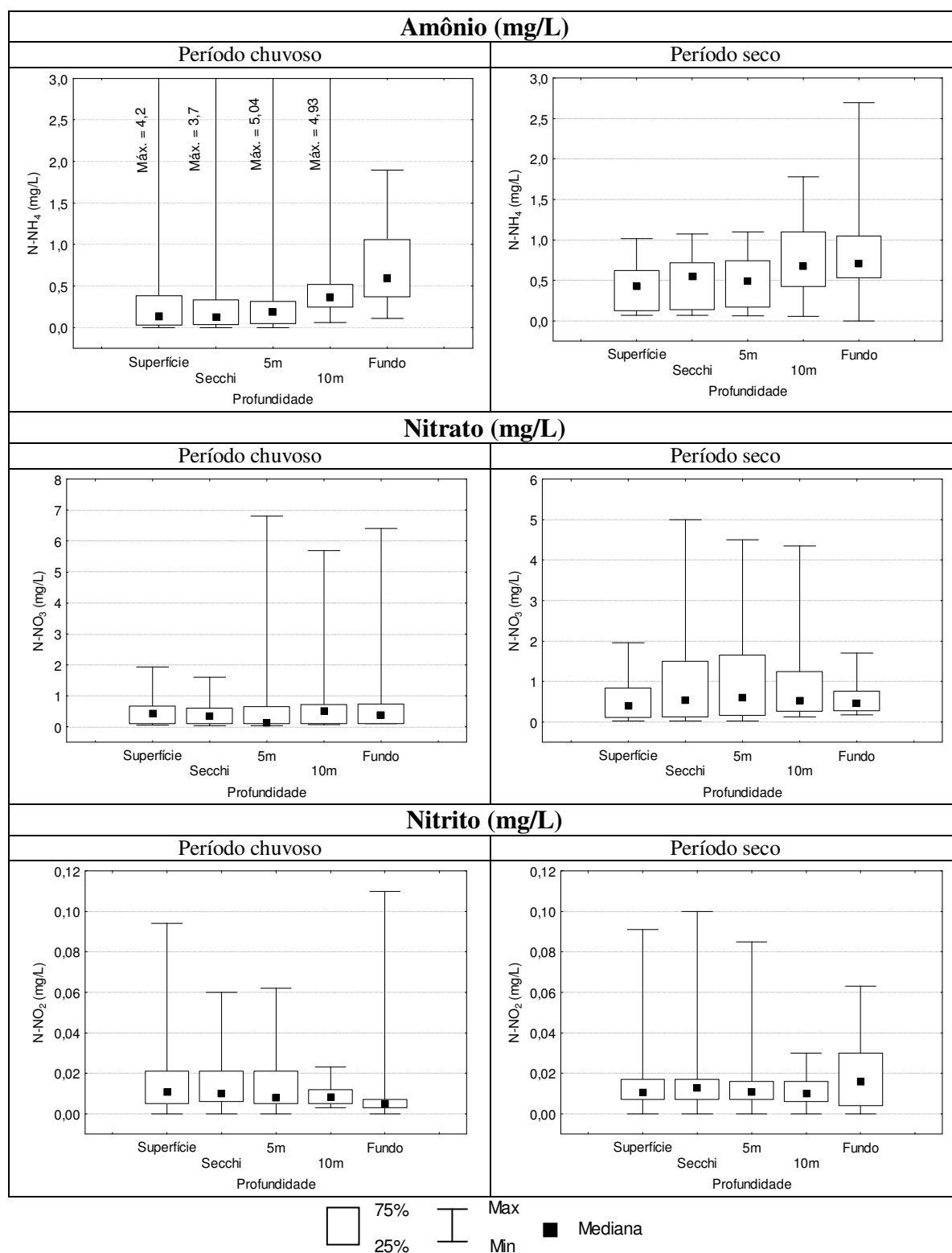


Figura 5.2 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **amônio (mg/L)**, **nitrito (mg/L)** e **nitrate (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

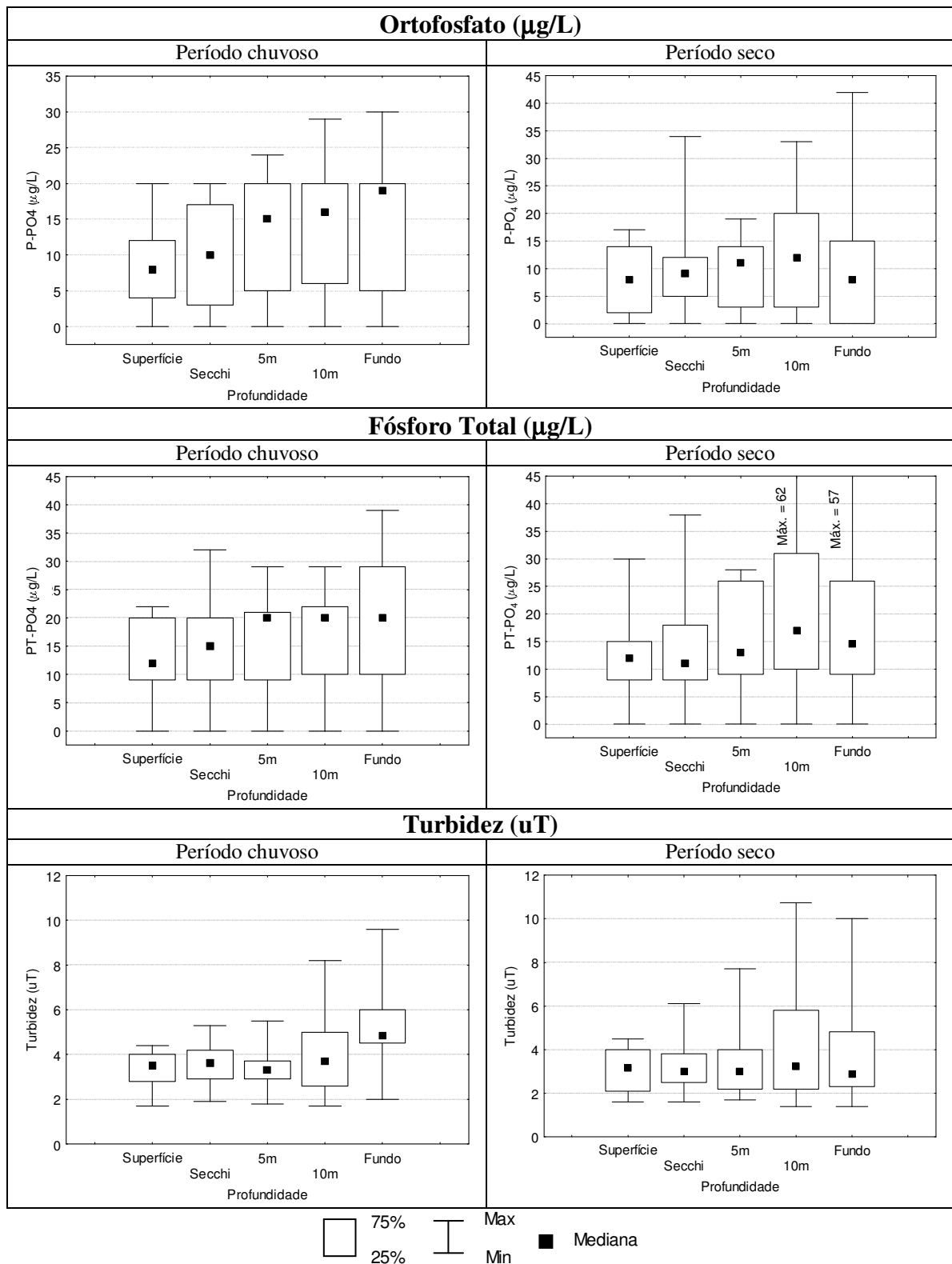


Figura 5.3 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato (µg/L)**, **fósforo total (µg/L)** e **turbidez (uT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

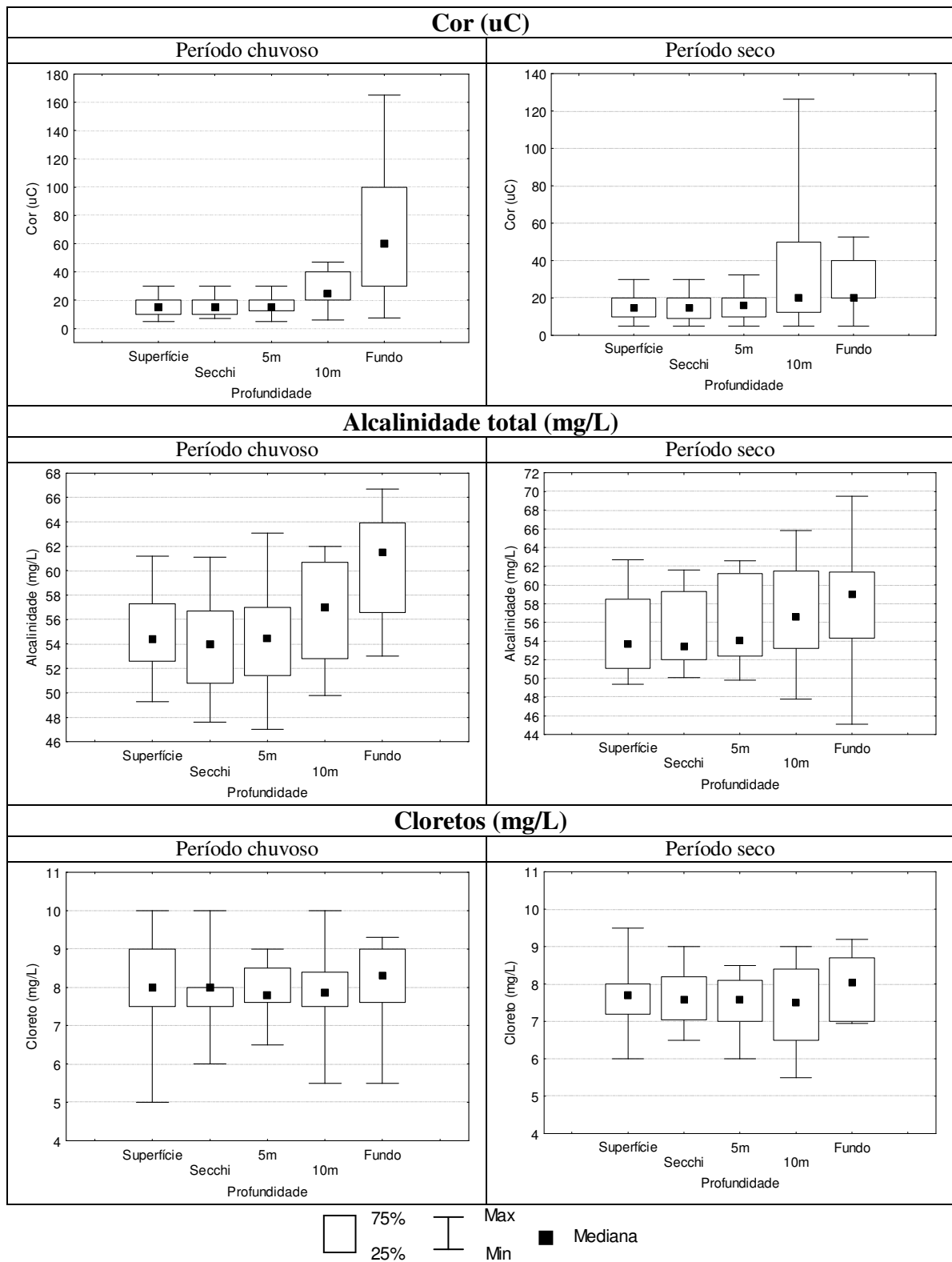


Figura 5.4 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloreto (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG.

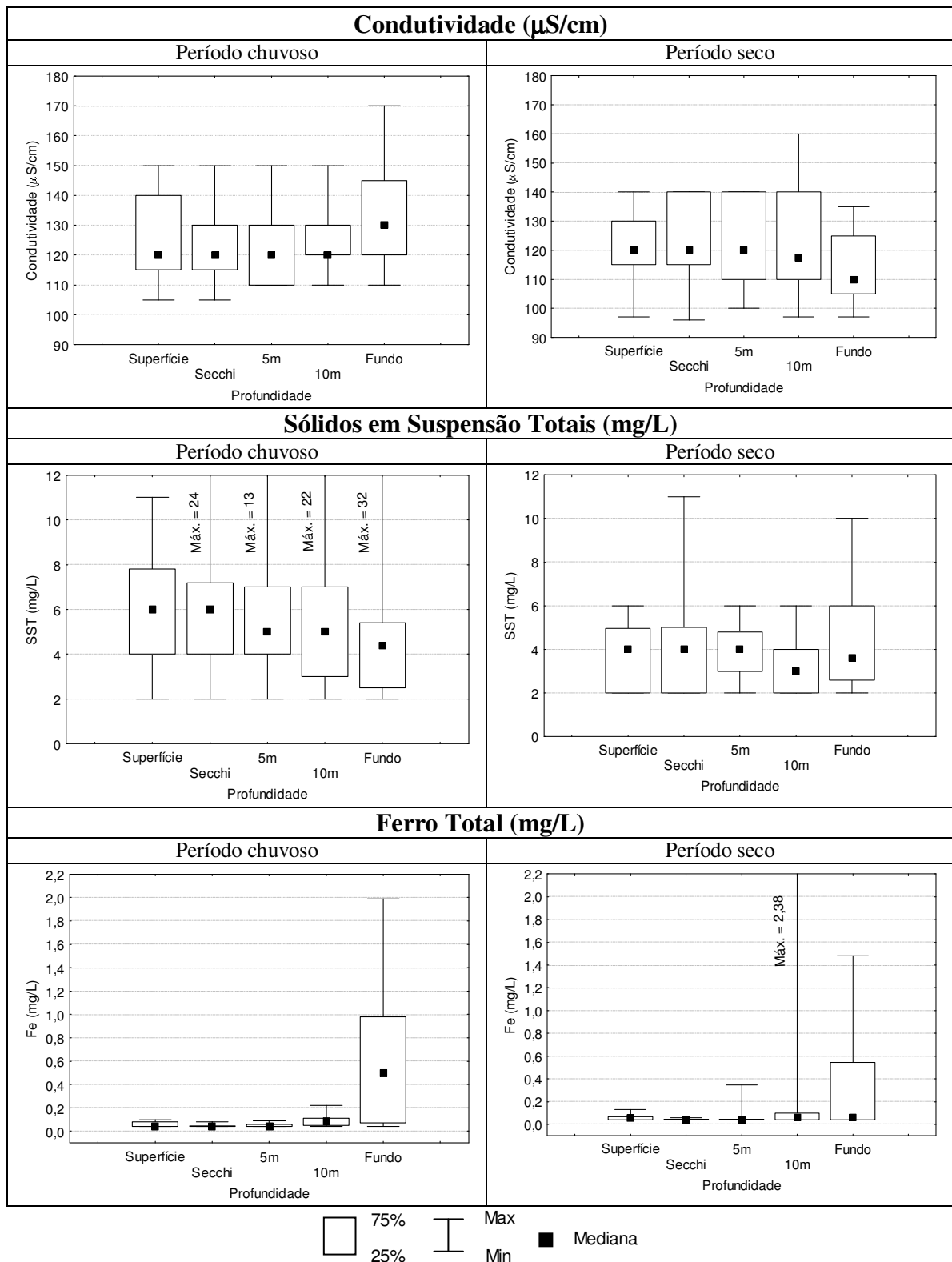


Figura 5.5 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)**, **sólidos em suspensão totais (mg/L)** e **ferro total (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.1 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si e significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si e significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície e cinco metros.
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fe Total (mg/L)	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si. Fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros e dez metros significativamente diferente do Secchi.	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.2 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade				
	SUP	SEC	CIN	DEZ	FUN
T (°C)	X	X	X	X	X
OD (mg/L)					X
N-NH ₄ (mg/L)	X	X	X		
N-NO ₃ (mg/L)					
N-NO ₂ (mg/L)					
P-PO ₄ (µg/L)					
PT-PO ₄ (µg/L)					
Turb (uT)					
Cor (uC)					X
Alc (mg/L)					
Cl (mg/L)			X		
Conduct (µS/cm)					
pH	X	X	X		
SST (mg/L)	X	X	X	X	
Fe Total (mg/L)					

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, DEZ-dez metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se as tabelas da estatística descritiva (Tabelas 5.1 e 5.2) e os gráficos “box-whisker” (Figura 5.1) observa-se que a maior variação dos valores da temperatura ocorreram durante o período chuvoso (estação quente). Mesmo não havendo grande oscilação da temperatura nesse período, típico das regiões tropicais (SCHÄFER, 1984), a coluna d’água encontrava-se estratificada nesse período (Figura 5.36), como será comentado mais detalhadamente no item 5.2.1.1. Apenas os valores de temperatura medidos no fundo apresentaram diferenças estatisticamente significativas (considerando-se o nível de significância de 5%) das demais profundidades avaliadas (Quadro 5.1).

No período seco (abril a setembro), representando a estação fria (outono e inverno), observa-se pequena variação na temperatura (Tabela 5.2 e Figura 5.1) com ausência de diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades (Quadro 5.1).

Ao avaliarem-se as diferenças entre as temperaturas encontradas durante os períodos chuvoso e seco, observa-se que em todas as profundidades foram encontradas diferenças

estatisticamente significativas (ao nível de significância, α , de 5%) entre os dois períodos (Quadro 5.2), confirmando a influência de uma estação quente e chuvosa e outra estação seca e fria.

Os valores do oxigênio dissolvido (OD) nas diferentes profundidades no período chuvoso (Tabela 5.1 e Figura 5.1) retratam a ocorrência de um gradiente de concentração de OD, com as maiores concentrações sendo encontradas na superfície, na profundidade de extinção do disco de Secchi e a 5 metros da superfície, e as menores nas camadas mais profundas (10 metros da superfície e a um metro do fundo). A diferença da distribuição do OD na estação 1 pode ser claramente visualizada na Figura 5.1. A concentração de oxigênio dissolvido no fundo e a 10 metros foi significativamente menor ($\alpha = 5\%$) que as concentrações encontradas nas outras profundidades (Quadro 5.1).

Principalmente durante o dia a diferença de distribuição do oxigênio dissolvido entre as camadas superficiais e profundas da coluna d'água é mais evidente. Na zona eufótica devido à intensa atividade fotossintética ocorre maior produção de oxigênio, enquanto na zona afótica, devido à decomposição microbiana da matéria orgânica, ocorre consumo. A temperatura elevada do hipolímnio de lagos tropicais (maioria superior a 20°C) induz à perdas mais rápidas de oxigênio e acelera os processos de decomposição da matéria orgânica. Em todos os meses monitorados foram observadas elevadas temperaturas (19 a 26°C) no hipolímnio na estação 1, o que provavelmente contribuiu para períodos de anoxia nessa profundidade (Tabela e Figura 5.1).

No período seco, observa-se aumento da concentração de OD nas camadas profundas da estação 1 (Tabela 5.2 e Figura 5.1). Os valores de OD entre as profundidades durante o período seco não apresentaram diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) (Quadro 5.1) com menor variação das concentrações em toda a coluna. A melhor distribuição do OD pode indicar o período de circulação da coluna d'água.

Quando se comparou a concentração de OD entre os períodos chuvoso e seco, observou-se que apenas na profundidade do fundo foi encontrada diferença estatisticamente significativa no nível adotado (Quadro 5.2). A ocorrência de concentrações semelhantes de oxigênio dissolvido, independentemente da estação do ano, na maior parte da coluna d'água deve-se provavelmente à produção primária do fitoplâncton durante todo o período.

Ao analisar-se os valores de pH tanto no período chuvoso quanto no seco (tabelas 5.1 e 5.2 e figura 5.1) observa-se um pH de neutro a levemente alcalino (pH 7 - 8,5) em todas as profundidades.

Apesar da pequena faixa de variação observada, o pH medido nas camadas mais profundas da coluna d'água (10 metros da superfície e a um metro do fundo) foi significativamente menor do que o das profundidades mais superficiais nos dois períodos, chuvoso e seco (Figura 5.1 e Quadro 5.1). Essa diferença é esperada, uma vez que a atividade fotossintética na zona eufótica consome gás carbônico, bicarbonatos e carbonatos, ocasionando a elevação do pH, enquanto no fundo a decomposição da matéria orgânica, assim como a respiração, geram gás carbônico e ácidos orgânicos causando a redução do pH (SAYER *et al.*, 1994).

Comparando-se os valores de pH entre os dois períodos (Quadro 5.2) observa-se que o pH no período seco foi significativamente menor nas profundidades da superfície, Secchi e 5 metros. Os menores valores de pH observados no período seco podem ser devido tanto à menor atividade fotossintética devido às temperaturas mais baixas nessa época, quanto à provável circulação da massa d'água nesse período possibilitando aumento da concentração de ácidos orgânicos, presentes no fundo, nas camadas mais superficiais da coluna d'água.

As concentrações de amônia medidas na profundidade do fundo da estação 1 foram significativamente maiores que as das outras profundidades no período chuvoso (Figura 5.2 e Quadro 5.1). As menores concentrações de nitrogênio amoniacal no epilímnio contrastando com maiores no hipolímnio podem estar relacionadas ao maior consumo pelo fitoplâncton nas camadas superficiais e maior produção do íon amônio no fundo, tanto através da decomposição da matéria orgânica quanto da redução do nitrato em condições anaeróbias.

No período seco, provavelmente devido à quebra da estratificação térmica (Figura 5.36), a concentração do íon amônio esteve igualmente distribuída não sendo encontradas diferenças significativas entre as profundidades ($\alpha = 5\%$). Segundo ESTEVES (1998) a distribuição da amônia na coluna d'água em regiões tropicais está bastante relacionada com o período de estratificação térmica, encontrando-se mais homogênea durante a circulação da massa d'água.

Quando avaliada a diferença das concentrações de amônia entre os dois períodos (Quadro 5.2), observa-se que no período seco as concentrações foram significativamente maiores nas camadas mais superficiais (superfície, Secchi e 5 metros), possivelmente relacionado com a

circulação da massa d'água e carreamento da amônia do fundo. Contudo analisando-se os valores da amônia no período chuvoso (Figura e Tabela 5.2), observa-se elevadas concentrações (valores máximos) que podem estar relacionados a eventos de chuva e carreamento de matéria orgânica.

Por outro lado, analisando-se os resultados das outras formas de nitrogênio, nitrato e nitrito (Figura e Tabela 5.2), não foram observadas diferenças da concentração desses compostos quando comparadas as profundidades em cada período (Quadro 5.1), ou mesmo quando comparadas as concentrações medidas entre os dois períodos (Quadro 5.2).

Da mesma forma, as concentrações de ortofosfato e fósforo total não apresentaram diferenças significativas ($\alpha = 5\%$) nem entre as profundidades nem entre os períodos seco e chuvoso (Quadros 5.1 e 5.2). Apesar dos testes estatísticos (baseados na diferença entre medianas) não terem apontado diferenças entre as profundidades, observa-se na Figura 5.3 variação da concentração tanto de ortofosfato quanto de fósforo total, com maiores valores nas camadas mais profundas. Através da análise dos valores encontrados para os nutrientes, tanto fósforo quanto nitrogênio, pode-se inferir que o reservatório encontrou-se na maior parte do período em condições de mesotrofia (índice de Vollenweider para as formas de nitrogênio e fósforo total).

Analisando-se a turbidez na coluna d'água da estação 1 (Tabelas 5.1 e 5.2 e Figura 5.3) observa-se que os valores medidos no fundo foram significativamente maiores que os das camadas superficiais (Quadro 5.1). Não foi observada diferença significativa ($\alpha = 5\%$) comparando-se os dois períodos (Quadro 5.2).

Na Figura 5.4 observa-se nitidamente a diferença significativa ($\alpha = 5\%$) entre a cor do fundo e a medida na superfície, Secchi e 5 metros. Os maiores valores de cor são, provavelmente, devido a maior concentração de ferro total dissolvido nas camadas do fundo, como mostrado na Figura 5.5.

A alcalinidade total medida na profundidade do fundo da coluna d'água da estação 1 no período chuvoso foi significativamente maior ($\alpha = 5\%$) que a observada na superfície, profundidade do Secchi e 5 metros da superfície (Figura 5.4 e Quadro 5.1). A maior alcalinidade no fundo pode estar relacionada com a concentração mais elevada de ácidos fracos provenientes da degradação de matéria orgânica, principalmente em condições de

anaerobiose. Além disso, as concentrações mais elevadas de amônia no fundo durante o período chuvoso (Figura 5.2) podem ter contribuído para o aumento da alcalinidade.

No período seco não foram observadas diferenças significativas da alcalinidade quando comparadas as profundidades (Quadro 5.1). Da mesma forma, não houve diferença quando comparadas as concentrações medidas entre os dois períodos (quadro 5.2).

A concentração de cloretos medida na coluna d'água (Tabelas 5.1 e 5.2 e Figura 5.4) não apresentou diferenças significativas ($\alpha = 5\%$) quando comparadas as profundidades em ambos os períodos, chuvoso e seco (Quadro 5.1). Porém, quando comparadas as concentrações entre os dois períodos (Quadro 5.2) observou-se que apenas na profundidade de cinco metros da superfície a concentração de cloretos no período chuvoso foi significativamente maior do que no período seco, embora a faixa de variação das concentrações tenha sido baixa: período chuvoso entre 8 e 9 mg / L e período seco entre 6 e 9 mg/L. A ocorrência de chuvas e carreamento de material alóctone, talvez de forma pontual, pode ter contribuído para a maior concentração de cloretos nesse período.

Apesar das medidas da condutividade elétrica não terem apresentado diferenças significativas ($\alpha = 5\%$) entre as profundidades, ou mesmo entre os períodos seco e chuvoso (Quadros 5.1 e 5.2), na Figura 5.5 observa-se que no período chuvoso existe um leve aumento da condutividade na camada do fundo, devido, provavelmente, à maior concentração de íons nessa profundidade. No período seco, os valores da condutividade parecem estar levemente aumentados nas profundidades do Secchi e 5 metros se compararmos com o período chuvoso.

Os valores de sólidos em suspensão totais (Tabelas 5.1 e 5.2 e Figura 5.5) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades (Quadro 5.1) em nenhum dos períodos. Contudo quando comparadas as concentrações entre os períodos, chuvoso e seco, (Quadro 5.2) foi observado que a concentração de SST foi significativamente maior ($\alpha = 5\%$) no período chuvoso. O aumento da concentração de partículas em suspensão deve estar relacionada com a ocorrência de chuvas que promovem o carreamento de material alóctone.

Provavelmente devido às baixas concentrações de oxigênio (condições redutoras) encontradas no hipolímnio da estação 1, observa-se na Figura 5.5 que as concentrações de ferro total encontradas nas camadas do fundo (dez metros da superfície e fundo) no período chuvoso são significativamente maiores ($\alpha = 5\%$) que as medidas na superfície, Secchi e 5 metros (Quadro

5.1). Apesar do teste estatístico (baseado na diferença entre medianas) não ter apontado diferenças significativas entre as profundidades no período seco, as concentrações medidas no fundo apresentam uma variação visivelmente maior que nas outras profundidades (Figura 5.5). Tanto que não foram encontradas diferenças significativas entre os dois períodos, para nenhuma das profundidades, com o teste Mann-Whitney.

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 1

A Figura 5.6 apresenta a variação temporal da profundidade de extinção do disco de Secchi. Podem ser observadas profundidades maiores, indicando maior transparência e, por conseguinte, maior incidência de luz, nos meses correspondentes ao período seco, com destaque para os meses de junho a setembro.

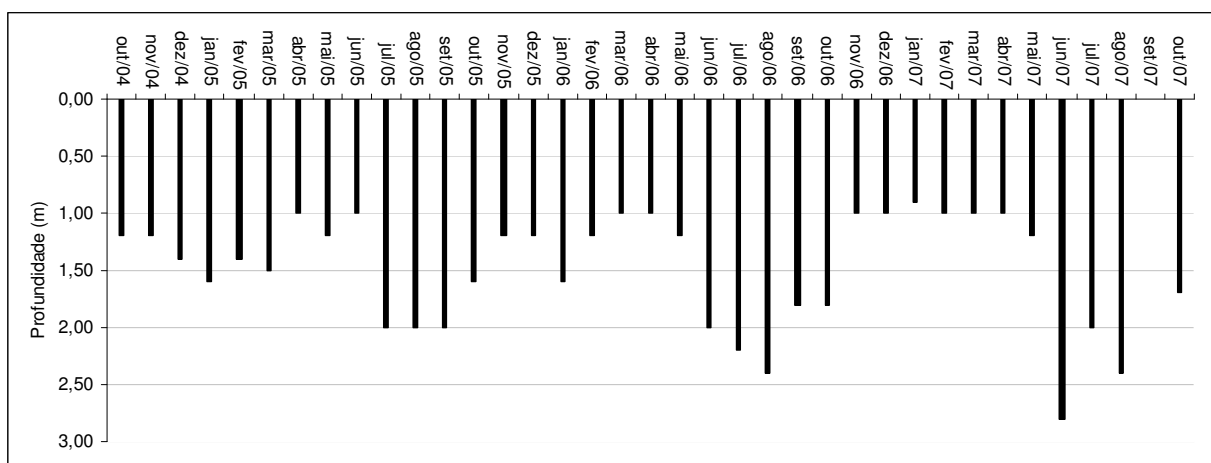


Figura 5.6 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** no período de outubro/04 a outubro/07 – Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Desta forma observa-se que a zona eufótica (valor da profundidade do disco de Secchi multiplicada por 3) dos meses mais frios (período seco) é maior se comparada ao período quente, meses de chuva. A turbulência causada pelas chuvas, assim como o carreamento de material em suspensão, podem ser os fatores responsáveis pela menor transparência nesse período. Os valores da profundidade do Secchi (Figura 5.7) medidos no período seco foram significativamente maiores ($\alpha = 5\%$) que no período chuvoso.

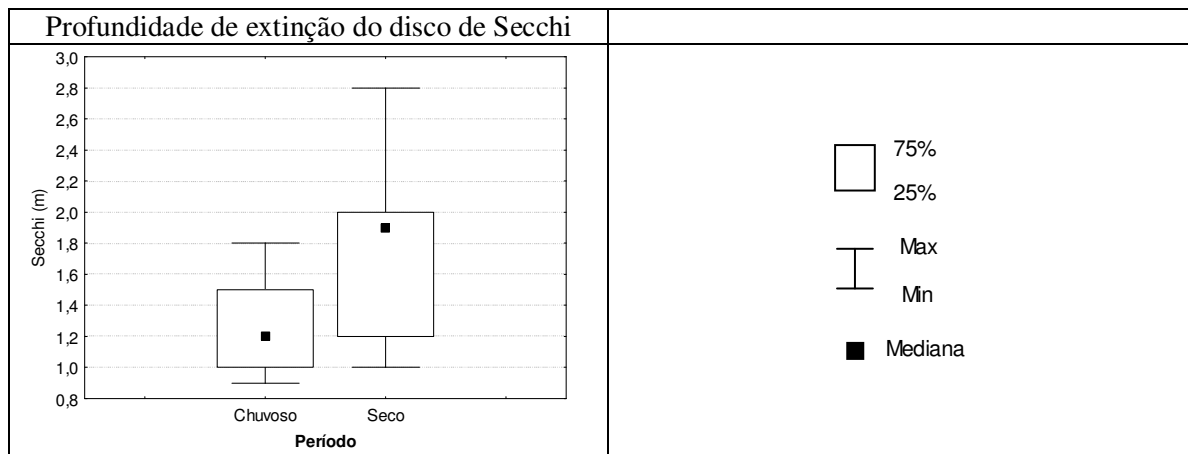


Figura 5.7 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1. Vargem das Flores/MG.

5.1.1.2 Parâmetros bióticos

As Figuras 5.8 e 5.9 e os Quadros 5.3 e 5.4 apresentam os resultados dos períodos chuvoso e seco.

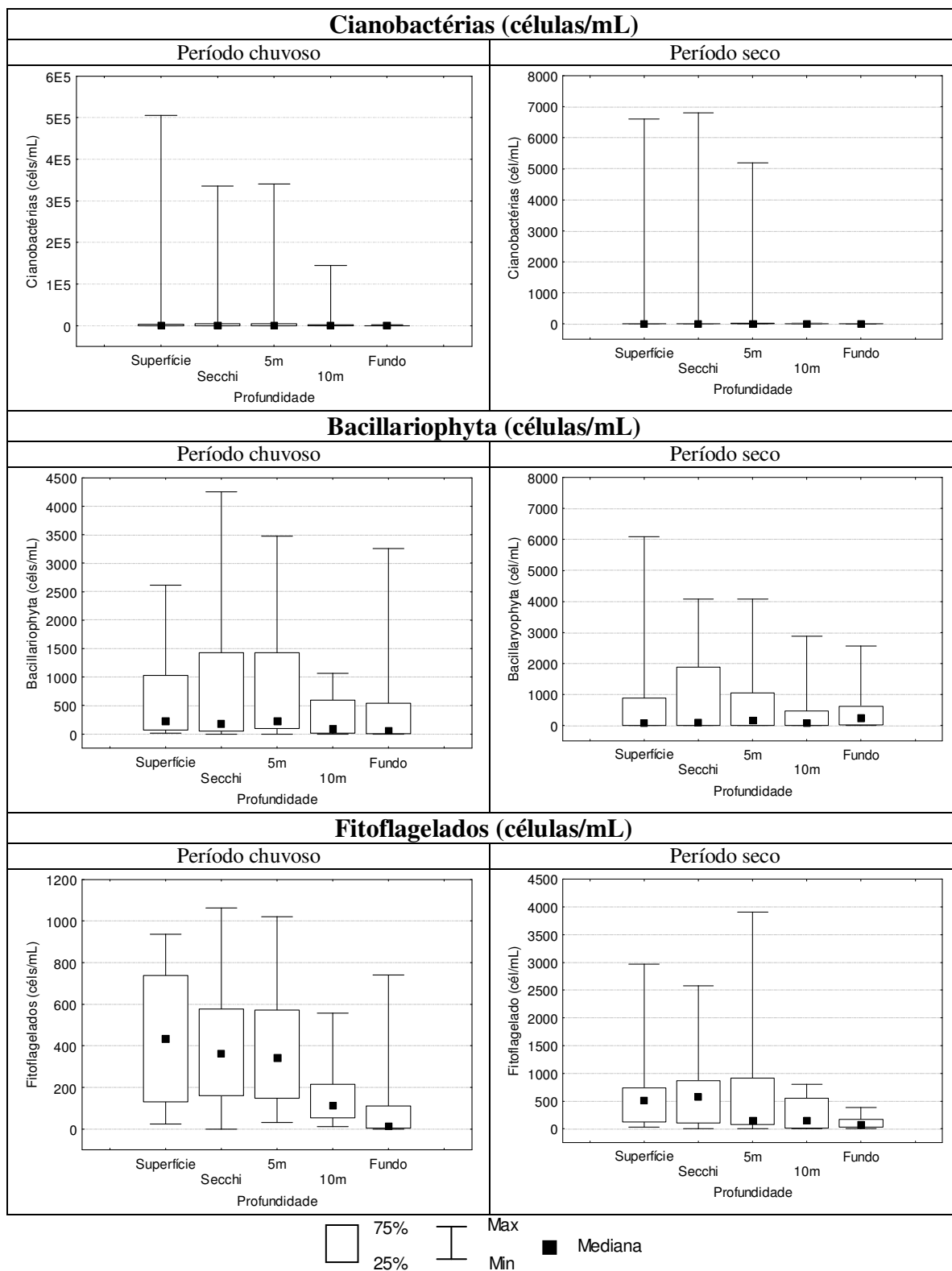


Figura 5.8 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG

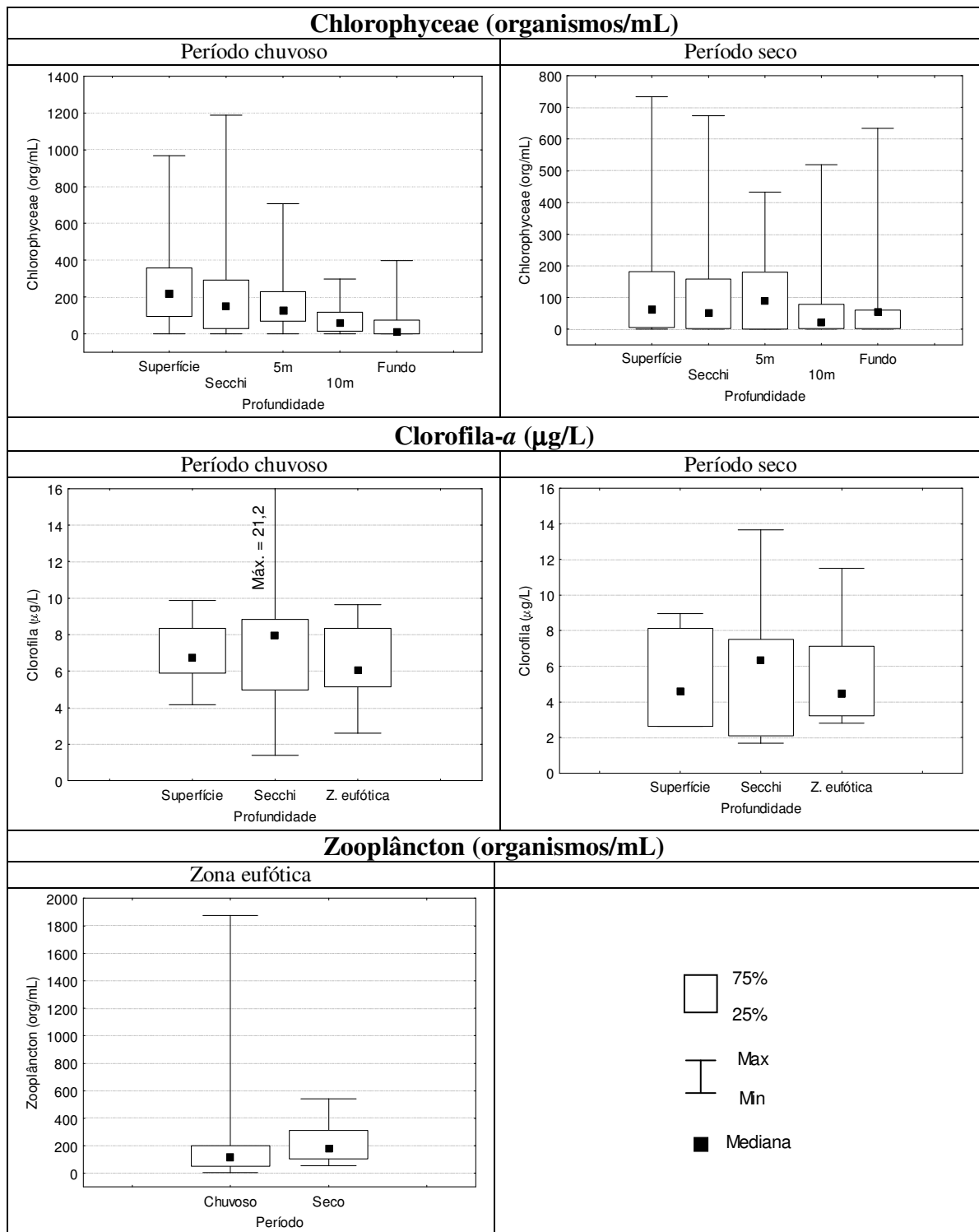


Figura 5.9 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila (µg/L)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 1 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.3 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fito (cél/mL)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Chloro (org/mL)	Profundidade do fundo e dez metros iguais entre si. Fundo significativamente diferente da superfície, Secchi e cinco metros e dez metros significativamente diferente da superfície.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.4 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 1. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade				
	SUP	SEC	CIN	DEZ	FUN
Ciano (cel/mL)	X	X	X	X	
Bac (cél/mL)					
Fito (cél/mL)					
Chloro (org/mL)	X				
Zoo (org/mL)	X	X	NR	NR	NR
Cl-a (µg/L)			NR	NR	NR

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, DEZ-dez metros, FUN- um metro do fundo, NR- não realizado.

Nota: - A diferença na concentração do zooplâncton é atribuída a toda a zona eufótica.
- X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se a distribuição das cianobactérias na coluna d'água da estação 1 (Figura 5.8), observa-se que não houve diferença significativa entre as profundidades em nenhum dos períodos, chuvoso e seco (Quadro 5.3). Contudo foi observada diferença significativa ($\alpha = 5\%$) entre os dois períodos (Quadro 5.4). No período chuvoso a concentração de células foi significativamente maior que no período seco. A sazonalidade da ocorrência das cianobactérias já foi relatada em muitos trabalhos e geralmente está relacionada com o

período de estratificação térmica da coluna d'água (JONES, 1997, SHERMAN *et al.*, 1998, FIGUEREDO e GIANI, 2001.).

Em relação aos outros grupos do fitoplâncton observam-se diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) entre as camadas mais profundas e as superficiais tanto para os fitoflagelados quanto para as algas Chlorophyceae. No período chuvoso (Figuras 5.8 e 5.9) pode-se observar maior concentração desses dois grupos na zona eufótica.

Contudo, quando comparados os dois períodos, apenas foi observada diferença significativa da concentração das Chlorophyceae na superfície (Quadro 5.3). A maior concentração desse grupo no período chuvoso pode estar relacionada às maiores taxas de crescimento devido às condições favoráveis como elevada temperatura (Figura 5.1) e concentração de nutrientes (Figura 5.2).

Torna-se importante ressaltar que o grupo dos fitoflagelados compreende as classes Cryptophyceae e Chlamydoephyceae, agrupadas por apresentarem interesse sanitário comum, estando presentes, no geral, em águas ricas em matéria orgânica (BRANCO, 1986).

A medida de clorofila-a foi realizada apenas nas profundidades da zona eufótica. Desta forma, amostras das profundidades da superfície, Secchi e final da zona eufótica foram analisadas quanto à concentração de clorofila-a. Analisando-se a Figura 5.9 observa-se que a concentração clorofila-a manteve um padrão de distribuição tanto entre as profundidades quanto entre os dois períodos não apresentando diferenças significativas ($\alpha = 5\%$). A ausência de diferenças entre os dois períodos deve-se provavelmente ao fato da comunidade fitoplanctônica ter se mantido semelhante durante os dois períodos.

O zooplâncton apresentou concentrações significativamente superiores no período seco (Figura 5.9 e Quadro 5.4). As diferenças entre as profundidades nos dois períodos não foram avaliadas, uma vez que a coleta para a análise quantitativa do zooplâncton foi feita através do arraste de toda a zona eufótica. A menor concentração do zooplâncton no período chuvoso pode ser explicada pela maior instabilidade do ambiente aquático nesse período (variações da turbidez, transparência, regime de chuvas, etc.) que afetariam a comunidade zooplanctônica.

5.1.2 Estação 2

As Tabelas 5.3 e 5.4 a seguir apresentam a estatística descritiva dos parâmetros analisados na estação 2 nos períodos chuvoso, outubro a março, (Tabela 5.3) e seco, abril a setembro, (Tabela 5.4) durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a junho de 2006.

5.1.2.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.10 a 5.14 apresentam gráficos no período chuvoso e seco de outubro de 2004 a junho de 2006 para a estação 2, e os Quadros 5.5 e 5.6 mostram os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

Como no item anterior, a discussão conjunta será efetuada após a apresentação de todos os resultados.

Tabela 5.3 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 2 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	13	13	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	14	12
	Méd. aritm.	26	6,5	0,78	0,01	0,37	21	27	4	16	53	7	131	8	5	492	591	354	188	251	6
	Méd. geom.	26	6,4	0,15	0,01	0,26	19	25	4	15	53	7	130	8	5		258	287	134	110	5
	Mediana	26	7,0	0,15	0,01	0,23	21	24	4	15	52	8	130	8	5	129	172	425	132	120	5
	Perc. 10%	25	5,0	0,01	0,01	0,10	10	20	3	9	49	5	115	8	3	0	76	101	75	13	3
	Perc. 90%	28	7,8	1,98	0,01	0,76	29	39	5	20	57	9	150	8	7	1223	1150	568	336	887	6
	Desv. Pad.	1	1,2	1,51	0,00	0,32	7	9	1	5	3	2	13	0	2	773	755	198	142	343	3
Secchi	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Méd. aritm.	26	6,2	0,62	0,01	0,24	21	25	4	16	52	7	130	8	5	17444	481	433	168	251	6
	Méd. geom.	26	6,1	0,16	0,01	0,20	19	23	4	15	52	7	130	8	5			342		110	5
	Mediana	26	6,6	0,17	0,01	0,22	20	21	4	15	52	7	128	8	5	172	170	408	126	120	5
	Perc. 10%	25	5,0	0,01	0,01	0,10	8	16	3	8	49	5	116	8	4	0	5	132	9	13	3
	Perc. 90%	29	7,1	2,63	0,02	0,44	31	34	5	20	56	9	150	8	8	1923	1201	660	399	887	12
	Desv. Pad.	1	1,1	0,98	0,01	0,15	8	10	2	6	3	2	14	0	2	63792	559	308	142	343	4
5 metros	Nº dados	13	13	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	26	5,5	0,53	0,01	0,30	25	28	4	17	53	8	132	8	6	514	625	435	252		
	Méd. geom.	26	5,4	0,22	0,01	0,22	23	26	4	16	53	7	131	8	5		257	372	150		
	Mediana	25	5,0	0,15	0,01	0,20	20	21	4	15	53	8	132	8	6	42	280	520	159		
	Perc. 10%	25	4,0	0,08	0,01	0,10	10	17	3	8	48	6	115	8	3	0	36	102	47		
	Perc. 90%	27	6,9	1,68	0,01	0,74	39	48	6	29	58	9	150	8	9	1793	1260	617	458		
	Desv. Pad.	1	1,1	0,74	0,00	0,25	11	12	1	7	4	1	14	0	3	923	766	198	296		
Fundo	Nº dados	13	13	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	24	2,0	0,76	0,01	0,30	28	32	6	45	55	7	134	7	6	426	353	130	62		
	Méd. geom.	24	1,7	0,39	0,01	0,23	26	30	6	35	55	7	134	7	6		109				
	Mediana	25	2,0	0,41	0,01	0,21	20	29	6	31	54	8	136	7	6	42	128	101	77		
	Perc. 10%	23	1,0	0,09	0,01	0,10	15	20	3	11	51	6	120	7	4	0	6	32	4		
	Perc. 90%	25	3,7	2,42	0,02	0,63	44	44	8	90	60	9	150	8	8	1228	683	212	110		
	Desv. Pad.	1	1,2	0,85	0,01	0,22	13	15	3	31	4	2	11	0	2	658	559	116	43		

Tabela 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 2 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	9	9	9	9	10	6
	Méd. aritm.	23	5,2	1,15	0,01	0,67	18	22	4	14	52	8	127	8	3	16	836	458	68	114	7
	Méd. geom.	23	5,0	0,65	0,01	0,42	17	21	4	13	52	8	126	8	3		86		26	72	6
	Mediana	22	5,2	0,82	0,01	0,52	20	20	4	12	53	8	130	8	4	0	75	600	47	75	6
	Perc. 10%	21	3,5	0,15	0,01	0,10	7	16	2	7	47	7	108	7	2	0	1	0	2	11	3
	Perc. 90%	26	6,7	2,83	0,02	1,87	23	29	5	28	55	10	140	8	5	124	4320	847	324	249	14
	Desv. Pad.	2	1,2	1,11	0,00	0,65	6	5	1	8	3	1	13	0	1	41	1447	354	101	94	4
Secchi	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	11	11	11	11	10	9
	Méd. aritm.	23	5,2	1,07	0,01	0,37	20	23	4	14	54	8	127	8	4	35	749	532	105	114	5
	Méd. geom.	23	5,1	0,62	0,01	0,23	17	23	4	13	53	8	126	8	4		93	327		72	4
	Mediana	22	5,1	0,77	0,01	0,27	20	20	4	15	52	8	130	8	4	0	81	449	91	75	5
	Perc. 10%	20	3,5	0,15	0,01	0,03	8	19	2	8	50	6	108	7	2	0	2	43	7	11	1
	Perc. 90%	26	6,9	2,61	0,02	0,90	32	35	6	22	60	10	140	8	6	7	2108	770	247	249	10
	Desv. Pad.	3	1,3	1,01	0,00	0,32	9	7	1	6	4	1	13	0	1	114	1025	449	102	94	3
5 metros	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	23	4,7	1,20	0,01	0,64	20	27	4	16	54	8	128	8	4	32	789	518	143		
	Méd. geom.	22	4,5	0,61	0,01	0,50	18	25	4	15	54	8	128	8			65	259			
	Mediana	22	4,6	0,81	0,01	0,56	20	23	4	15	53	8	130	8	4	0	72	420	37		
	Perc. 10%	20	3,0	0,12	0,01	0,11	9	17	2	11	51	7	110	7	1	0	2	21	0		
	Perc. 90%	25	6,9	3,14	0,02	1,32	35	46	7	23	60	10	140	8	9	287	3498	1660	632		
	Desv. Pad.	2	1,5	1,23	0,00	0,42	9	12	2	5	4	1	11	0	3	96	1301	516	237		
Fundo	Nº dados	11	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	11	11	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	22	3,1	1,54	0,01	0,65	21	32	5	42	55	8	132	7	5	24	746	361	101		
	Méd. geom.	22		0,93	0,01	0,45	19	29	5	28	55	8	131	7	5		68	103			
	Mediana	22	3,0	1,20	0,01	0,77	20	28	4	20	55	8	140	7	4	0	30	240	26		
	Perc. 10%	20	0,5	0,18	0,01	0,04	11	20	3	11	51	7	115	7	3	0	2	3	0		
	Perc. 90%	25	5,8	3,56	0,02	1,00	36	57	11	103	60	10	140	8	10	211	3453	1541	557		
	Desv. Pad.	2	2,1	1,34	0,00	0,38	9	14	4	40	3	1	11	0	3	70	1191	495	182		

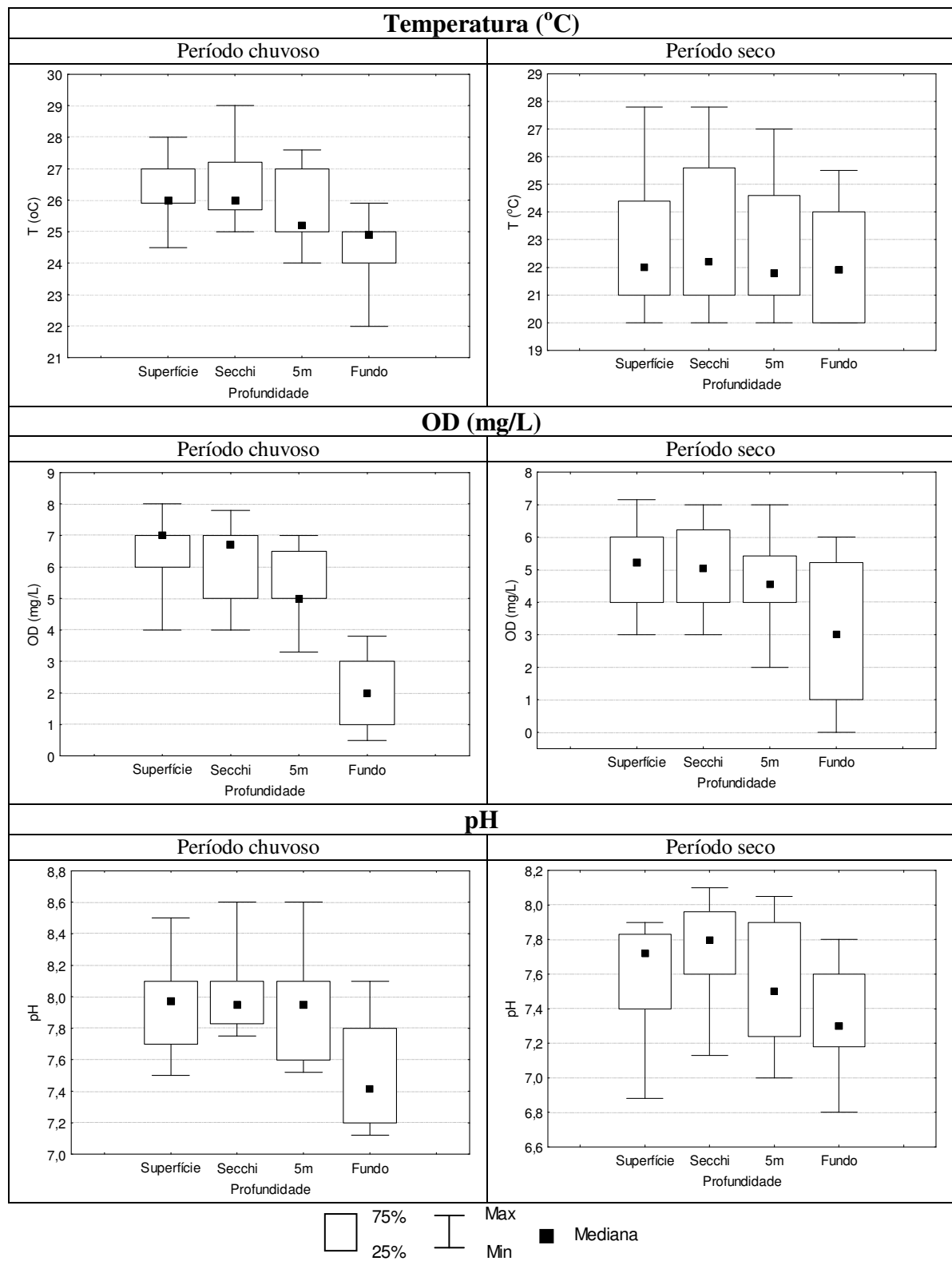


Figura 5.10 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.

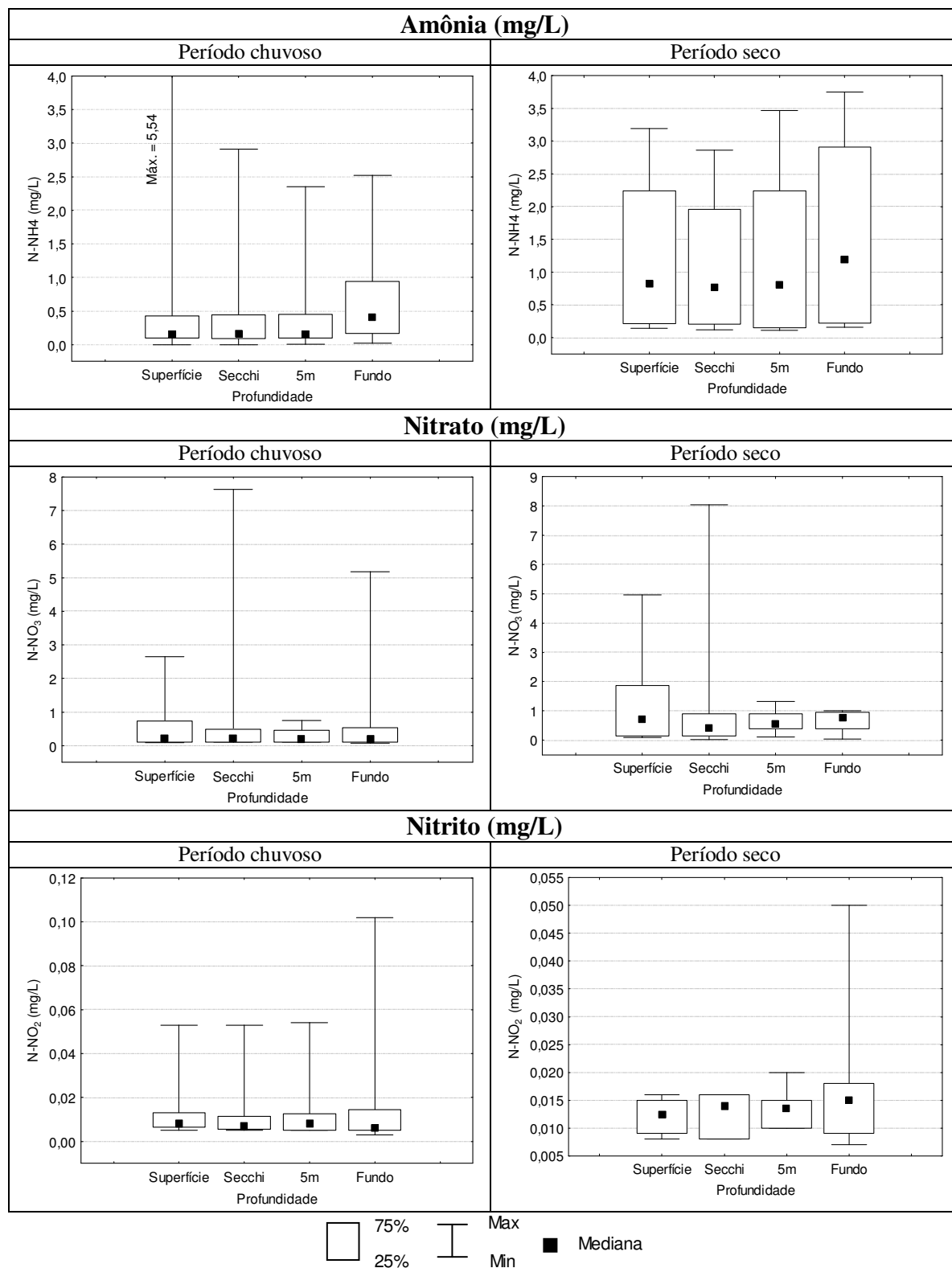


Figura 5.11 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **amônio** (mg/L), **nitrito** (mg/L) e **nitrate** (mg/L) no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG

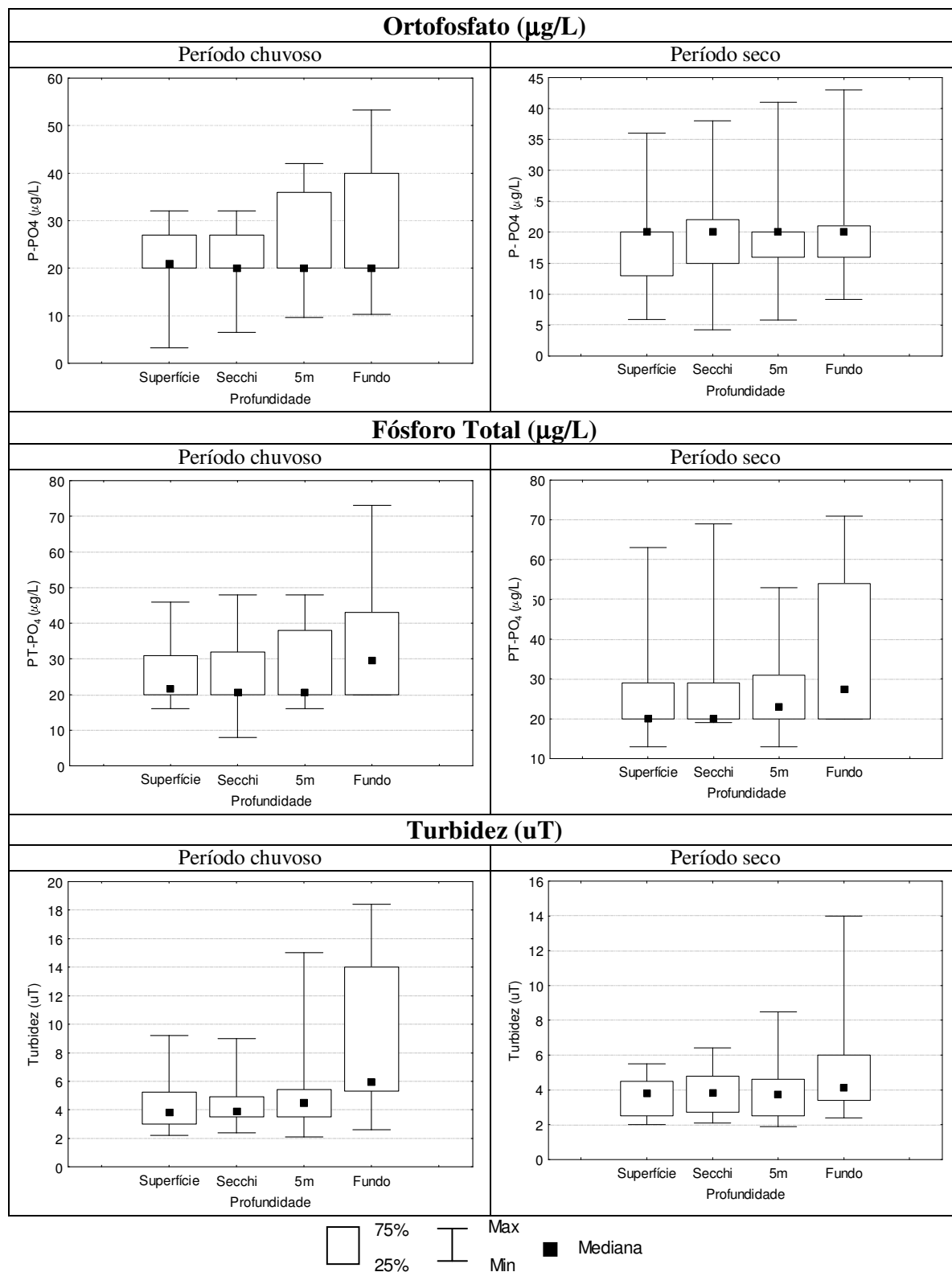


Figura 5.12 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato ($\mu\text{g/L}$)**, **fósforo total ($\mu\text{g/L}$)** e **turbidez (uT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.

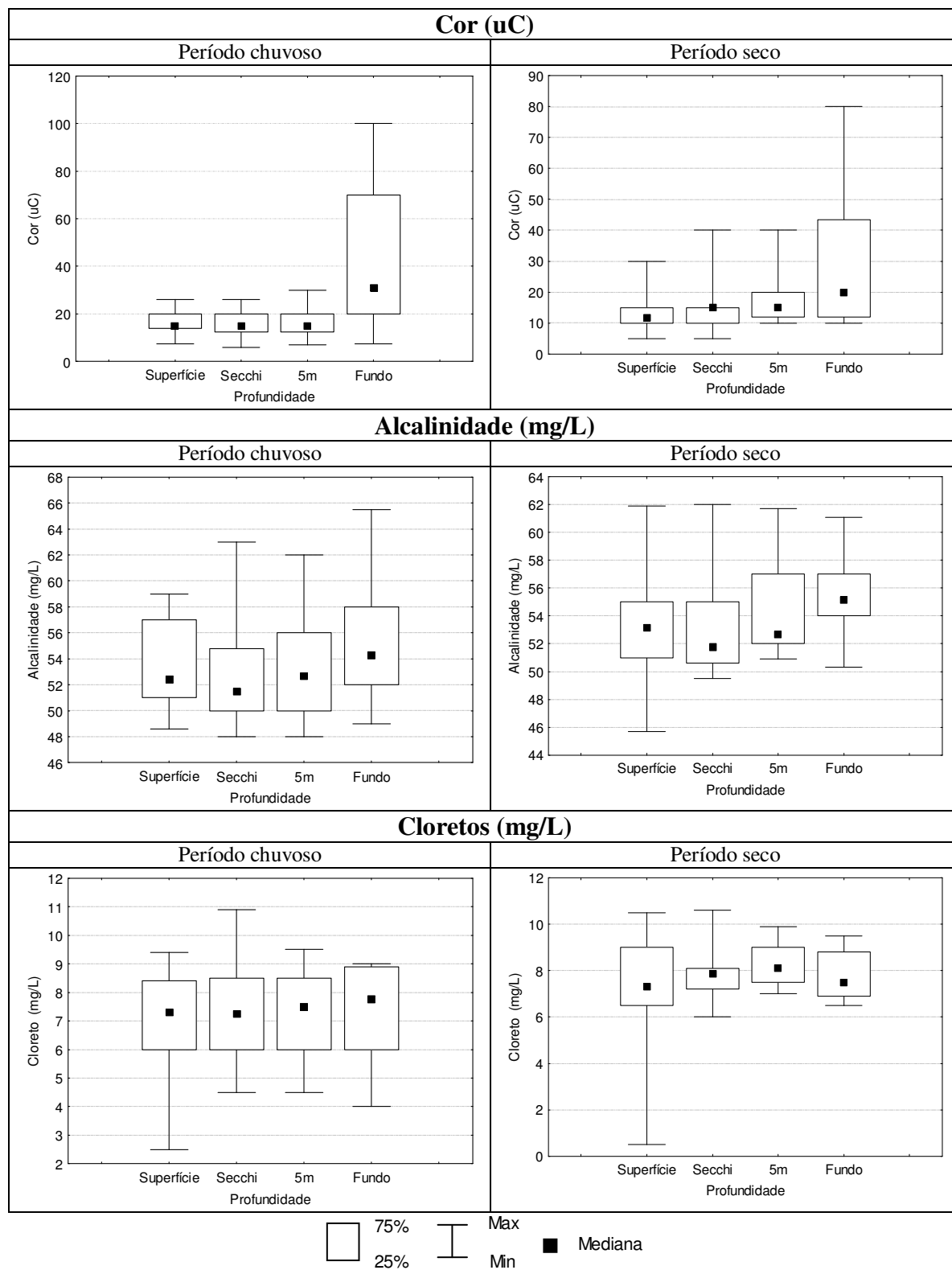


Figura 5.13 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloreto (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG.

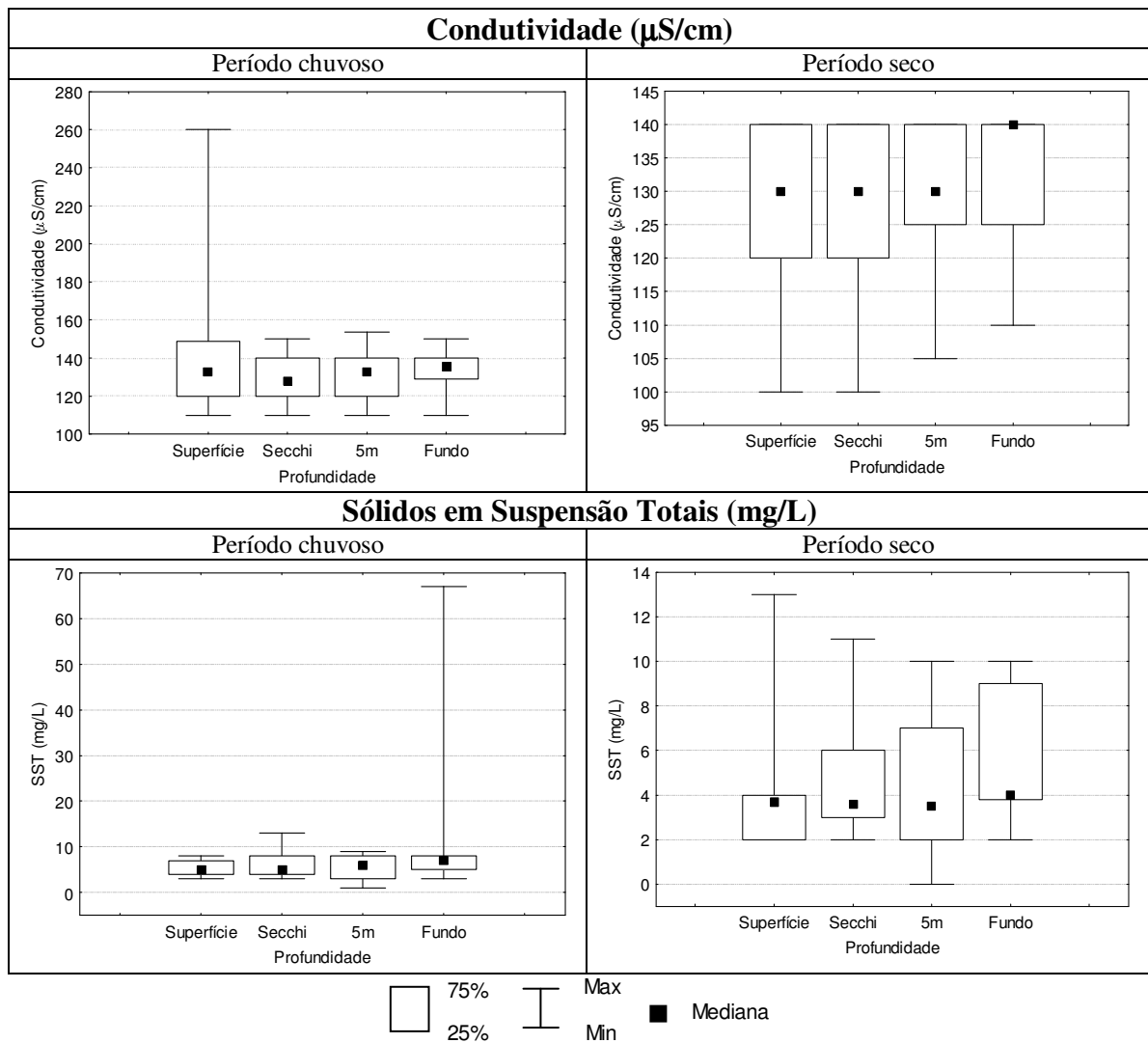


Figura 5.14 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)** e **sólidos em suspensão totais (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.5 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.6 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
T (°C)	X	X	X	X
OD (mg/L)	X			
N-NH ₄ (mg/L)				
N-NO ₃ (mg/L)				
N-NO ₂ (mg/L)				
P-PO ₄ (µg/L)				
PT-PO ₄ (µg/L)				
Turb (uT)				
Cor (uC)				
Alc (mg/L)				
Cl (mg/L)				
Conduct (µS/cm)				
pH	X		X	
SST (mg/L)	X	X		

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se os resultados obtidos na estação 2 podemos verificar que o comportamento da coluna d'água, principalmente referente à temperatura, distribuição de oxigênio dissolvido e pH, foi semelhante ao observado na estação 1. Na Figura 5.10 e Quadro 5.5, observa-se que no período chuvoso as temperaturas medidas no fundo foram significativamente menores (ao nível de significância de 5%) que nas camadas superficiais (superfície, Secchi e 5 metros). Enquanto no período seco não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades. Porém quando comparados os dois períodos, como relatado para a estação 1, as temperaturas no período chuvoso (outubro a março) foram significativamente superiores às do período seco e frio (Quadro 5.6). Na Figura 5.10 observa-se nitidamente a distribuição homogênea dos valores de temperatura da superfície até o fundo.

As concentrações de oxigênio dissolvido na estação 2 foram significativamente menores ($\alpha = 5\%$) no fundo durante o período chuvoso (Figura 5.10 e Quadro 5.5) e não apresentaram diferenças significativas durante o período seco, como observado para a estação 1. Quando comparados os dois períodos (Quadro 5.6) a concentração de OD foi significativamente

diferente apenas na superfície. Os maiores valores de OD na superfície pode ter sido devido à maior taxa fotossintética durante o período chuvoso.

Assim como na estação 1, os valores de pH medidos no período chuvoso da estação 2 foram significativamente menores no fundo em relação às outras profundidades (Figura 5.10 e Quadro 5.5). E, quando comparados ambos os períodos, o pH no período seco foi significativamente menor nas profundidades da superfície e 5 metros.

Embora as concentrações de nutrientes medidas (amônia, nitrato, nitrito, ortofosfato e fósforo total) não tenham apresentado diferenças significativas entre as profundidades ou mesmo comparando-se as profundidades entre os dois períodos, na Figura 5.11 e Tabelas 5.3 e 5.4 observa-se que a faixa de variação das concentrações de amônia foi maior no período seco.

Considerando os valores de ortofosfato e fósforo total no período chuvoso observa-se uma maior variação das concentrações nas camadas mais profundas apesar de não terem sido verificadas diferenças significativas nas medianas entre as profundidades (Figura 5.12 e Quadro 5.5).

Observa-se que os valores da turbidez (Figura 5.12) e cor (Figura 5.13) foram significativamente maiores no fundo que nas outras profundidades (Quadro 5.5) durante o período chuvoso, assim como relatado para a estação 1. Embora no período seco não tenha sido encontrada diferença significativa entre a mediana da cor do fundo em relação às outras profundidades, na Figura 5.13 pode-se notar que os valores alcançaram maiores magnitudes nessa profundidade.

O resultado do teste estatístico Mann-Whitney (Quadro 5.6) indicou concentração significativamente maior ($\alpha = 5\%$) de sólidos em suspensão totais na superfície e na profundidade do disco de Secchi durante o período chuvoso, como ocorrido na estação 1.

Importante ressaltar que nenhum dos parâmetros abióticos avaliados apresentaram diferenças significativas entre as profundidades durante o período seco parecendo indicar a ocorrência de circulação da coluna d'água (Quadro 5.5).

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 2

Da mesma forma que na estação 1 pode-se observar a maior transparência da coluna d'água nos período seco, com valores do desaparecimento do disco de secchi significativamente maiores ($\alpha = 5\%$) nesse período (Figuras 5.15 e 5.16).

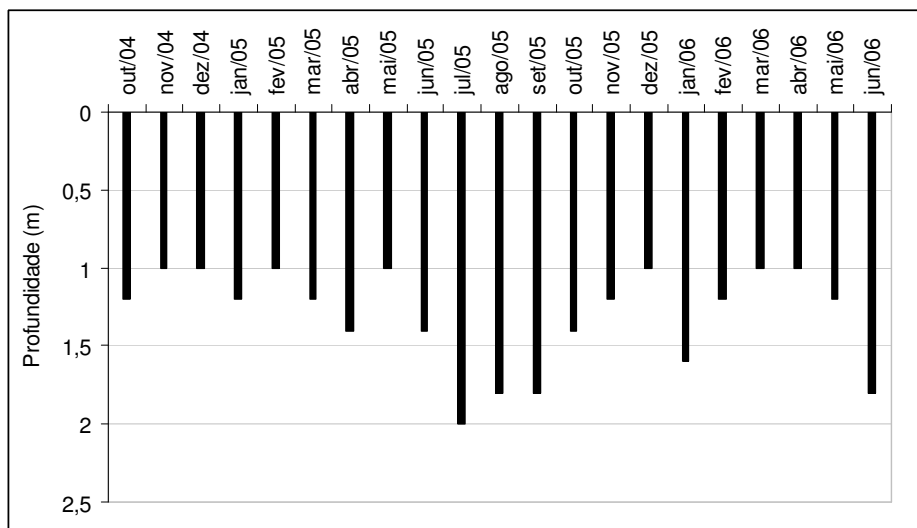


Figura 5.15 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 2. Vargem das Flores/MG.

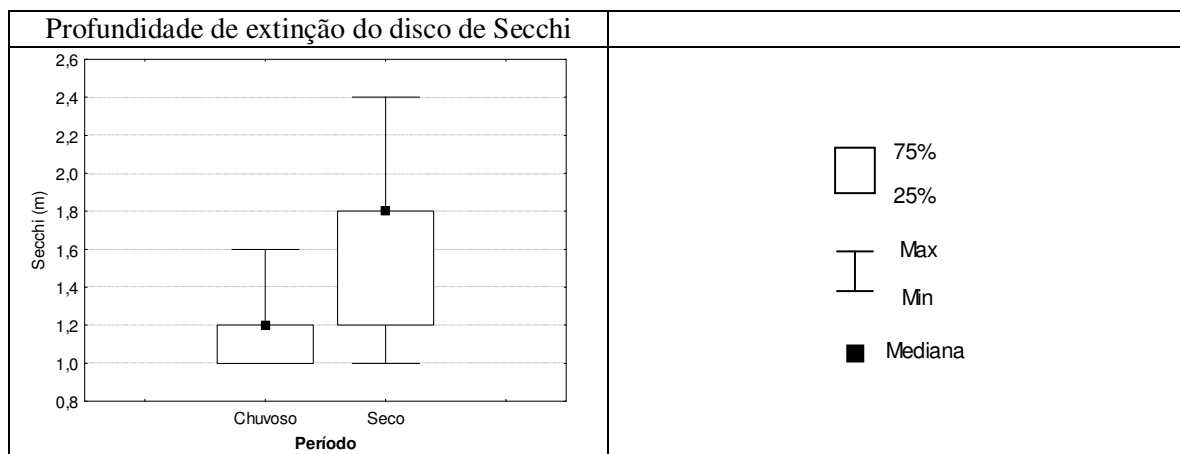


Figura 5.16 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2. Vargem das Flores/MG.

5.1.2.2 Parâmetros bióticos

As Figuras 5.17 e 5.18 e os Quadros 5.7 e 5.8 apresentam os resultados dos períodos chuvoso e seco.

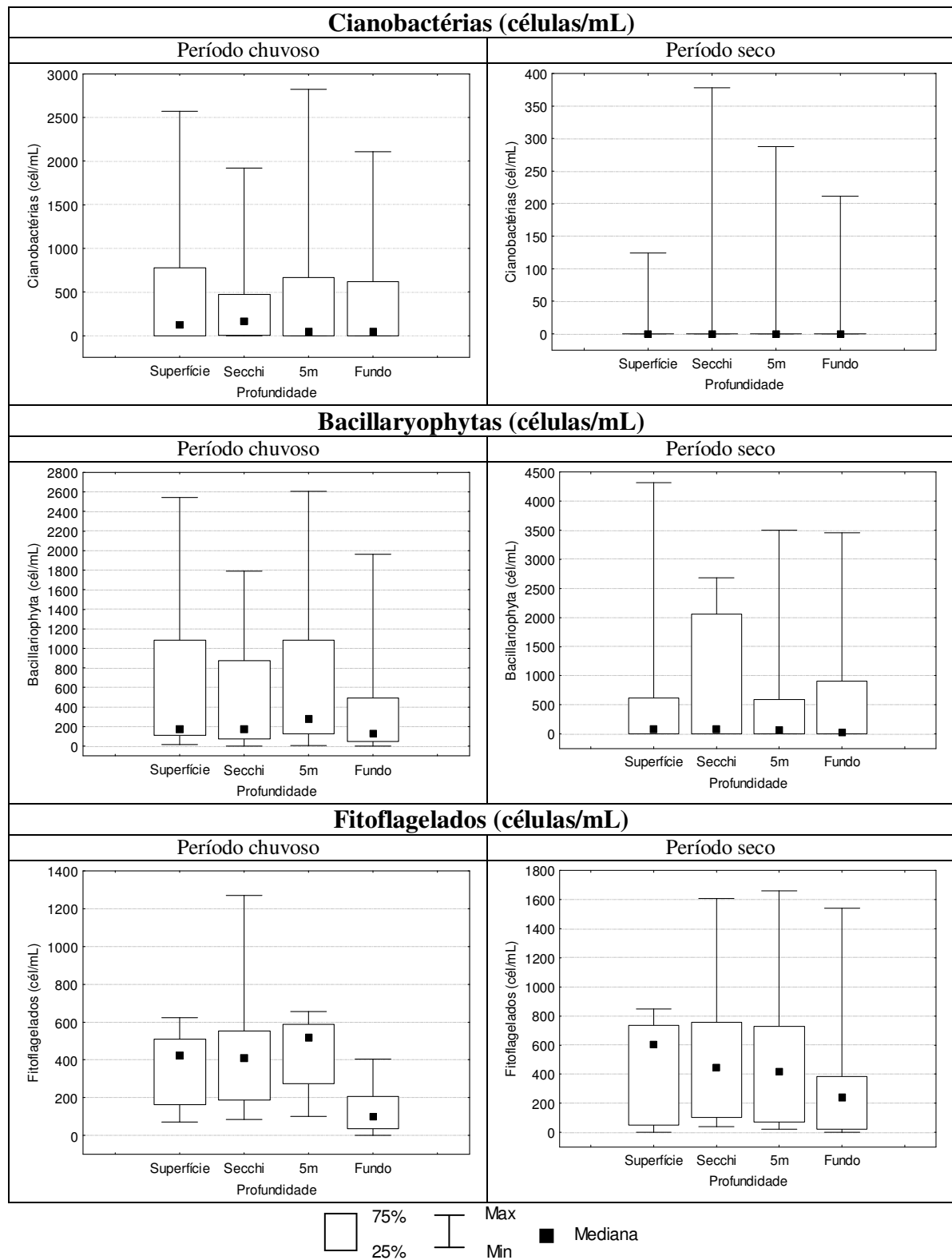


Figura 5.17 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG

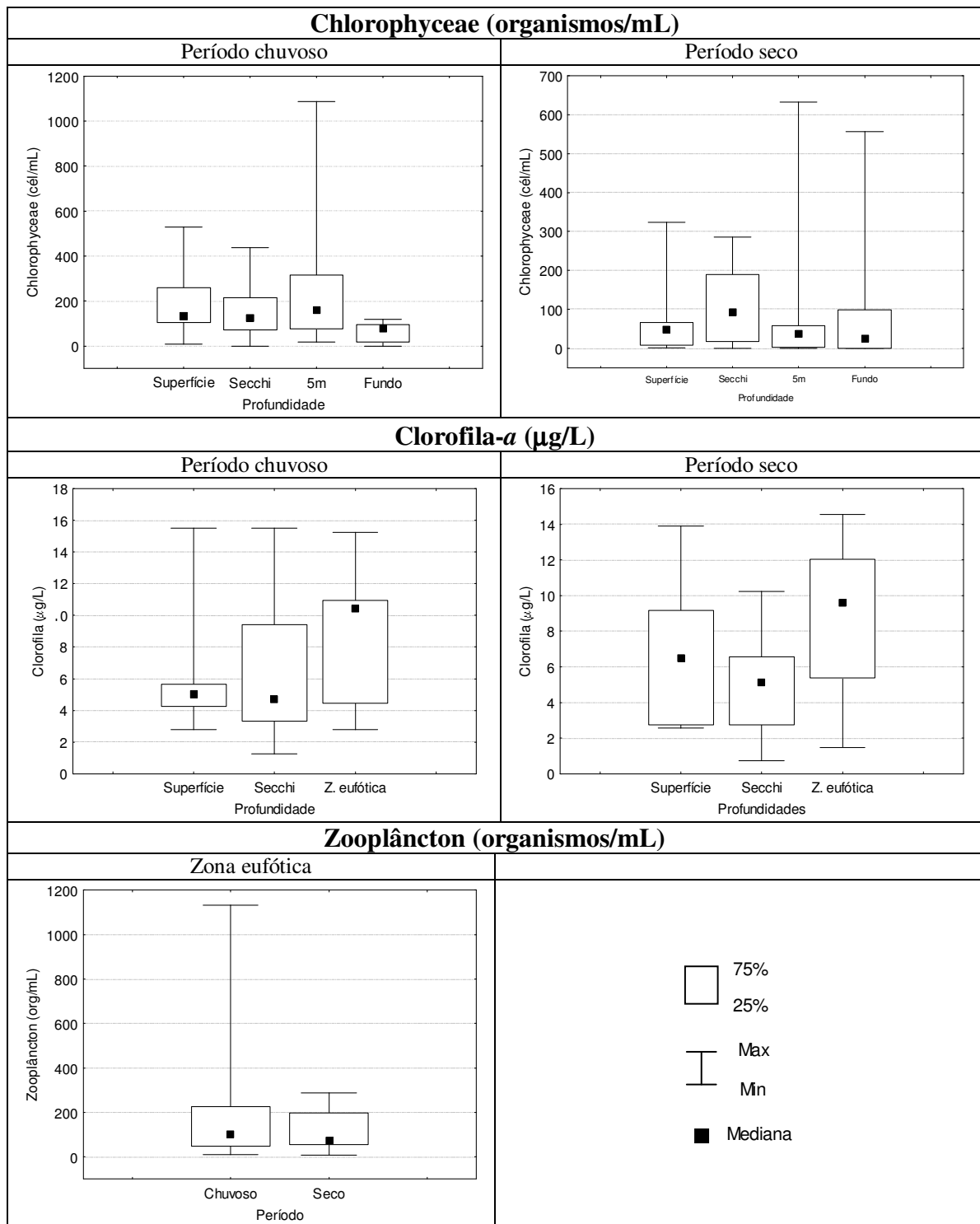


Figura 5.18 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila (µg/L)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 2 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.7 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fito (cél/mL)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades do Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Chloro (org/mL)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.8 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 2. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
Ciano (cel/mL)	X	X		X
Bac (cél/mL)				
Fito (cél/mL)				
Chloro (org/mL)	X			
Zoo (org/mL)			NR	NR
Cl-a (µg/L)			NR	NR

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo, NR- não realizado.

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

A distribuição do fitoplâncton também seguiu o mesmo padrão observado para a estação 1. A ocorrência sazonal das cianobactérias também pode ser observada, com a maior concentração de células no período chuvoso e número significativamente reduzido no período seco (Figura 5.17e Quadro 5.8).

A maior concentração de cianobactérias no período chuvoso pode estar relacionada tanto às temperaturas mais elevadas, quanto à estratificação da coluna d'água durante os meses do

verão, com a formação de uma zona eufótica com menor turbulência. A maior estabilidade da coluna d'água encontra-se como um fator importante para o estabelecimento das cianobactérias no ambiente. Além disso, devido à presença das espécies de cianobactérias possuidoras de aerótopos, a estratificação da coluna d'água pode favorecer o grupo, em detrimento aos outros grupos do fitoplâncton, pela capacidade dessas migrarem na coluna d'água obtendo maiores concentrações de nutrientes encontradas nas camadas mais profundas da coluna d'água durante o período de estratificação.

Quanto aos outros grupos do fitoplâncton tanto os fitoflagelados quanto as Chlorophyceae apresentaram concentrações significativamente menores (ao nível de significância de 5%) na profundidade do fundo em relação às profundidades do Secchi e 5 metros no período chuvoso (Quadro 5.7). Porém, não foram observadas diferenças na distribuição do fitoplâncton entre as profundidades durante o período seco. A ocorrência de circulação da coluna d'água durante esse período pode ter influenciado na distribuição do fitoplâncton. As espécies encontradas durante os meses mais frios, como as Bacillariophyceae (diatomáceas), podem ser carregadas pelo movimento da água durante a circulação.

As concentrações do zooplâncton medidas na zona eufótica não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os períodos chuvoso e seco.

A concentração de clorofila-a não apresentou variação entre as profundidades ou mesmo quando comparados os dois períodos. Isso talvez seja devido ao fato da clorofila-a ter sido medida apenas nas profundidades da zona eufótica, onde o fitoplâncton parece estar uniformemente distribuído.

5.1.3 Estação 3

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam a estatística descritiva dos parâmetros analisados na estação 3 nos períodos chuvoso, outubro a março, (Tabela 5.5) e seco, abril a setembro, (Tabela 5.6) durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a junho de 2006.

5.1.3.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.19 a 5.23 apresentam gráficos no período chuvoso e seco de outubro de 2004 a outubro de 2006 para a estação 3, e os Quadros 5.9 e 5.10 os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 3 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	13	9
	Méd. aritm.	26	5,8	0,69	0,02	0,54	18	28	6	19	50	8	131	8	14	713	534	481	154	348	6
	Méd. geom.	26	5,7	0,21	0,01	0,28	18	25	5	18	46	8	131	8	9		213	413	122	246	5
	Mediana	26	5,6	0,25	0,01	0,17	20	20	5	18	53	8	130	8	9	144	174	492	146	329	4
	Perc. 10%	24	5,0	0,01	0,01	0,10	13	19	3	13	49	6	115	8	5	0	51	187	61	78	3
	Perc. 90%	28	7,0	2,18	0,03	1,07	21	47	8	30	58	9	150	8	12	2588	1591	758	240	529	13
	Desv. Pad.	1	0,8	0,90	0,03	0,73	4	13	3	7	13	1	13	0	23	1080	719	237	95	282	3
Secchi	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13
	Méd. aritm.	26	5,8	0,62	0,02	0,63	20	25	5	18	54	7	131	8	13	15084	532	420	136	348	7
	Méd. geom.	26	5,7	0,20	0,01	0,29	19	24	5	17	54	7	130	8	8					246	5
	Mediana	26	5,9	0,20	0,01	0,19	20	20	5	16	54	7	130	8	7	107	260	421	136	329	5
	Perc. 10%	24	4,0	0,01	0,01	0,10	12	19	3	13	49	6	115	8	4	0	6	87	8	78	3
	Perc. 90%	28	7,5	2,13	0,03	1,41	25	39	7	30	61	10	150	8	17	2039	1156	645	284	529	12
	Desv. Pad.	1	1,1	0,81	0,01	0,96	6	8	2	6	4	2	12	0	23	54907	848	232	104	282	4
5 metros	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	25	5,6	0,74	0,02	0,46	23	28	6	22	55	8	130	8	6	270	491	428	195		
	Méd. geom.	25	5,5	0,32	0,01	0,24	22	26	6	21	55	7	130	8	6		151				
	Mediana	25	5,5	0,20	0,01	0,20	20	22	5	21	55	8	130	8	6	3	151	389	106		
	Perc. 10%	24	5,0	0,07	0,01	0,09	16	20	3	11	53	5	115	8	4	0	34	45	0		
	Perc. 90%	27	7,0	2,18	0,03	0,77	37	46	9	35	60	10	150	8	8	854	1060	894	638		
	Desv. Pad.	1	0,9	0,99	0,01	0,70	8	11	4	9	3	2	13	0	1	494	857	368	252		
Fundo	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	25	4,7	0,79	0,02	0,53	27	31	7	23	55	8	132	8	8	308	473	268	184		
	Méd. geom.	25	4,5	0,39	0,01	0,31	26	29	6	21	55	8	131	8	7		96				
	Mediana	25	5,0	0,31	0,02	0,33	23	30	6	22	55	8	130	8	7	22	116	157	66		
	Perc. 10%	24	3,0	0,15	0,01	0,10	20	20	4	11	51	6	116	7	5	0	15	4	0		
	Perc. 90%	27	6,0	2,18	0,02	0,80	42	48	10	34	60	10	150	8	12	854	1060	636	638		
	Desv. Pad.	1	1,4	0,96	0,01	0,65	10	12	3	8	3	2	12	0	3	489	866	244	259		

Tabela 5.6 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 3 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	10	6
	Méd. aritm.	23	5,1	1,03	0,01	1,42	15	26	5	18	54	8	128	8	5	2	684	559	55	350	7
	Méd. geom.	23	4,6	0,57	0,01	0,63	14	26	5	17	54	8	127	8	5		97	288		243	5
	Mediana	23	5,2	0,74	0,01	0,71	17	25	5	17	53	8	135	8	5	0	81	435	57	201	7
	Perc. 10%	21	2,5	0,10	0,01	0,10	8	20	3	11	49	7	100	7	3	0	3	21	0	68	2
	Perc. 90%	26	7,5	2,69	0,02	4,97	21	36	6	27	61	10	145	8	8	17	2587	1854	152	792	14
	Desv. Pad.	2	1,9	1,07	0,01	1,86	6	7	1	6	5	1	18	0	2	6	1006	568	58	299	5
Secchi	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	10	10
	Méd. aritm.	23	5,0	1,08	0,02	0,90	16	27	5	15	54	8	127	8	6	143	828	675	41	350	7
	Méd. geom.	23	4,5	0,58	0,02	0,61	15	26	5	15	54	8	126	8	6			269		243	6
	Mediana	23	5,1	0,60	0,02	0,70	19	27	5	15	54	8	135	8	6	0	26	274	21	201	7
	Perc. 10%	20	2,0	0,11	0,01	0,09	7	20	4	10	52	6	104	7	3	0	2	39	0	68	3
	Perc. 90%	27	7,5	2,97	0,02	2,46	21	37	7	22	60	10	140	8	10	498	2054	1408	101	792	12
	Desv. Pad.	2	2,0	1,13	0,00	0,81	6	7	1	5	4	2	16	0	3	278	1238	1024	48	299	4
5 metros	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	23	5,3	1,08	0,01	0,91	18	27	5	20	54	8	127	8	5	195	739	565	155		
	Méd. geom.	23	4,7	0,61	0,01	0,52	17	25	5	19	54	8	126	8	5			186			
	Mediana	22	5,9	0,71	0,02	0,73	20	24	5	20	54	8	130	8	5	0	23	265	26		
	Perc. 10%	20	2,4	0,12	0,01	0,09	9	20	4	13	52	6	103	7	3	0	0	7	0		
	Perc. 90%	26	7,5	2,55	0,02	2,18	22	44	7	31	58	9	145	8	8	889	3668	2515	1069		
	Desv. Pad.	2	1,9	1,03	0,01	0,84	5	10	1	8	2	1	17	0	2	379	1267	802	345		
Fundo	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	23	4,4	0,99	0,02	0,70	21	30	5	20	55	8	128	8	5	99	770	410	50		
	Méd. geom.	22	4,0	0,67	0,02	0,39	21	28	5	20	55	8	127	8	4		59	171			
	Mediana	22	4,3	0,73	0,02	0,48	21	29	5	20	54	8	130	8	4	0	22	400	45		
	Perc. 10%	20	2,0	0,24	0,01	0,09	17	20	4	15	52	7	103	7	3	0	1	10	0		
	Perc. 90%	26	6,5	2,16	0,02	2,32	24	50	7	26	61	10	145	8	10	889	3860	1316	195		
	Desv. Pad.	2	1,8	0,82	0,00	0,83	3	13	1	4	4	1	16	0	3	296	1325	440	61		

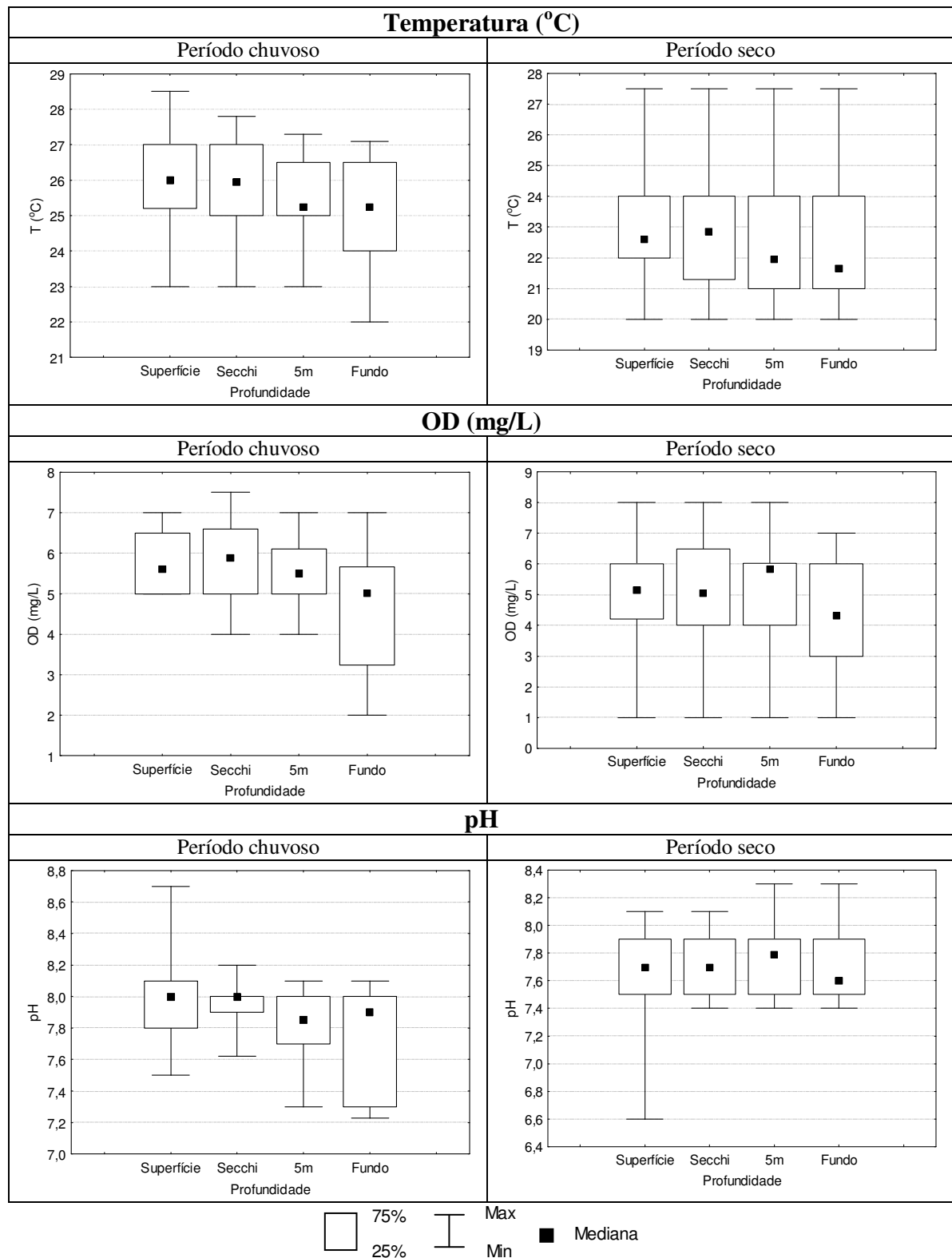


Figura 5.19 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.

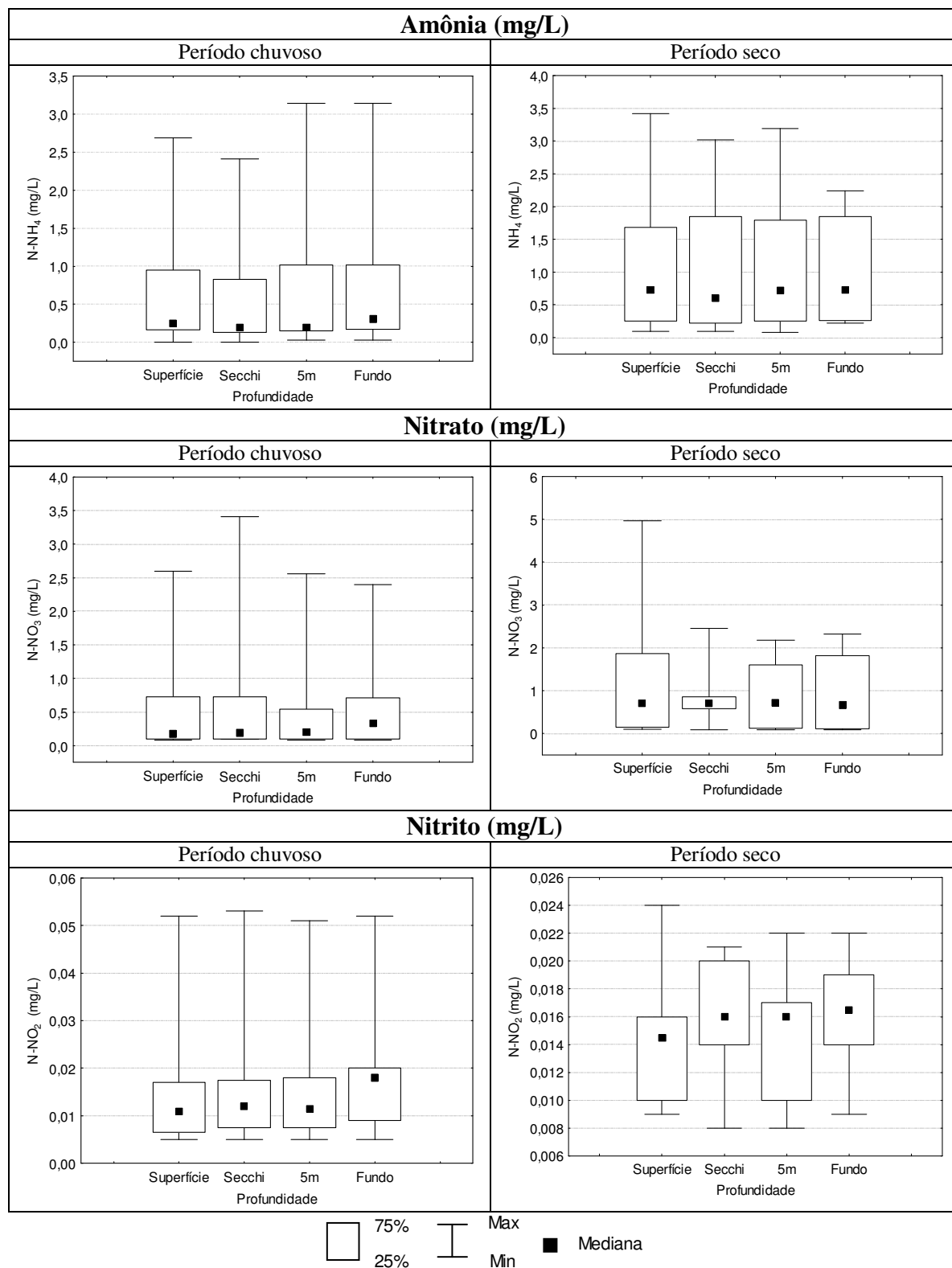


Figura 5.20 – Gráficos “box=whisker” dos **parâmetros amônio (mg/L), nitrate (mg/L) e nitrito (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG

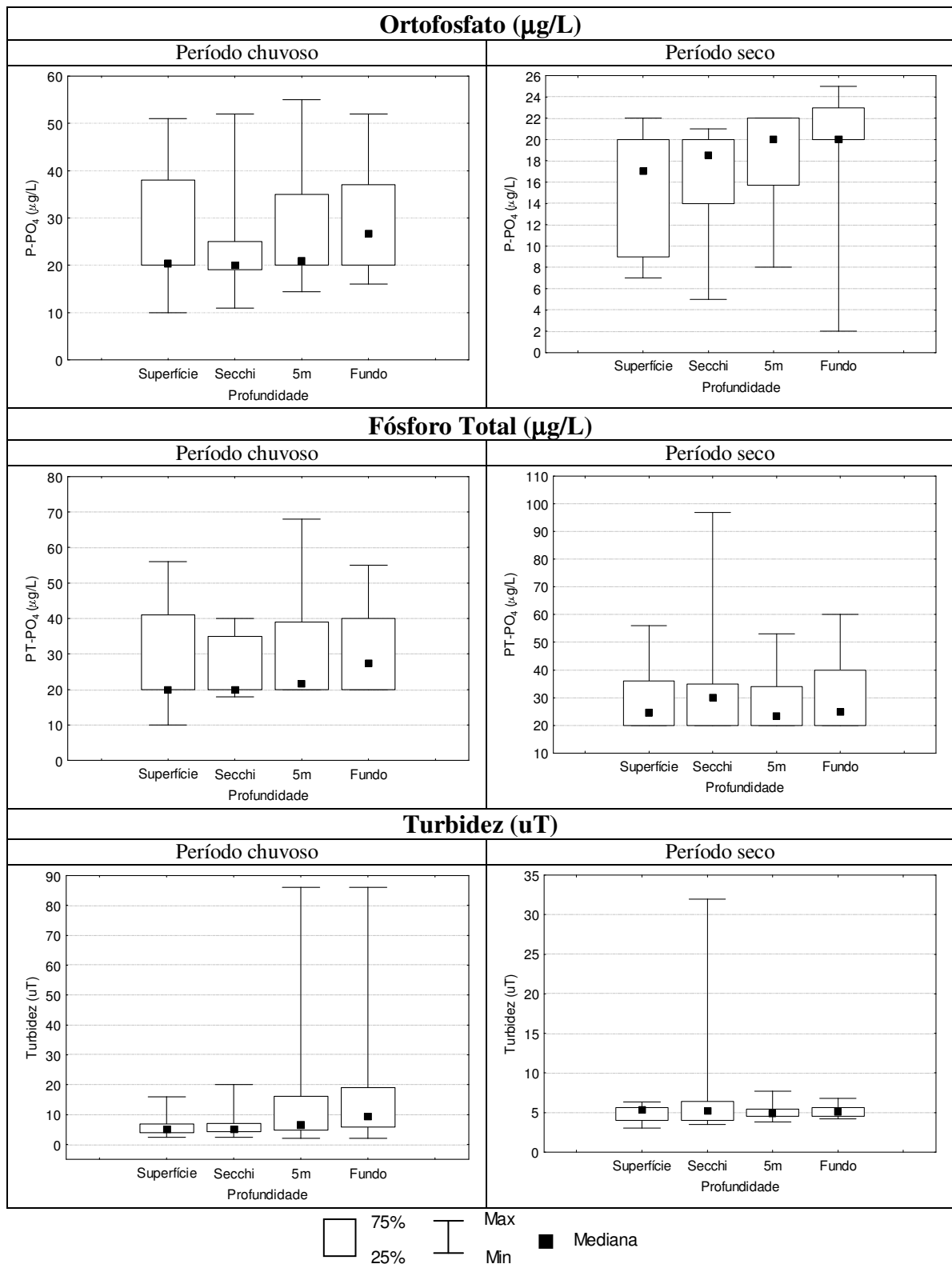


Figura 5.21 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato ($\mu\text{g/L}$)**, **fósforo total ($\mu\text{g/L}$)** e **turbidez (μT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.

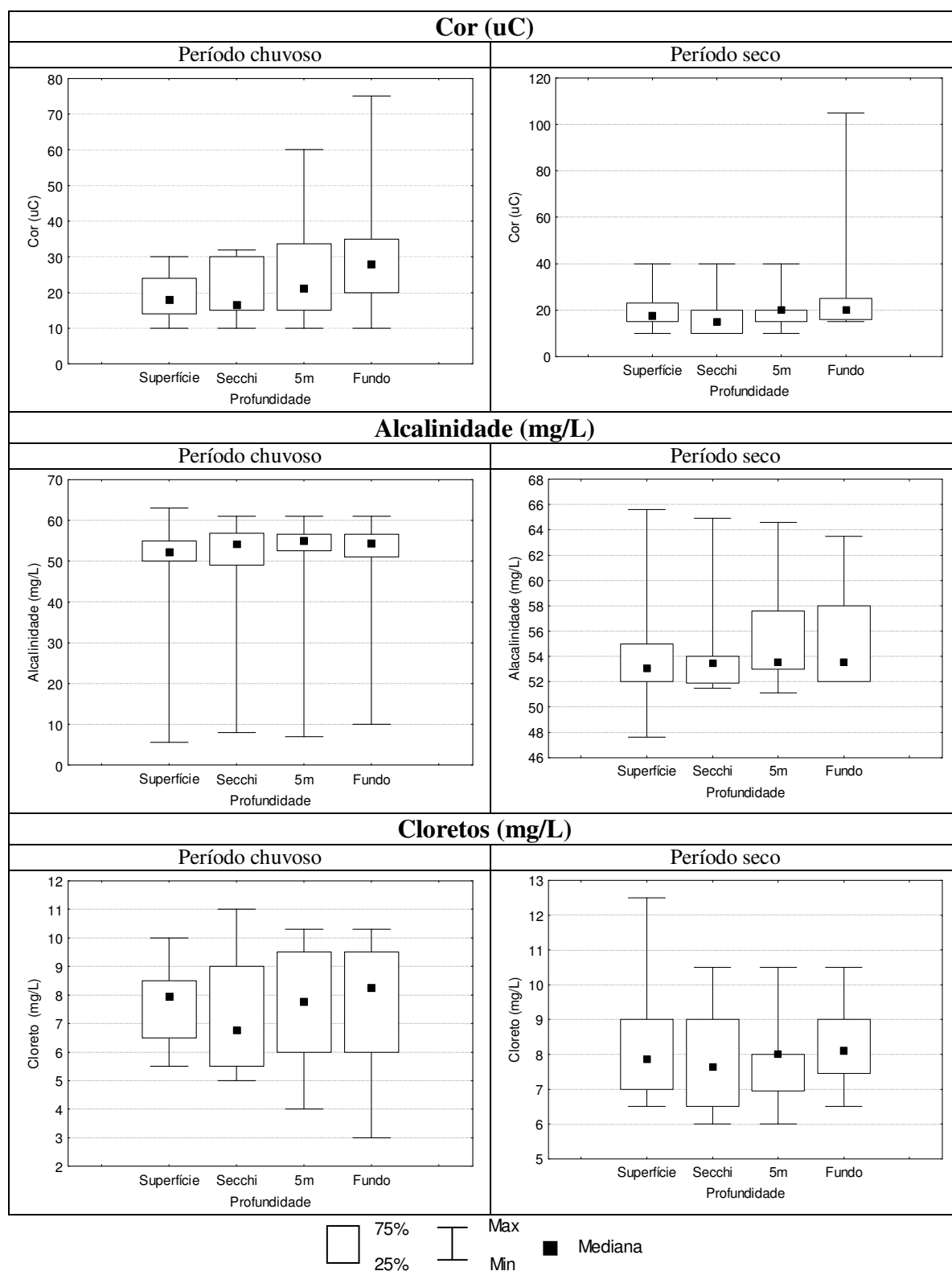


Figura 5.22 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloreto (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG.

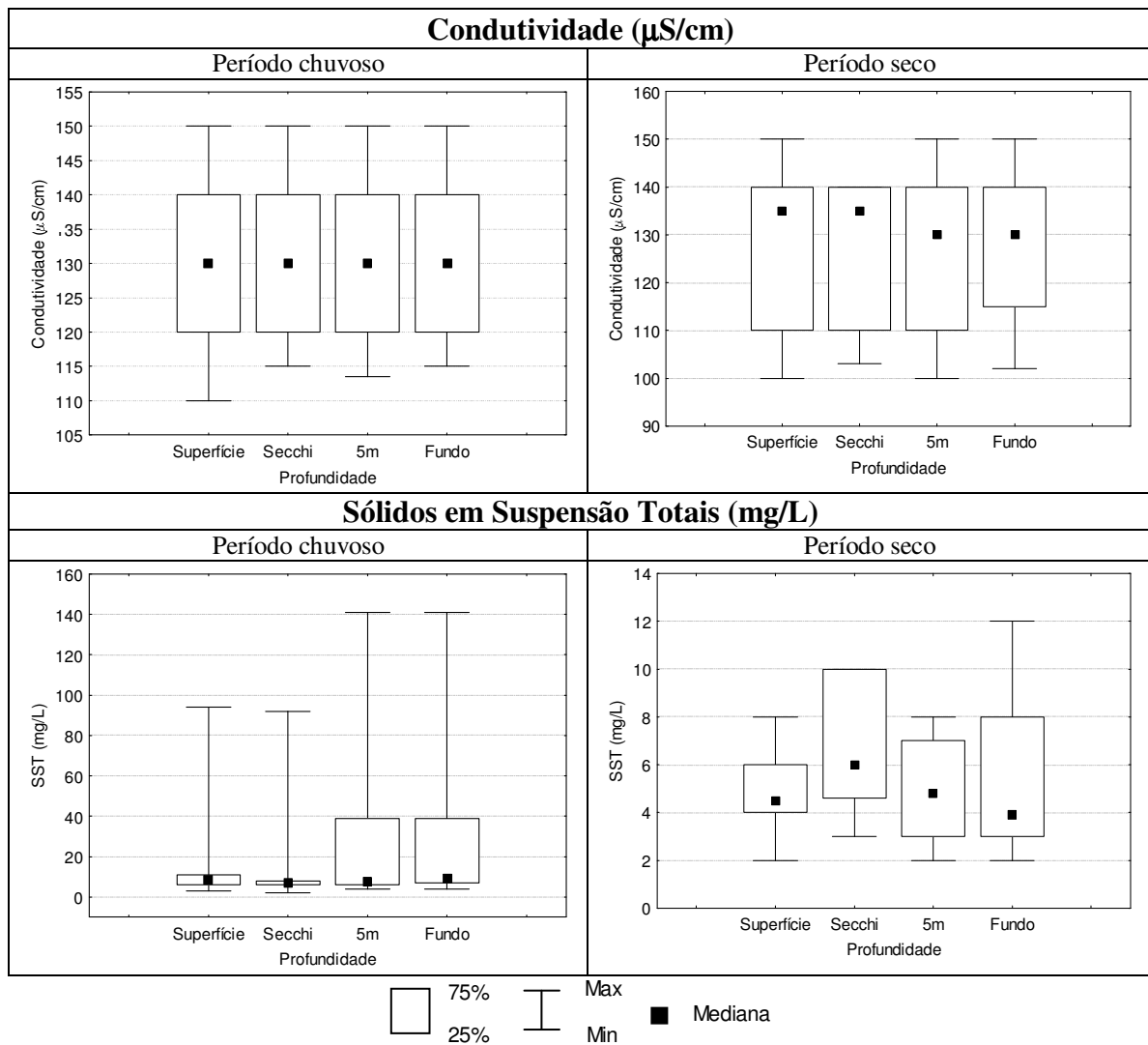


Figura 5.23 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)** e **sólidos em suspensão totais (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.9 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.10 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
T (°C)	X	X	X	X
OD (mg/L)				
N-NH ₄ (mg/L)				
N-NO ₃ (mg/L)				
N-NO ₂ (mg/L)				
P-PO ₄ (µg/L)				
PT-PO ₄ (µg/L)				
Turb (uT)				
Cor (uC)				
Alc (mg/L)				
Cl (mg/L)				
Condut (µS/cm)				
pH		X		
SST (mg/L)	X			X

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Analisando-se os resultados obtidos durante o monitoramento da estação 3 observa-se um comportamento diferenciado do encontrado nas análises das estações 1 e 2. Não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades para nenhum dos parâmetros avaliados, tanto no período chuvoso quanto no período seco (Quadro 5.9).

As únicas diferenças encontradas entre os dois períodos foram a temperatura significativamente menor no período seco para todas as profundidades, o pH da profundidade do Secchi mais elevado no período chuvoso e os sólidos em suspensão totais com valores superiores na superfície e no fundo na mesma época (Quadro 5.10).

A menor profundidade dessa estação, pode levar à alterações mais frequentes na dinâmica da coluna d'água tanto pela ação dos ventos quanto pela chegada do córrego Água Suja nesse ponto. A maior frequência de circulação da massa d'água pode ser a razão pela qual não foram observadas diferenças entre as profundidades nessa estação.

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 3

A profundidade de extinção do disco de Secchi foi significativamente menor (ao nível de significância de 5%) no período chuvoso em relação ao período seco, como observado nas estações 1 e 2. Apesar de não ter sido observada diferenças significativas nas concentrações dos parâmetros abióticos avaliados, a transparência da coluna d'água foi comprovadamente um fator de diferenciação entre os dois períodos (Figuras 5.24 e 5.25).

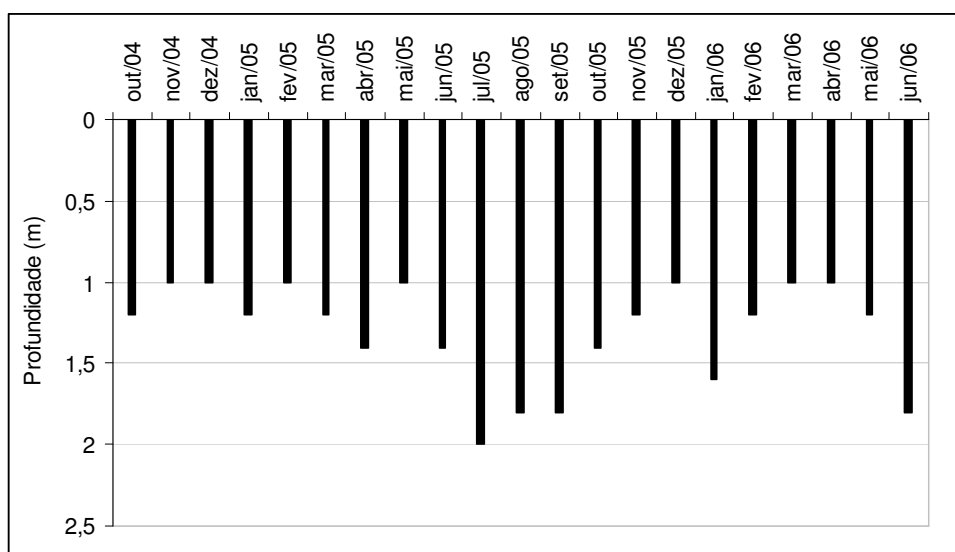


Figura 5.24 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 3. Vargem das Flores/MG.

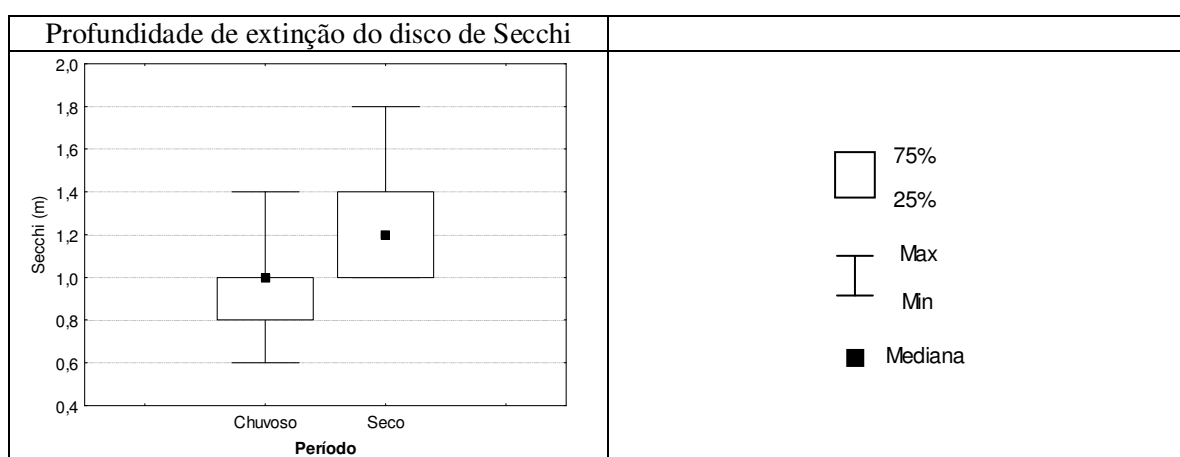


Figura 5.25 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3. Vargem das Flores/MG.

5.1.3.2 Parâmetros bióticos

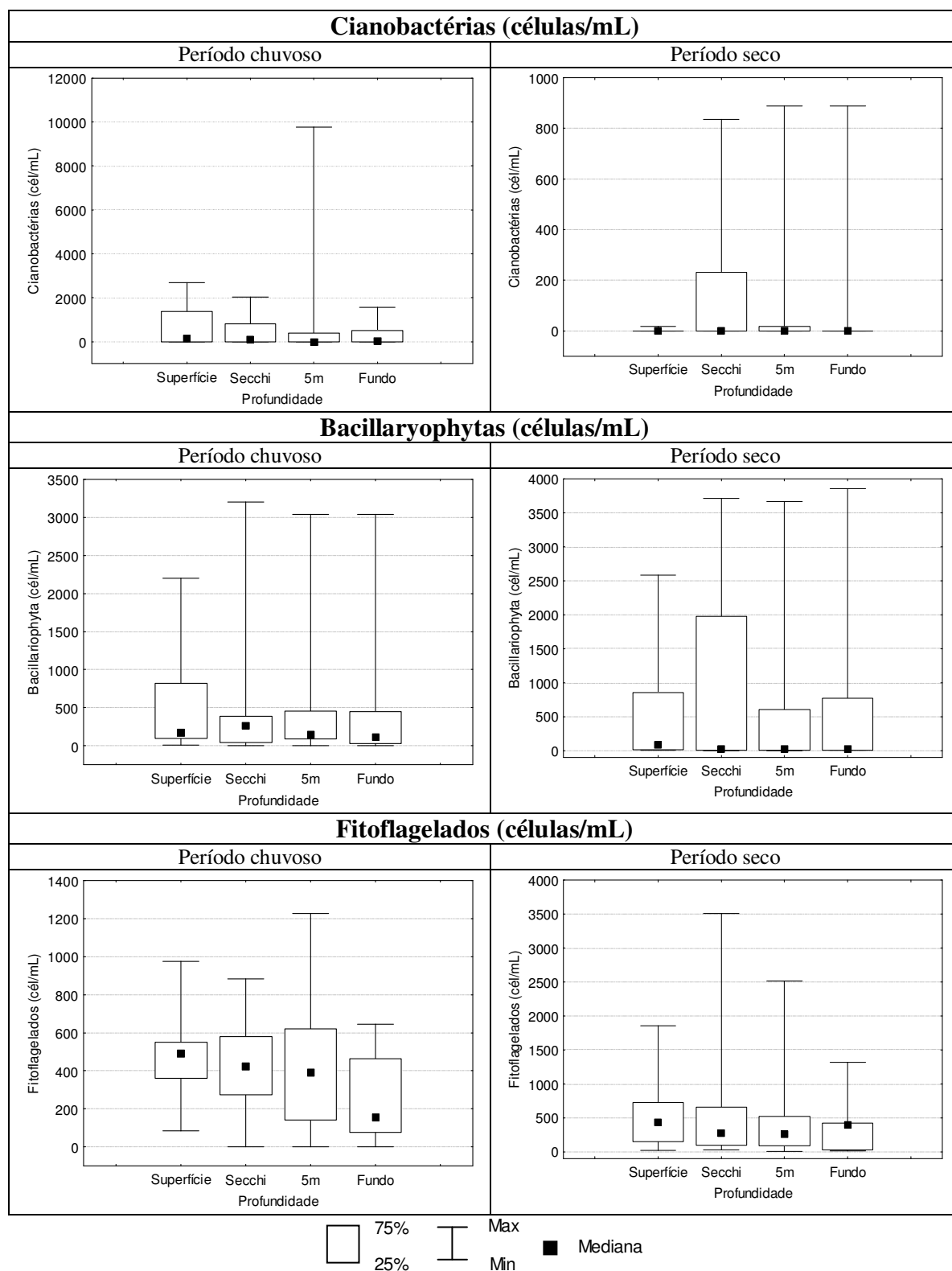


Figura 5.26 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG

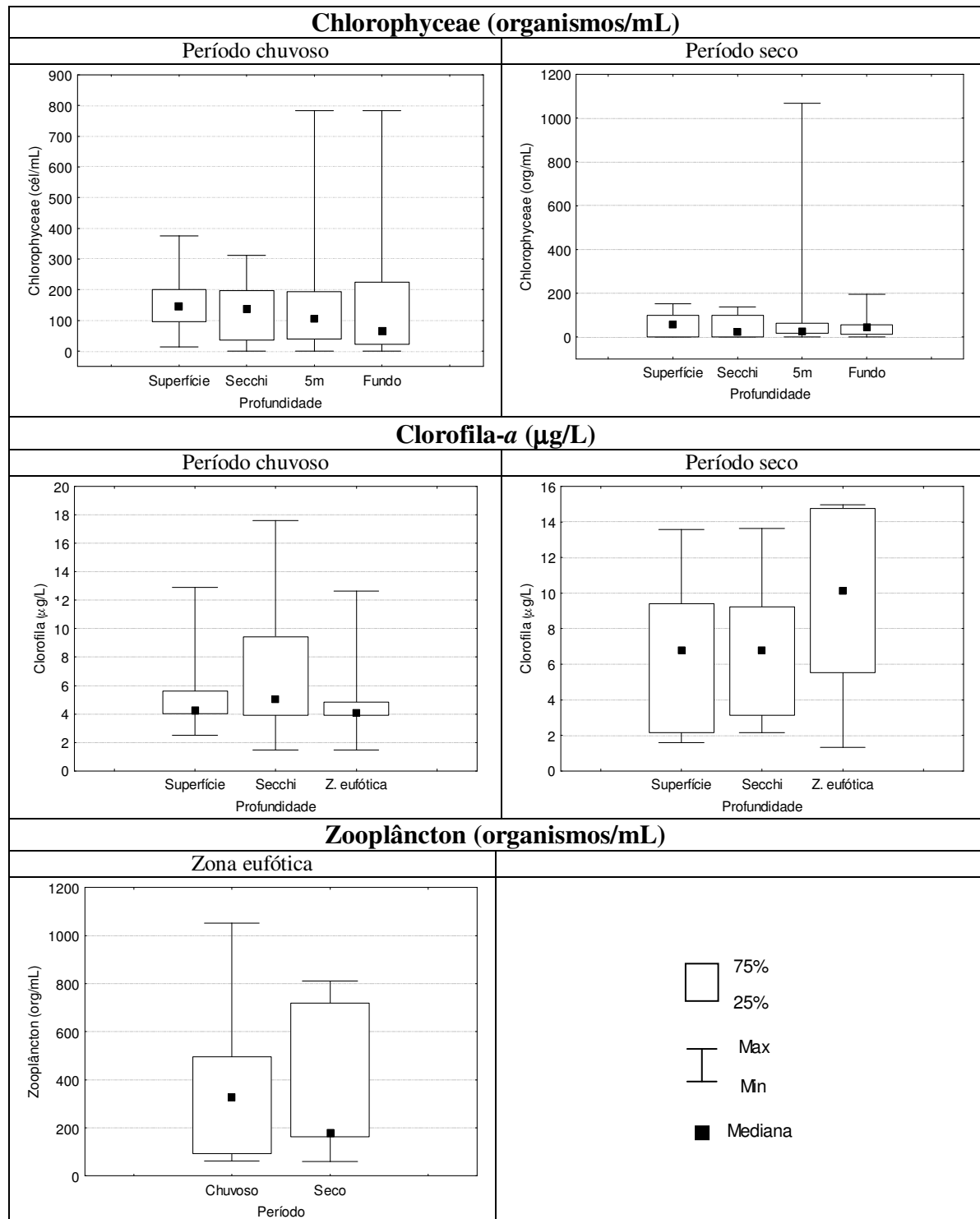


Figura 5.27 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila (µg/L)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 3 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.11 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Fito (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Chloro (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.12 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 3. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
Ciano (cel/mL)	X			
Bac (cél/mL)				
Fito (cél/mL)				
Chloro (org/mL)	X	X		
Zoo (org/mL)			NR	NR
Cl-a (µg/L)			NR	NR

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo, NR- não realizado.

Como observado para os parâmetros abióticos avaliados na estação 3, também os constituintes bióticos não apresentaram diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) entre as profundidades em ambos os períodos (Quadro 5.11).

Quando comparadas as diferenças na distribuição do fitoplâncton entre os períodos chuvoso e seco pode-se observar que a concentração de cianobactérias foi significativamente maior na

superfície do período chuvoso. O grupo das Chlorophyceae também foi significativamente maior no período chuvoso nas profundidades da superfície e do secchi (Quadro 5.12).

5.1.4 Estação 4

As Tabelas 5.7 e 5.8 apresentam a estatística descritiva dos parâmetros analisados na estação 4 nos períodos chuvoso, outubro a março, (Tabela 5.7) e seco, abril a setembro, (Tabela 5.8) durante o monitoramento realizado de outubro de 2004 a junho de 2006.

5.1.4.1 Parâmetros abióticos

As Figuras 5.28 a 5.32 apresentam gráficos no período chuvoso e seco de outubro de 2004 a junho de 2006 para a estação 4, enquanto os Quadros 5.13 e 5.14 informam os resultados dos testes estatísticos, ao nível de significância de 5%.

Tabela 5.7 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 4 no período chuvoso** (outubro a março), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	13	10
	Méd. aritm.	26	6,0	0,66	0,02	0,74	32	37	5	19	54	8	131	8	7	446	499	491	176	372	5
	Méd. geom.	26	5,8	0,23	0,01	0,32	30	34	4	18	54	8	130	8	7		218	350		205	4
	Mediana	26	5,8	0,26	0,01	0,28	29	38	4	20	53	8	130	8	8	50	281	470	104	256	5
	Perc. 10%	24	4,6	0,02	0,01	0,08	20	20	3	10	50	6	115	8	5	0	47	75	7	48	1
	Perc. 90%	28	8,0	2,13	0,03	2,04	52	51	7	30	59	10	150	8	10	1352	1183	834	537	821	10
	Desv. Pad.	2	1,3	0,81	0,02	1,11	14	14	2	7	4	1	13	0	2	701	545	326	208	462	3
Secchi	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13
	Méd. aritm.	26	5,9	0,70	0,02	0,55	30	31	5	18	55	8	130	8	6	33466	610	457	273	372	6
	Méd. geom.	26	5,8		0,01	0,25	28	29	4	18	55	8	130	8	5					205	5
	Mediana	26	5,7	0,28	0,01	0,18	25	28	5	18	55	8	130	8	5	115	242	366	116	256	5
	Perc. 10%	24	4,0	0,01	0,01	0,08	20	20	3	11	52	6	115	8	2	0	4	88	0	48	3
	Perc. 90%	28	8,0	2,02	0,03	0,76	44	49	7	30	60	10	150	8	8	15169	1183	916	820	821	10
	Desv. Pad.	2	1,4	0,93	0,02	1,00	12	12	2	6	3	1	12	0	2	120185	1025	334	323	462	4
5 metros	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	26	5,6	0,76	0,01	0,46	28	31	4	17	55	8	132	8	7	321	544	419	196		
	Méd. geom.	26	5,5	0,33	0,01	0,25	26	30	4	16	55	8	131	8	6		199	301			
	Mediana	26	5,0	0,32	0,01	0,20	24	32	4	16	54	8	130	8	7	43	281	429	143		
	Perc. 10%	24	4,7	0,10	0,01	0,10	20	20	3	10	51	6	116	8	5	0	30	66	5		
	Perc. 90%	28	7,2	2,07	0,02	1,12	47	48	6	23	60	10	150	8	9	982	1542	764	448		
	Desv. Pad.	2	1,0	1,04	0,01	0,57	12	11	1	6	4	2	12	0	2	420	743	289	190		
Fundo	Nº dados	14	14	14	12	12	14	14	14	14	14	14	14	13	14	12	12	12	12		
	Méd. aritm.	25	3,2	0,84	0,02	0,39	28	37	6	40	56	8	134	8	9	347	471	266	138		
	Méd. geom.	25	2,9	0,55	0,01	0,24	26	34	6	31	56	8	133	8	7		89	96			
	Mediana	25	3,2	0,68	0,01	0,15	22	39	6	32	55	8	135	8	8	50	224	161	110		
	Perc. 10%	23	1,0	0,14	0,01	0,10	20	20	4	11	51	6	119	7	5	0	2	4	0		
	Perc. 90%	27	5,0	1,96	0,03	0,71	48	69	9	80	60	10	150	8	14	1330	1297	504	313		
	Desv. Pad.	1	1,4	0,73	0,02	0,48	12	18	2	27	3	2	12	0	4	590	648	242	137		

Tabela 5.8 – Estatística descritiva dos parâmetros amostrados mensalmente nas diversas profundidades da **estação 4 no período seco** (abril a setembro), represa de Vargem das Flores – MG.

		T	OD	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-PT	Turb.	Cor	Alc.	Cl	Condut	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
		(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(uT)	(uC)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)		(mg/L)	(cél/mL)	(cél/mL)	(cél/mL)	(org/mL)	(org/mL)	(µg/L)
Superfície	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	10	6
	Méd. aritm.	23	5,6	1,07	0,02	0,92	18	26	4	16	54	8	127	8	4	374	903	745	97	256	8
	Méd. geom.	22	5,4	0,64	0,01	0,46	17	25	4	16	54	8	126	8	4		116	345	29	164	7
	Mediana	22	5,9	0,85	0,02	0,62	20	23	4	15	53	8	130	8	4	0	87	692	32	184	10
	Perc. 10%	20	3,6	0,14	0,01	0,08	9	20	3	11	52	6	101	7	2	0	4	18	2	43	3
	Perc. 90%	26	7,5	2,13	0,02	3,25	24	42	5	21	58	9	145	8	8	2354	3496	2263	368	712	13
	Desv. Pad.	2	1,5	0,89	0,01	1,18	5	10	1	4	2	1	17	1	2	814	1345	717	122	272	4
Secchi	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	10	10
	Méd. aritm.	23	5,5	1,09	0,02	0,88	20	30	4	16	55	8	128	8	5	123	768	579	88	256	7
	Méd. geom.	23	5,4	0,65	0,02	0,44	19	28	4	16	55	8	127	8	4		103	279		164	6
	Mediana	22	5,8	0,91	0,02	0,46	20	26	4	15	54	8	130	8	5	0	96	438	84	184	7
	Perc. 10%	20	3,8	0,14	0,01	0,09	10	20	3	11	52	7	103	7	2	0	4	29	1	43	2
	Perc. 90%	27	7,5	2,75	0,02	3,30	28	50	5	22	60	10	150	8	7	616	2308	1389	200	712	13
	Desv. Pad.	3	1,4	1,02	0,01	1,22	6	12	1	4	4	1	18	0	2	337	1031	567	90	272	4
5 metros	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	9	9	9		
	Méd. aritm.	22	5,0	1,26	0,02	1,22	21	31	4	16	55	8	127	8	5	157	901	643	125		
	Méd. geom.	22	4,8	0,74	0,01	0,44	21	29	4	16	55	8	126	8	4		85	308			
	Mediana	22	4,7	0,87	0,02	0,48	20	31	4	16	54	8	130	8	4	0	32	658	65		
	Perc. 10%	20	3,2	0,16	0,01	0,07	16	20	3	12	51	6	100	7	3	0	2	20	0		
	Perc. 90%	26	7,2	2,91	0,02	5,32	29	50	6	20	61	9	150	8	8	1253	4605	1942	407		
	Desv. Pad.	3	1,6	1,17	0,01	2,03	5	13	1	4	4	1	19	0	2	443	1590	633	137		
Fundo	Nº dados	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9		
	Méd. aritm.	22	4,2	1,28	0,02	0,75	24	41	5	25	54	8	130	8	6	0	940	478	74		
	Méd. geom.	22		0,89	0,01	0,38	24	33	5	22	54	8	128	8	5		66	109			
	Mediana	22	4,5	1,15	0,02	0,57	21	31	5	20	54	8	140	8	4	0	24	120	84		
	Perc. 10%	20	0,9	0,23	0,01	0,07	20	20	4	15	53	6	105	7	3	0	1	3	0		
	Perc. 90%	25	6,5	2,80	0,03	2,40	34	92	6	50	56	10	145	8	13	0	4675	2216	271		
	Desv. Pad.	2	2,2	1,03	0,01	0,86	6	31	1	15	1	1	17	0	5	0	1572	719	88		

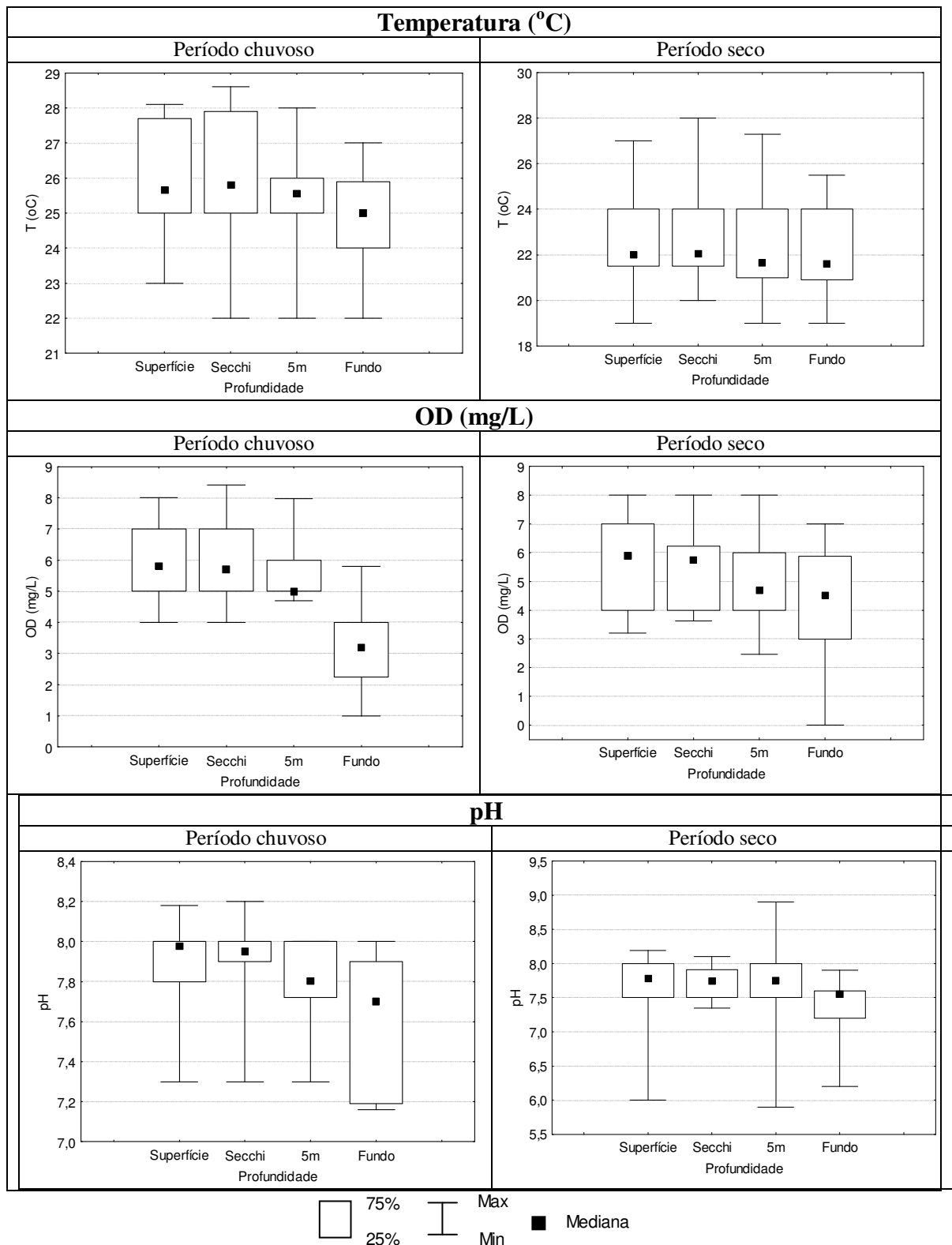


Figura 5.28 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **temperatura (°C)**, **oxigênio dissolvido (mg/L)** e **pH** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.

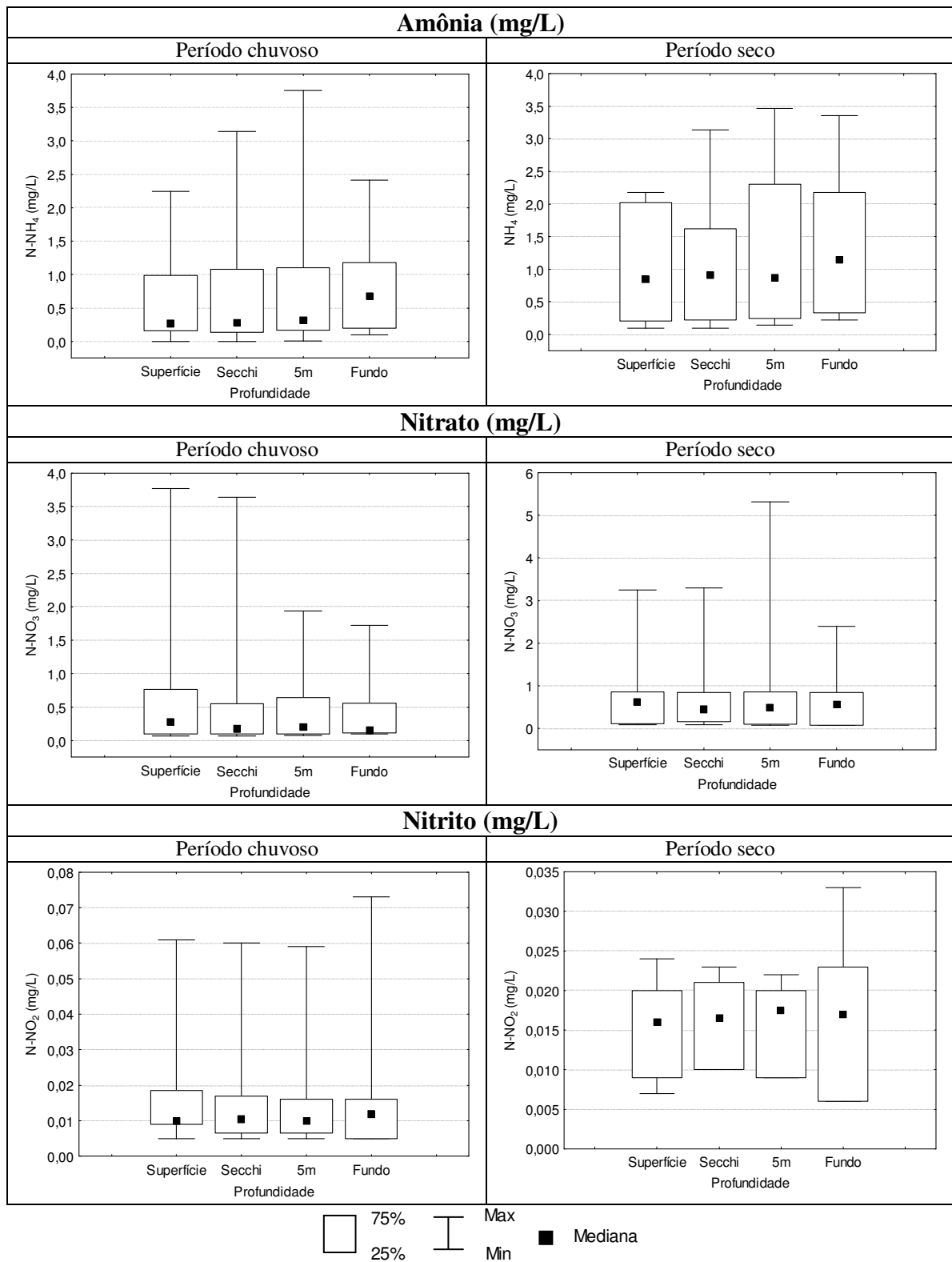


Figura 5.29 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **amônio (mg/L)**, **nitrato (mg/L)** e **nitrito (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG

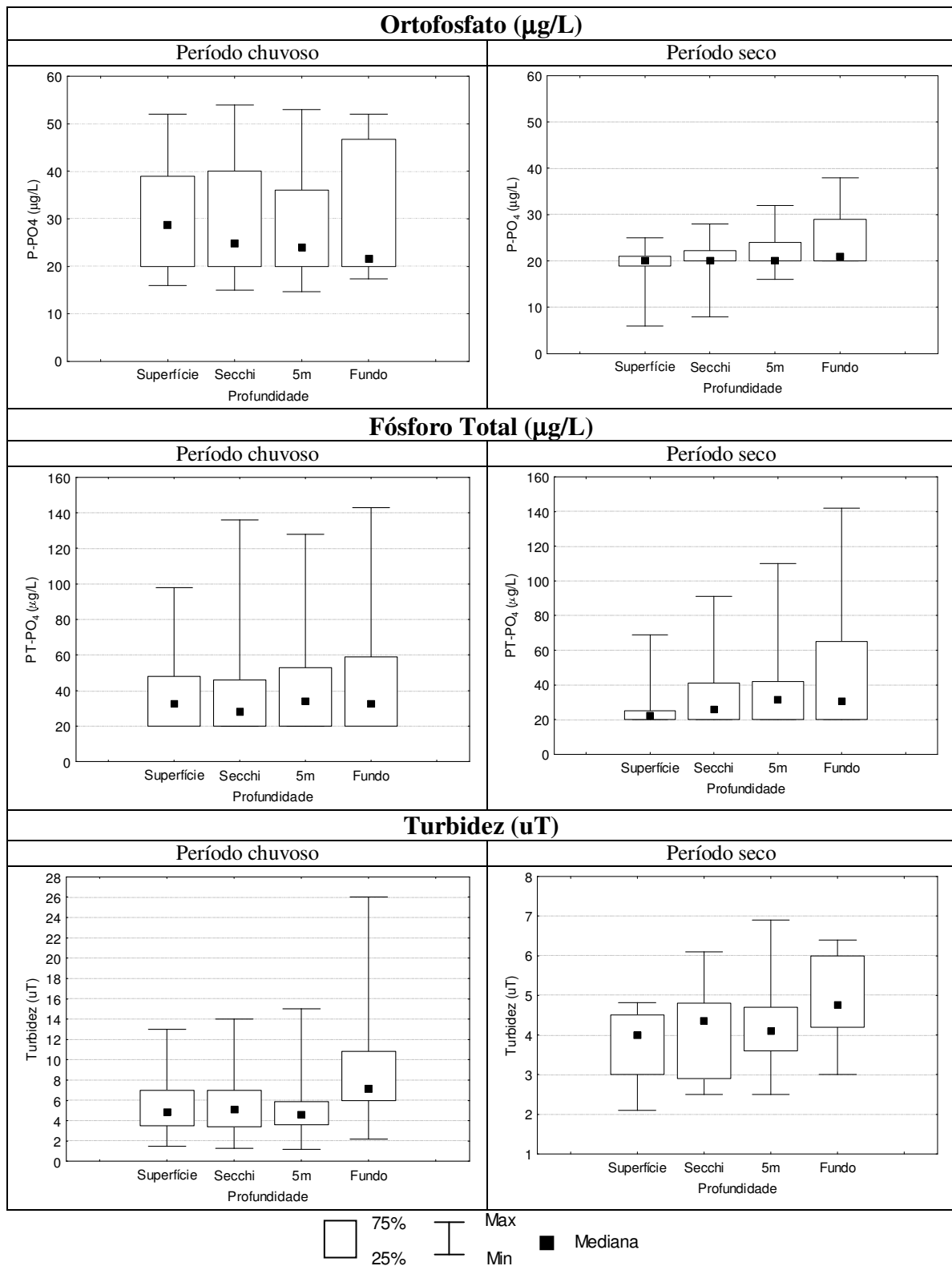


Figura 5.30 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **ortofosfato ($\mu\text{g/L}$)**, **fósforo total ($\mu\text{g/L}$)** e **turbidez (uT)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.

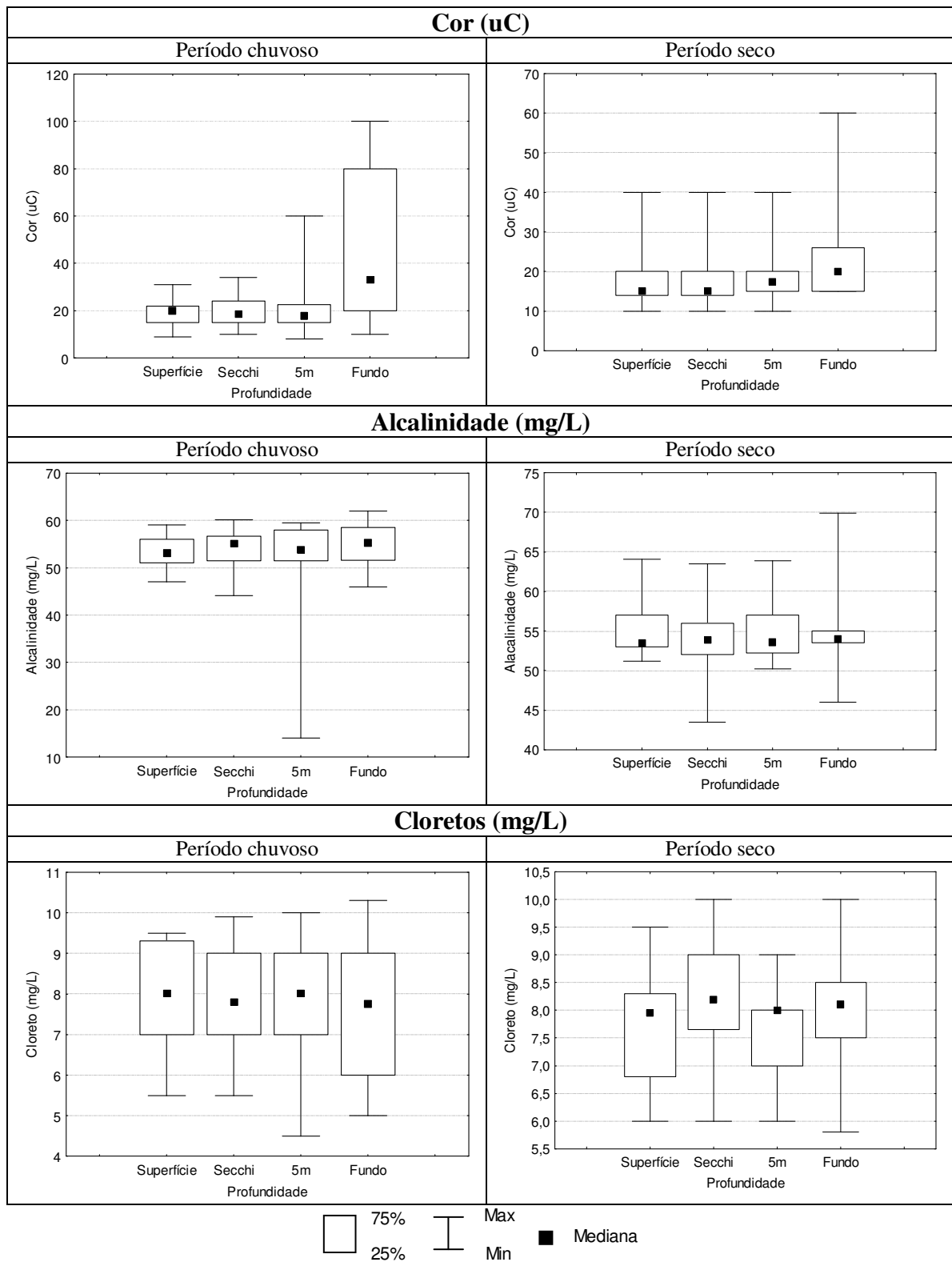


Figura 5.31 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cor (uC)**, **alcalinidade (mg/L)** e **cloro (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG.

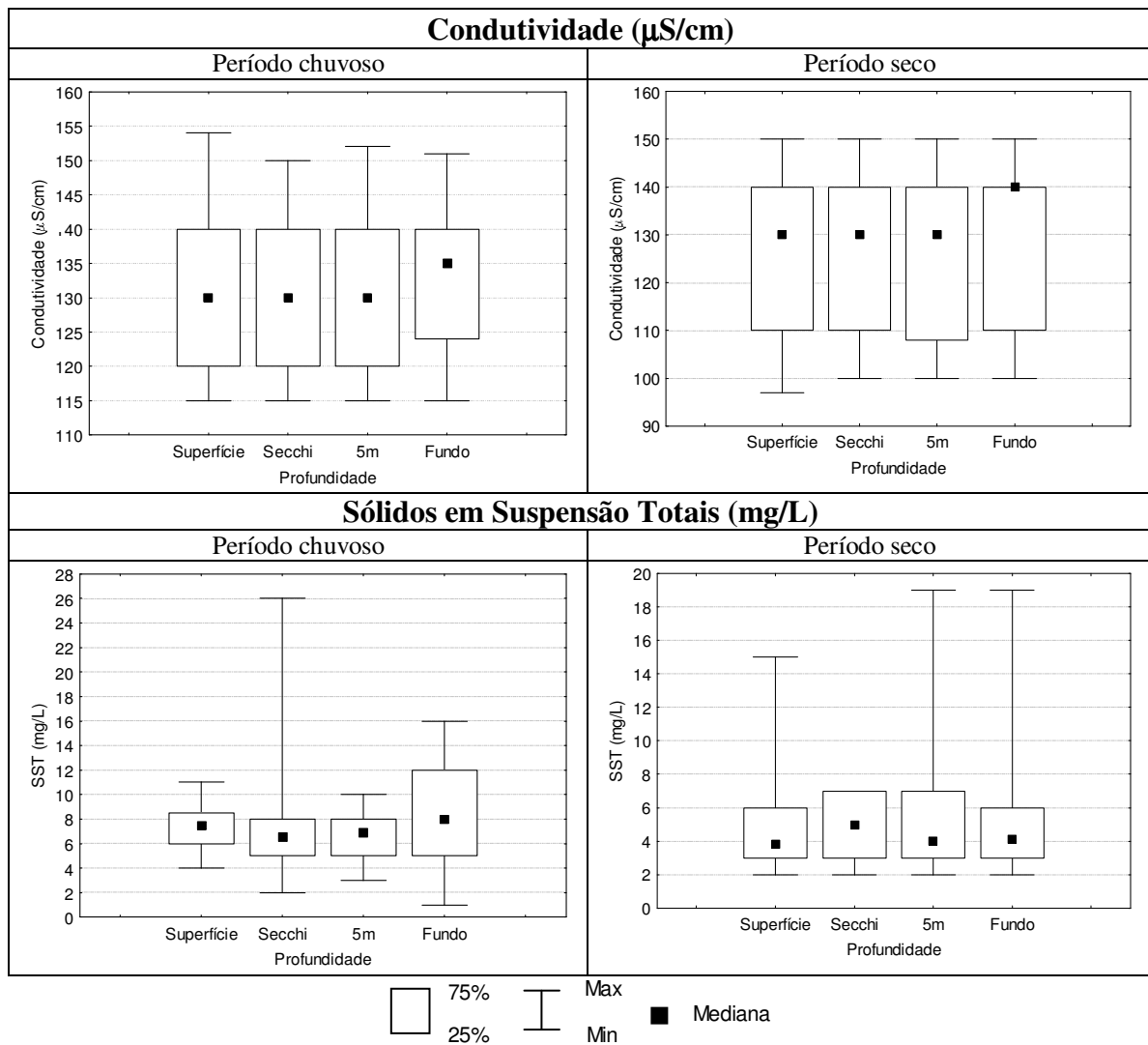


Figura 5.32 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **condutividade ($\mu\text{S/cm}$)** e **sólidos em suspensão totais (mg/L)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Quadro 5.13 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso	Período seco
	Resultado	Resultado
T (°C)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
OD (mg/L)	Profundidade do fundo significativamente diferente das profundidades da superfície, Secchi e cinco metros.	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NH ₄ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₃ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
N-NO ₂ (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
P-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
PT-PO ₄ (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Turb (uT)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cor (uC)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Alc (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Cl (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
Condut (µS/cm)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
pH	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades
SST (mg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades	Sem diferença significativa entre as profundidades

Quadro 5.14 - Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros abióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Profundidade			
	SUP	SEC	CIN	FUN
T (°C)	X	X	X	X
OD (mg/L)				
N-NH ₄ (mg/L)				
N-NO ₃ (mg/L)				
N-NO ₂ (mg/L)				
P-PO ₄ (µg/L)	X			
PT-PO ₄ (µg/L)				
Turb (uT)				
Cor (uC)				
Alc (mg/L)				
Cl (mg/L)				
Condut (µS/cm)				
pH				
SST (mg/L)	X		X	X

Legenda: SUP-superfície, SEC-Secchi, CIN- cinco metros, FUN- um metro do fundo

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$

Avaliando-se os resultados dos parâmetros da estação 4 observa-se os parâmetros abióticos não variaram de acordo com a profundidade nos períodos estudados (chuvoso e seco), com exceção do OD que apresentou concentrações significativamente menores no fundo durante a estação chuvosa (Quadro 5.13). Como ocorrido na estação 3 não ficou evidenciado o período de estratificação térmica da coluna d'água.

Ao se comparar os períodos chuvoso e seco, observou-se diferenças na temperatura da água em todas as profundidades com valores significativamente menores no período seco, correspondente aos meses mais frios (Quadro 5.14). As concentrações de ortofosfato no período chuvoso foram significativamente maiores (ao nível de significância de 5%) na superfície. Provavelmente, devido às chuvas houve maior aporte de matéria orgânica alóctone carregada pelo ribeirão Betim. A influência deste corpo d'água na estação 4 pode também ser responsável pela manutenção da circulação na coluna d'água dessa região.

Da mesma forma, as concentrações de sólidos em suspensão total (SST) foram maiores (diferença estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%) no período chuvoso nas profundidades da superfície, e 5 metros e fundo.

Avaliação da variação na profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 4

Como observado nas outras estações a profundidade de extinção do disco de Secchi foi estatisticamente maior no período seco, quando comparados os dois períodos. A maior transparência da água foi observada no mês de julho de 2005 (Figuras 5.33 e 5.34).

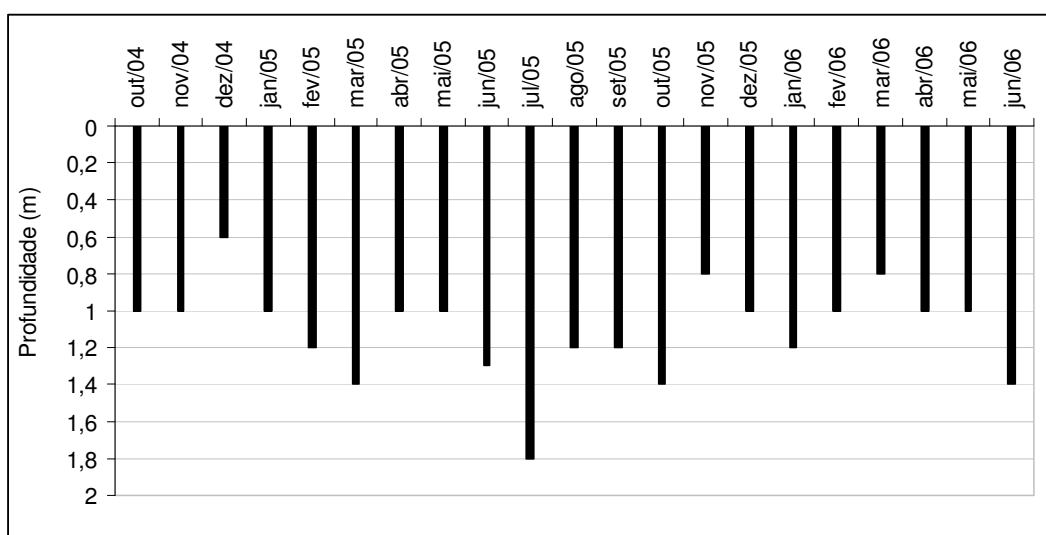


Figura 5.33 – Gráfico da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** no período de outubro/04 a junho/06 – Estação 4. Vargem das Flores/MG.

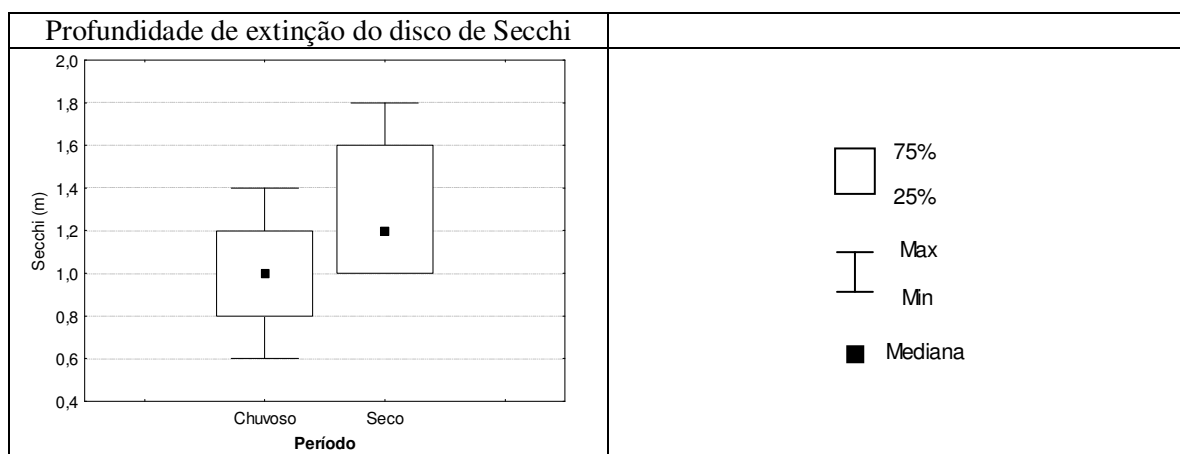


Figura 5.34 – Gráfico “box=whisker” da variação na profundidade de extinção do **disco de Secchi** nos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4. Vargem das Flores/MG.

5.1.4.2 Parâmetros bióticos

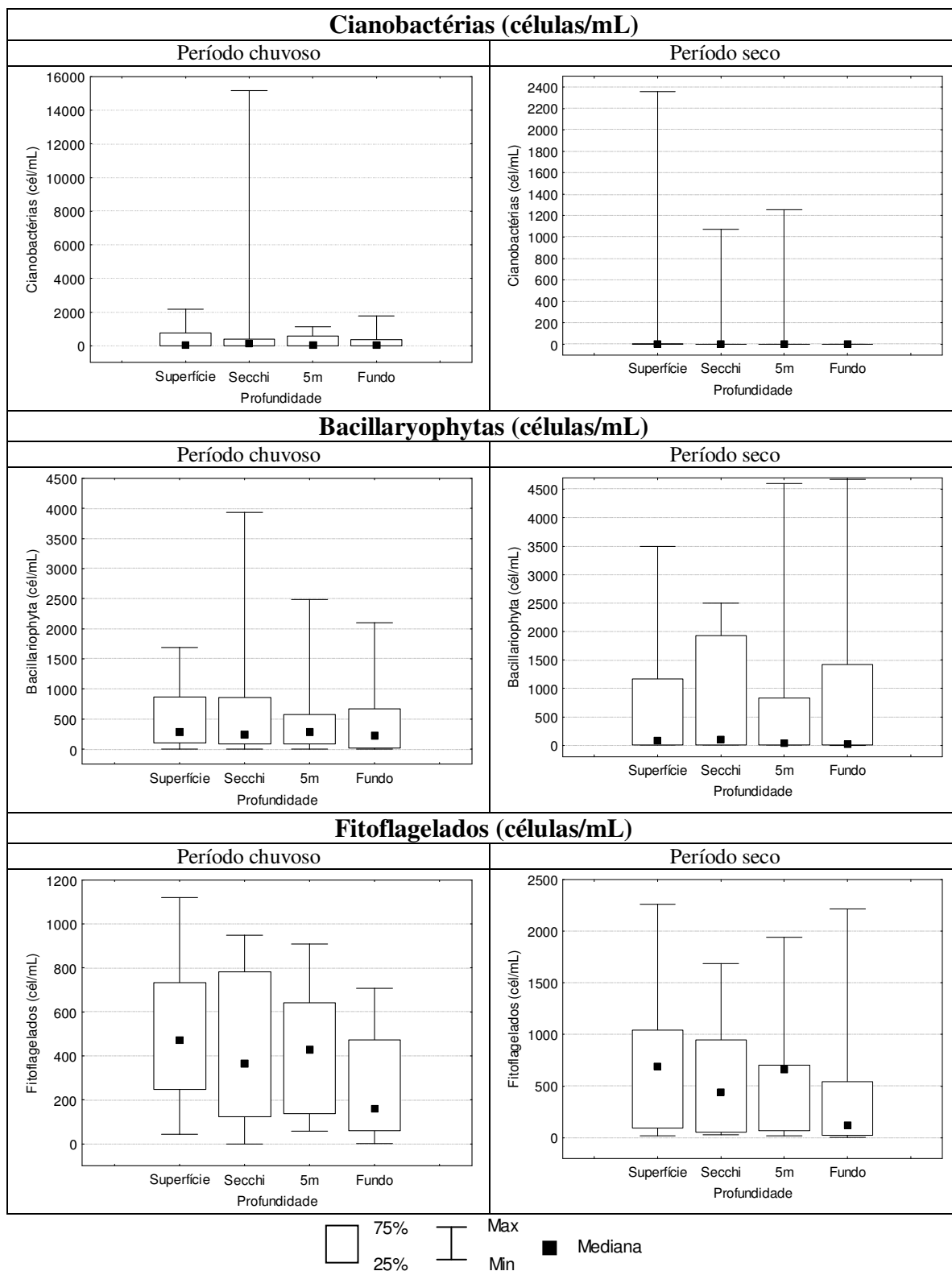


Figura 5.35 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **cianobactérias (cél/mL)**, **Bacillariophyta (cél/mL)** e **fitoflagelados (cél/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG

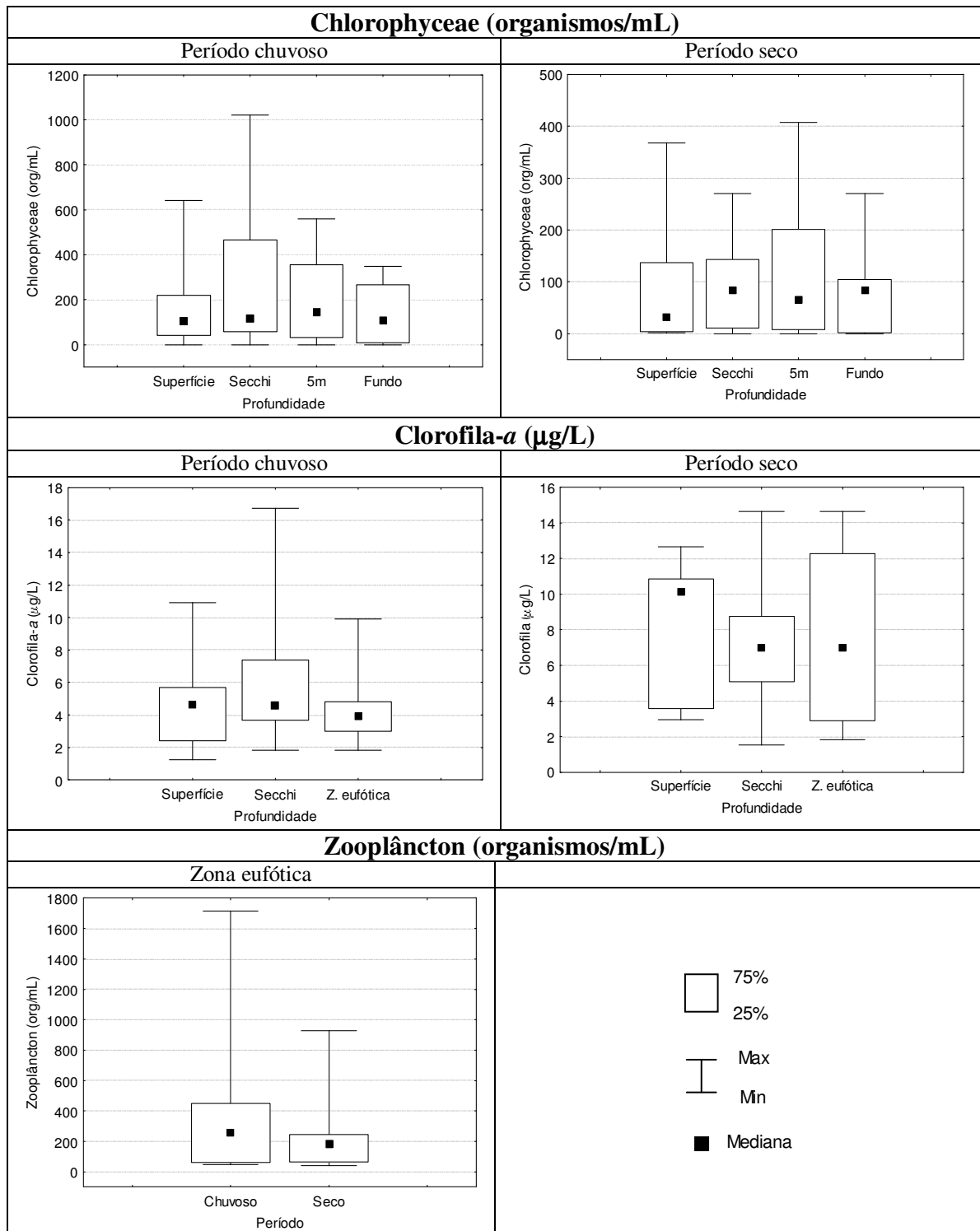


Figura 5.36 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros **Chlorophyceae (org/mL)**, **clorofila (µg/L)** e **zooplâncton (org/mL)** no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) – Estação 4 Vargem das Flores/MG

Quadro 5.15 - Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados, entre as profundidades nos períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5% - Estação 4. Vargem das Flores/MG.

Parâmetro	Período chuvoso		Período seco	
	Resultado		Resultado	
Ciano (cel/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Bac (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Fito (cél/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Chloro (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Zoo (org/mL)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	
Cl-a (µg/L)	Sem diferença significativa entre as profundidades		Sem diferença significativa entre as profundidades	

A análise da estação 4 demonstrou que não houve diferenças significativas entre as profundidades para nenhum dos parâmetros bióticos avaliados (Quadro 5.15). Da mesma forma, os testes estatísticos Mann-Whitney não indicaram diferenças significativas dos parâmetros bióticos avaliados entre os períodos chuvoso e seco, ao nível de significância de 5%, na estação 4 (Quadro não apresentado).

5.2 Avaliação comparativa dos parâmetros bióticos e abióticos nas estações de amostragem do reservatório

5.2.1 Parâmetros abióticos

5.2.1.1 Avaliação temporal das quatro estações de amostragem

Os gráficos de avaliação temporal de alguns parâmetros abióticos, considerados importantes para a caracterização limnológica das quatro estações de amostragem e que mostraram maiores variações, são apresentados nas Figuras 5.37 a 5.42. Importante salientar que os parâmetros foram determinados em profundidades específicas. Para a estação-1: superfície, Secchi, final da zona eufótica (até junho/2006), 5m e 10m da superfície e 1m do fundo. Para as demais estações: superfície, Secchi, final da zona eufótica, 5m da superfície e 1m do fundo. Apesar da amostragem não ter sido distribuída em intervalos iguais ao longo da coluna d'água, o programa gráfico utilizado (Surfer 8.0) dispõe do recurso de interpolação dos dados, representando mesmo os valores faltantes ao longo do tempo em toda a coluna. Para minimizar as possíveis discrepâncias da interpolação, foram incluídos os valores medidos no final da zona eufótica. Os pontos destacados nos gráficos a seguir indicam as profundidades amostradas em cada estação durante os meses estudados.

Ressalta-se ainda que alguns gráficos não apresentam a mesma escala, devido à diferença de magnitude dos valores observados, caso dos parâmetros N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT. Além disso, devido à utilização de metodologias de análise dos nutrientes com limite de detecção capaz de medir pequenas concentrações ($\geq 0,005$ mg/L) a partir de janeiro e fevereiro de 2005, para a construção dos gráficos de nitrato, ortofosfato e fósforo total foram considerados apenas os valores obtidos a partir desse período.

Acredita-se que o emprego das metodologias analíticas que apresentam limites de detecção capazes de medir as concentrações desses nutrientes no ambiente seja imprescindível para a avaliação da dinâmica do fitoplâncton.

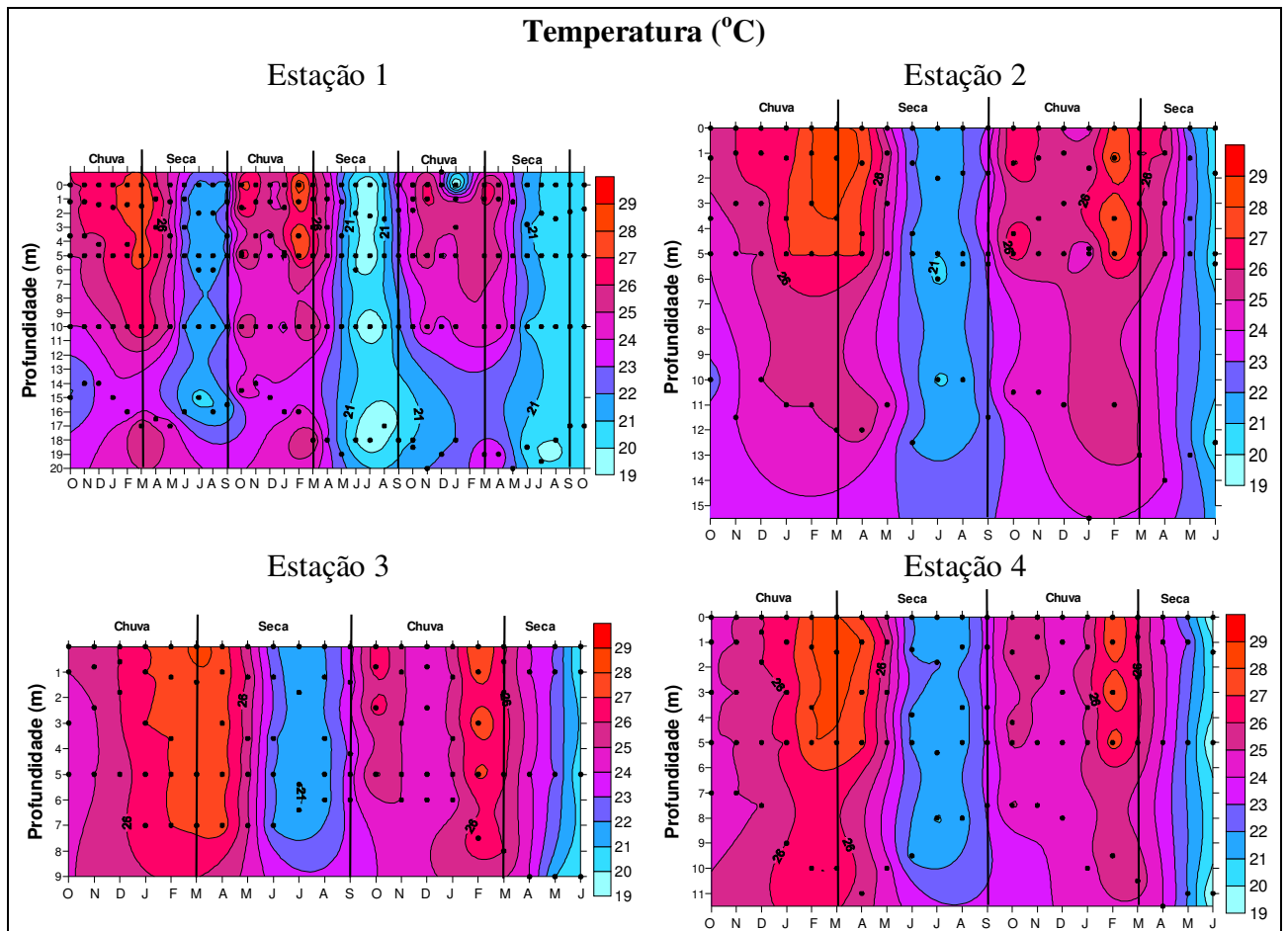


Figura 5.37 - Perfil térmico (°C) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Os gráficos da Figura 5.37 demonstram visualmente o que foi observado anteriormente para cada estação (itens 5.1.1 a 5.1.4). O perfil térmico das estações 1 e 2 é caracterizado pela ocorrência de estratificação térmica durante os meses mais quentes (outubro a março) e circulação da massa de água durante o período seco e frio (abril a setembro). Observa-se ainda o padrão de circulação monomítico na zona pelágica do reservatório (estação 1 e 2) com circulação da coluna d'água ocorrendo uma vez por ano.

A diferença encontrada entre as profundidades, com maior estabilidade da coluna d'água durante o período chuvoso, coincide com temperaturas ambiente mais elevadas características da estação (verão).

Comportamento térmico semelhante foi observado na lagoa da Pampulha (Belo Horizonte/MG), com isoterмия da coluna d'água e circulação durante o período seco e

estratificação no período chuvoso, embora a coluna d'água apresentasse instabilidade devido às fortes chuvas ocorridas (FIGUEREDO e GIANI, 2001).

Como visto anteriormente, embora existam diferenças entre as temperaturas da água das estações 3 e 4 quando avaliados os períodos chuvoso e seco, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades em nenhum dos períodos. Pode-se observar nos gráficos das estações 3 e 4 (Figura 5.37) freqüentes períodos de circulação da coluna d'água, não sendo possível identificar a ocorrência do período com estratificação térmica definido.

No estudo realizado por Souza (2003) avaliando os parâmetros de qualidade da água de Vargem das Flores através da análise de dados secundários obtidos desde o início de sua operação em 1973 até 2002, foi observado um comportamento térmico semelhante. Houve o estabelecimento de uma estratificação térmica nos meses mais quentes e maior possibilidade de ocorrência de circulação da coluna d'água nos meses de junho, julho e agosto para as estações 1 e 2 e no período de maio até agosto para as estações 3 e 4.

A menor profundidade das estações 3 e 4 pode favorecer a maior influência dos ventos, chuvas e mesmo insolação diária, levando ao aquecimento da massa de água, o que explicaria a maior homogeneidade do perfil térmico nesses pontos. Infelizmente devido à falta de dados climatológicos da represa, não será possível comprovar a influência dos fatores climáticos no comportamento térmico das estações de estudo. Contudo, segundo Souza (2003) as quatro estações amostrais foram diferenciadas em relação à sua localização. As estações 1 e 2, localizadas na zona limnética da represa, apresentavam temperaturas ambiente inferiores às verificadas nas estações 3 e 4, indicando que as interferências de fatores como correntes de vento, intensidade e incidência da radiação solar, volume da coluna d'água, dentre outros, foram consideráveis no comportamento diferenciado das estações amostrais.

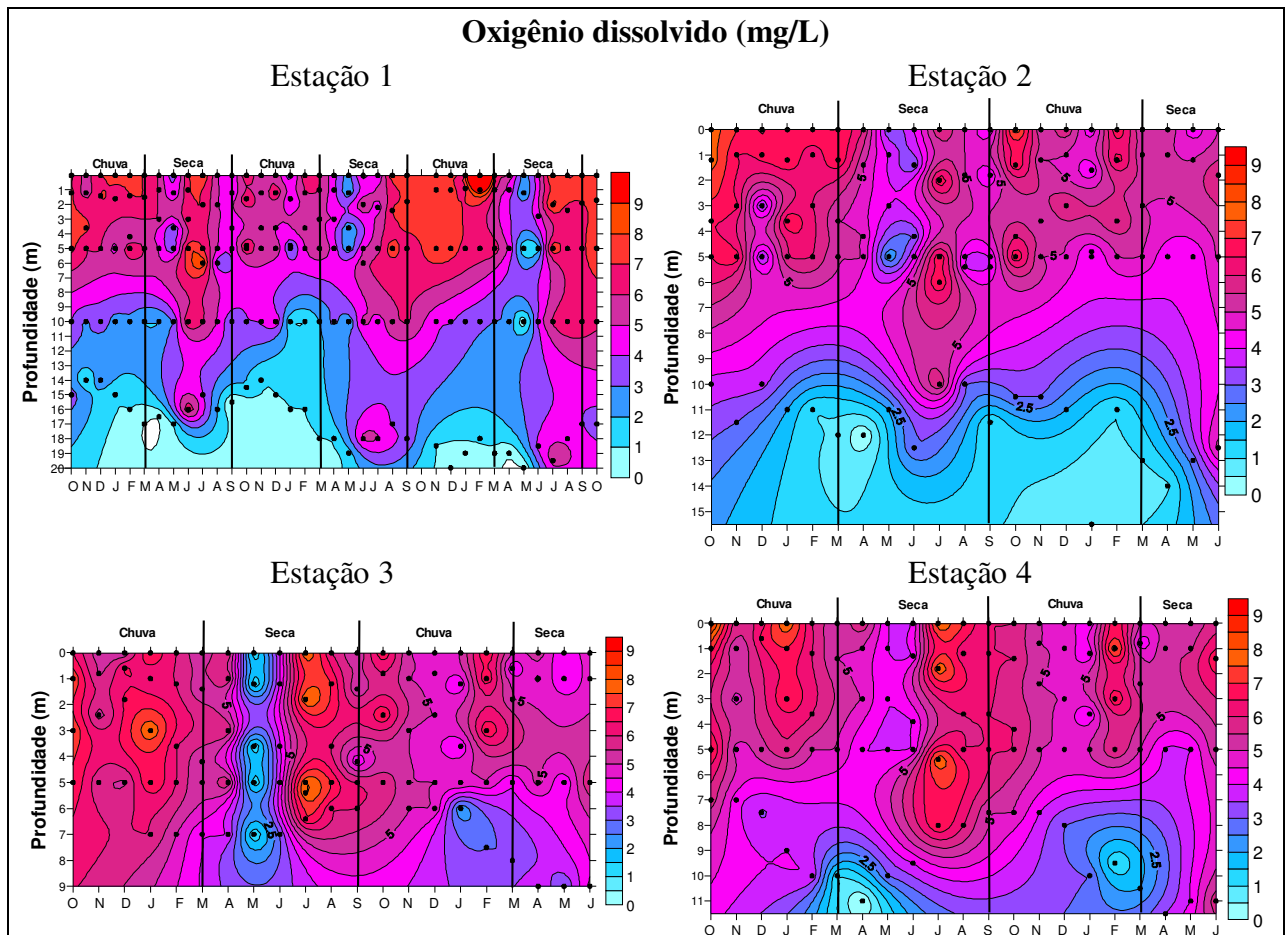


Figura 5.38 - Perfil da distribuição da concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Assim como ocorre a estratificação térmica da coluna d'água, os lagos e reservatórios podem apresentar também uma estratificação química. O perfil de distribuição do oxigênio dissolvido na coluna d'água (Figura 5.38) das quatro estações evidencia um perfil de estratificação química semelhante ao perfil térmico. Contudo na estação 4, não estratificada termicamente, pode ser observada a estratificação química com concentrações de OD significativamente menores no fundo (valores de $p < 0,05$ no teste estatístico de Kruskal-Wallis) nos meses de transição entre o período chuvoso e seco. Da mesma forma, as estações 1 e 2 apresentaram-se estratificadas durante os meses mais quentes (período chuvoso) ocorrendo a circulação nos meses mais frios (período seco) com aumento da concentração de OD no hipolímnio. Em geral, no mês de julho, foi observada a circulação completa da massa d'água e distribuição mais uniforme do OD. Observa-se ainda que durante a estratificação ocorreram períodos de anoxia no fundo das estações 1, 2 e 4.

Segundo KALFF (2002), os fatores apontados como responsáveis pela redução do oxigênio dissolvido com o aumento da profundidade, perfil clinogrado, podendo chegar à ausência de oxigênio no hipolímnio, são: a extensão do período de estratificação térmica, o volume do hipolímnio, concentração de matéria orgânica e a temperatura da água. Devido à elevada temperatura do hipolímnio de lagos tropicais (maioria superior a 20°C), as perdas de oxigênio são rápidas e grandes, juntamente com o aumento dos processos de decomposição tanto aeróbios quanto anaeróbios.

Analisando-se o perfil de distribuição do oxigênio dissolvido da estação 3, observa-se no mês de maio de 2005 um forte déficit de oxigênio em toda a coluna d'água (1,0 mg/L OD). Esse fato pode ter ocorrido devido à circulação da massa de água, possivelmente pela ação dos ventos, levando ao enriquecimento da coluna d'água com compostos redutores, provenientes do hipolímnio, consumindo assim grande parte do oxigênio dissolvido para a oxidação desses compostos (KALFF, 2002).

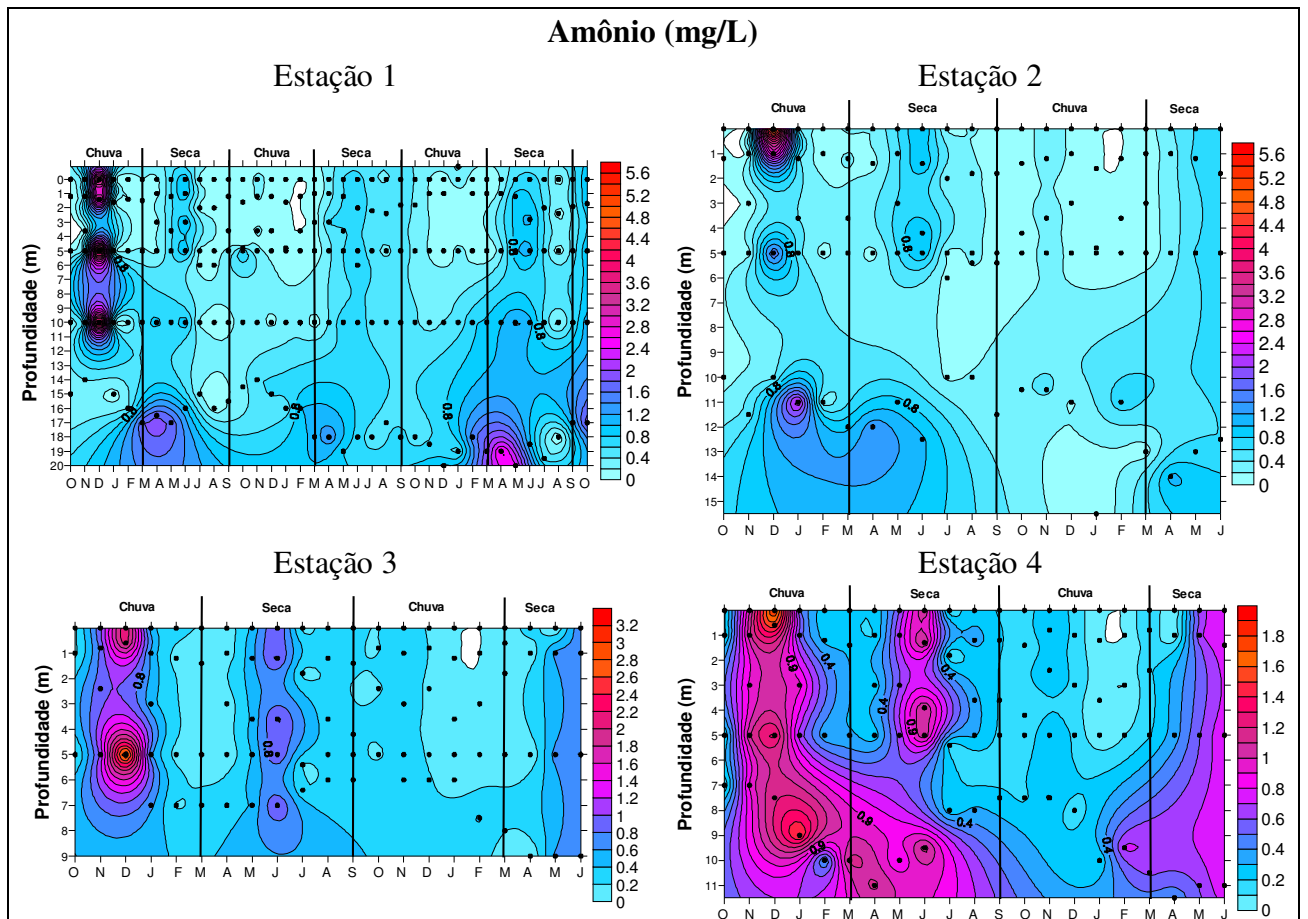


Figura 5.39 - Perfil da distribuição da concentração de amônio (mg/L) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e outubro/2004 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4. Nota: escalas diferentes.

As fontes de nitrogênio que podem ser utilizadas pelas cianobactérias e microalgas são o nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) ou amônia (NH_4^+), além do nitrogênio atmosférico para as espécies capazes de fixá-lo. Contudo, o nitrato e o íon amônio representam as principais fontes de nitrogênio para o fitoplâncton em ecossistemas aquáticos, sendo que a via preferencial de obtenção desse nutriente é a amônia por já se encontrar na forma reduzida (OLIVER e GANF, 2000).

O perfil de distribuição do íon amônio na coluna d'água das quatro estações indica a maior concentração desse composto no início do monitoramento, principalmente se for avaliado o período de 3 anos de monitoramento da estação 1.

Observam-se concentrações mais elevadas de amônia (Figura 5.39) no período chuvoso compreendido entre outubro/04 e janeiro/05 em todas as estações. O aumento da concentração desse nutriente pode ter sido devido à maior carga orgânica carregada pelas chuvas do período.

Em um estudo realizado em três reservatórios na Austrália, monitorando a qualidade da água e a ocorrência de florações de cianobactérias, o aumento da concentração de nutrientes foi relacionado à ocorrência do período de chuvas (JONES, 1997). No reservatório de Gargalheiras, no Rio Grande do Norte, também foi observada maior concentração de nitrogênio na coluna d'água no período chuvoso em comparação com a estação seca (CHELLAPPA e COSTA, 2003).

Após esse período inicial do monitoramento, as concentrações de amônia medidas até junho de 2006 não apresentaram grandes variações entre os períodos seco e chuvoso. Contudo, na estação 1, ao final do último período chuvoso (a partir de abril de 2007) pode-se observar maiores concentração de amônia no hipolímnio, provavelmente relacionada à anoxia observada (Figura 5.38).

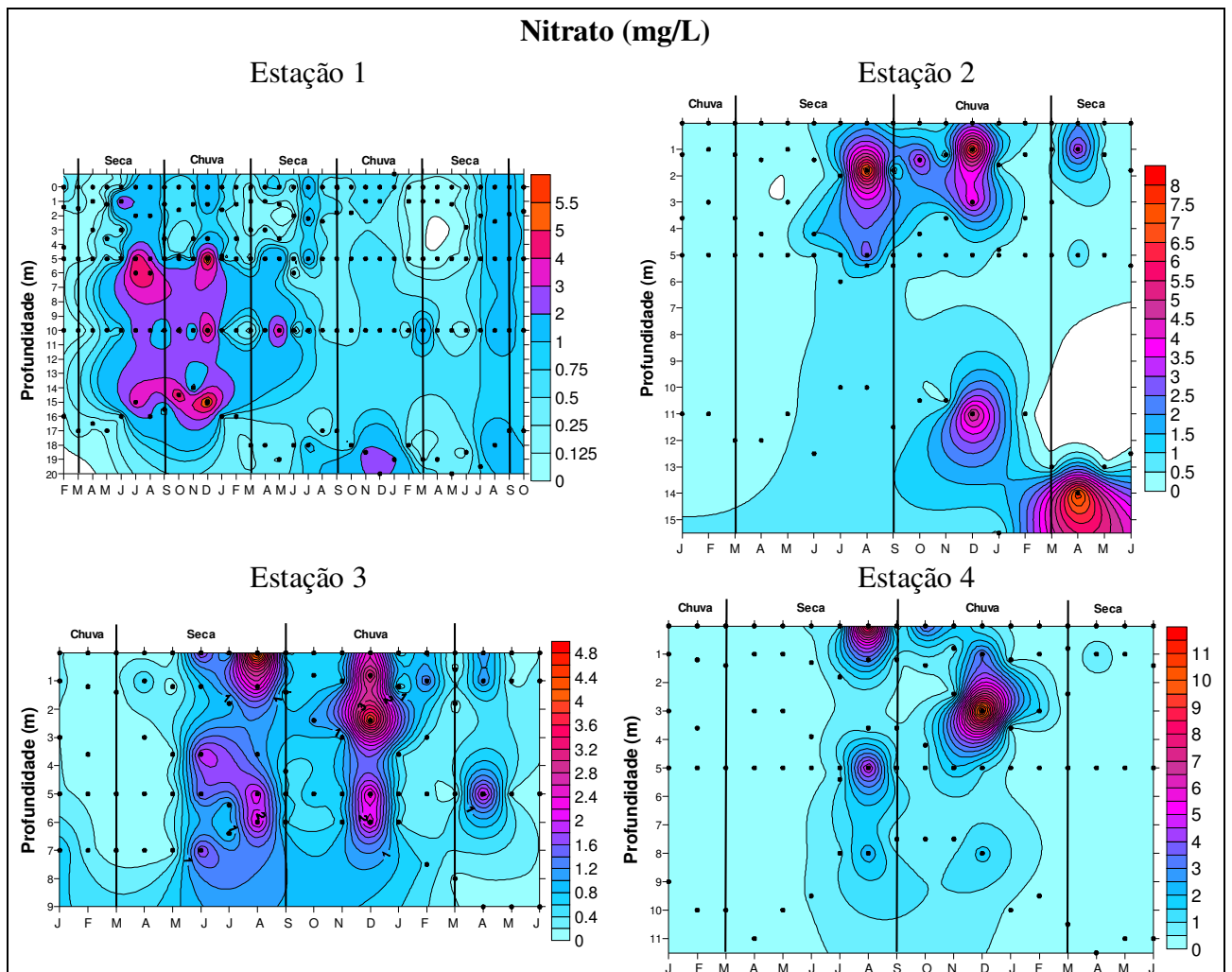


Figura 5.40 - Perfil da distribuição da concentração de nitrato (mg/L) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2004 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4. Nota: escalas diferentes.

Analisando-se o perfil de distribuição das concentrações de nitrato (Figura 5.40) constata-se o aumento da concentração de nitrato em todas as estações, coincidente com a maior distribuição de oxigênio dissolvido na coluna d'água durante a circulação (Figura 5.38). Na presença de oxigênio dissolvido pode ocorrer a oxidação química ou biológica (ação das bactérias nitrificantes) da amônia levando à produção de nitrito e nitrato (KALFF, 2002).

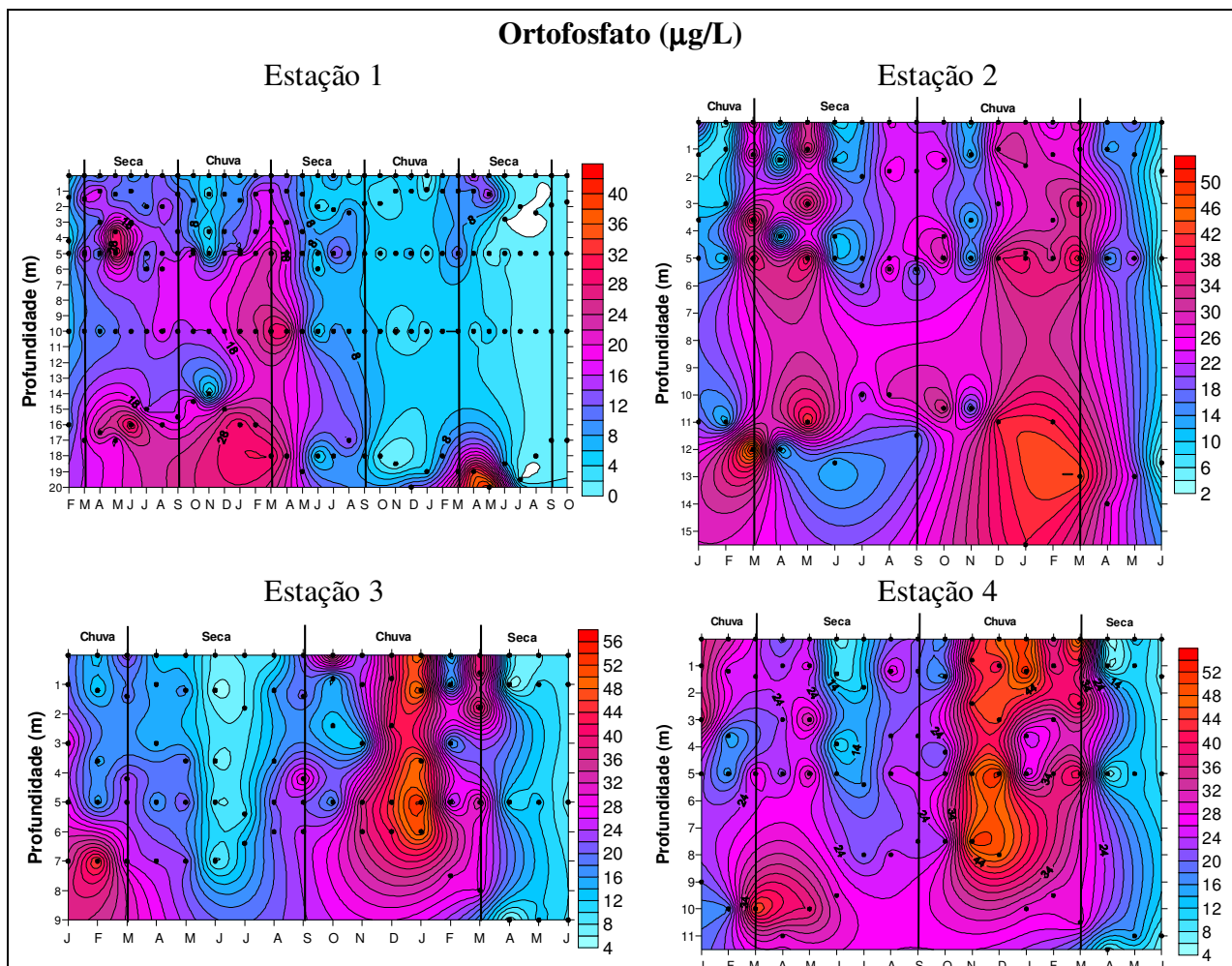


Figura 5.41 - Perfil da distribuição da concentração de ortofosfato ($\mu\text{g/L}$) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Nota: escalas diferentes.

As concentrações dos nutrientes, fósforo e nitrogênio, exercem grande influência na produtividade dos ecossistemas aquáticos por fazerem parte de processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos e, conseqüentemente, importantes no estudo do grupo das cianobactérias. O fósforo, além de ser considerado o maior responsável pela eutrofização artificial, é o principal fator limitante da produtividade primária em reservatórios (STRAŠKRABA e TUNDISI, 2000).

A principal forma de fósforo assimilada pelo fitoplâncton é o ortofosfato (PO_4^{3-}). Considerando-se o período de janeiro de 2005 a junho de 2006 observa-se uma distribuição semelhante das concentrações de ortofosfato na coluna d'água de todas as estações. No

entanto não foi possível verificar se esse comportamento similar se manteve a partir de julho de 2006, já que o somente a estação 1 foi monitorada a partir desse período. As concentrações de ortofosfato na estação 1 mostraram uma queda acentuada no período de chuva subsequente, retornando para valores mais altos no hipolímnio após o retorno da estratificação. Essas maiores concentrações foram observadas nos períodos com baixas concentrações de oxigênio dissolvido (Figura 5.38).

De acordo com Stauffer (1985), em condições de baixa concentração de oxigênio no hipolímnio quantidades substanciais de fosfato podem ser liberadas do sedimento e transportadas para o epilímnio levando à fertilização interna do ambiente. Esse transporte de fosfato pode se dar tanto pela desestratificação completa ou parcial da coluna d'água, quanto por difusão em caso de formação de fortes gradientes de concentração de fosfato entre o hipolímnio e as águas superficiais.

No caso das estações 3 e 4, o aumento da concentração de ortofosfato pode estar relacionada à entrada de nutrientes de origem alóctone carregados pelas chuvas. Em estudo realizado por Moredjo (1998) em três açudes paraibanos ficou evidenciada a influência das chuvas no aumento da concentração de fosfato nesses ambientes.

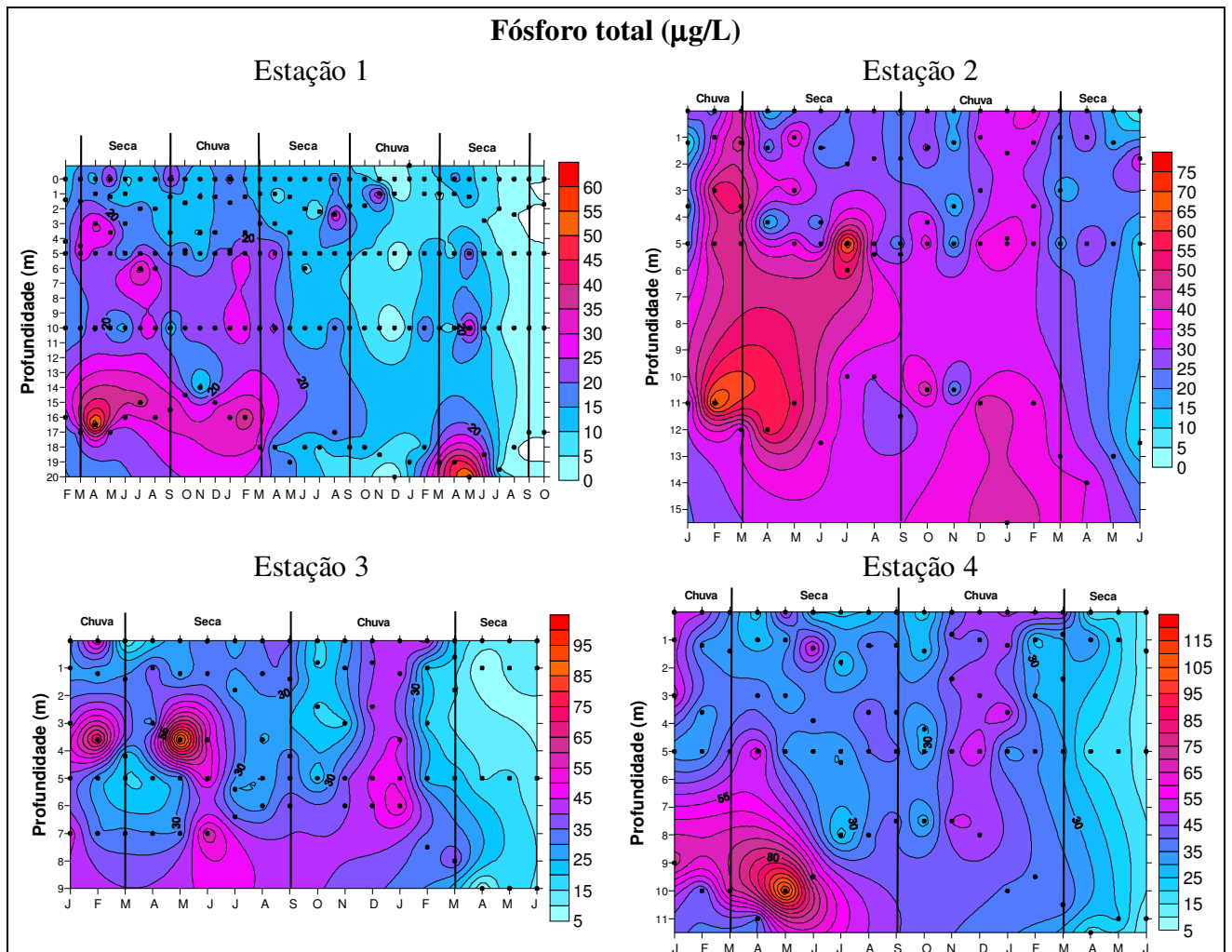


Figura 5.42 - Perfil da distribuição da concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) da coluna d'água das estações amostrais do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de fevereiro/2005 a outubro/2007 para a estação 1 e janeiro/2005 a junho/2006 para as estações 2, 3 e 4.

Nota: escalas diferentes.

Em geral, o perfil de distribuição do fósforo total, como esperado, foi semelhante ao do ortofosfato (Figura 5.42) evidenciando a parcela predominante da contribuição do fosfato reativo.

Foram efetuados testes estatísticos de Kruskal-Wallis para confirmação de diferenças significativas observadas entre as quatro estações, considerando todos os parâmetros abióticos em cada profundidade e em cada período, chuvoso e seco. Optou-se por apresentar os gráficos “box-whisker” (Figura 5.43 a Figura 5.48) apenas dos parâmetros que apresentaram diferenças estatísticas significativas, ao nível de significância de 5%.

5.2.1.2 Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem

Período chuvoso

Os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis realizados para comparação entre as quatro estações na superfície (Figura 5.43) indicaram diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) para o ortofosfato, fósforo total e turbidez. As concentrações de ortofosfato e fósforo total foram menores na superfície da estação 1 do que nas outras estações nessa profundidade. Por outro lado, a turbidez medida na superfície da estação 1 encontrou-se significativamente menor que a medida nas estações 3 e 4 na mesma profundidade.

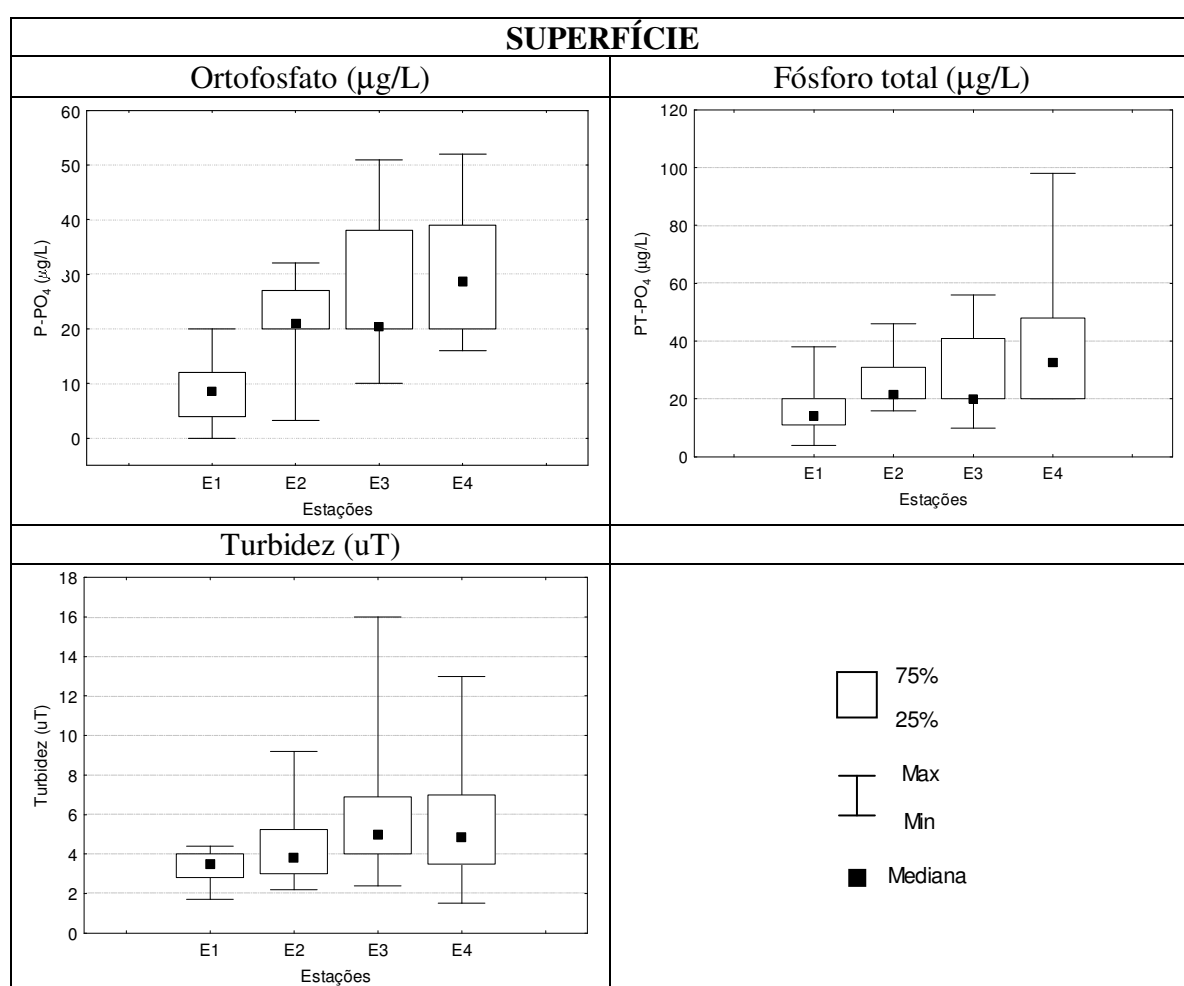


Figura 5.43 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

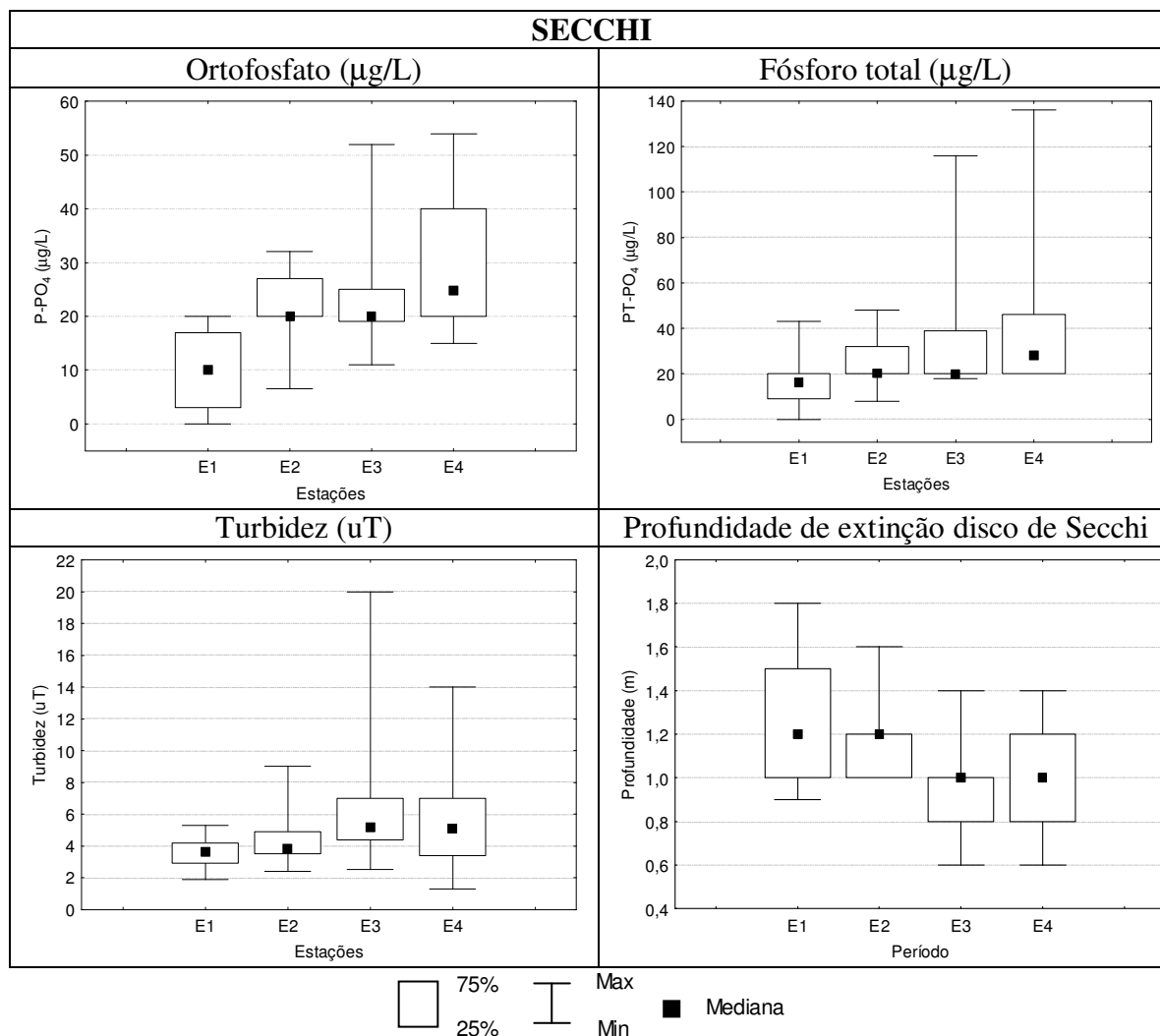


Figura 5.44 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade de extinção do disco de Secchi - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

Assim como na superfície, os resultados do teste estatístico realizados para comparação entre as quatro estações na profundidade de extinção do disco de Secchi (Figura 5.44) indicou diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) para o ortofosfato, fósforo total e turbidez. As concentrações de ortofosfato e fósforo total também foram menores no Secchi da estação 1 do que nas outras estações nessa profundidade. Enquanto a turbidez e a profundidade do Secchi da estação 1 foram significativamente diferentes das medidas na estação 3 na mesma profundidade. A maior profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 1 assim como a menor turbidez podem ser atribuídas ao menor impacto das chuvas na porção mais preservada do reservatório em função da localização e profundidade.

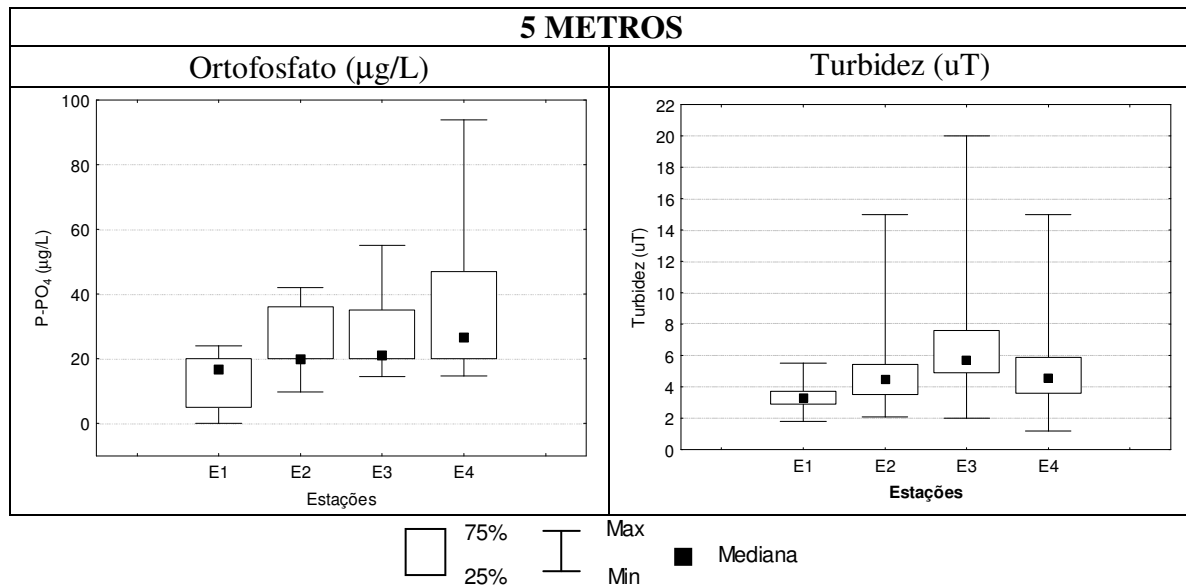


Figura 5.45 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

Já na profundidade a cinco metros da superfície (Figura 5.45), os resultados do teste comparando as quatro estações indicou diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) apenas para o ortofosfato e a turbidez, que continuaram sendo menores na estação 1 em relação às outras estações nessa profundidade.

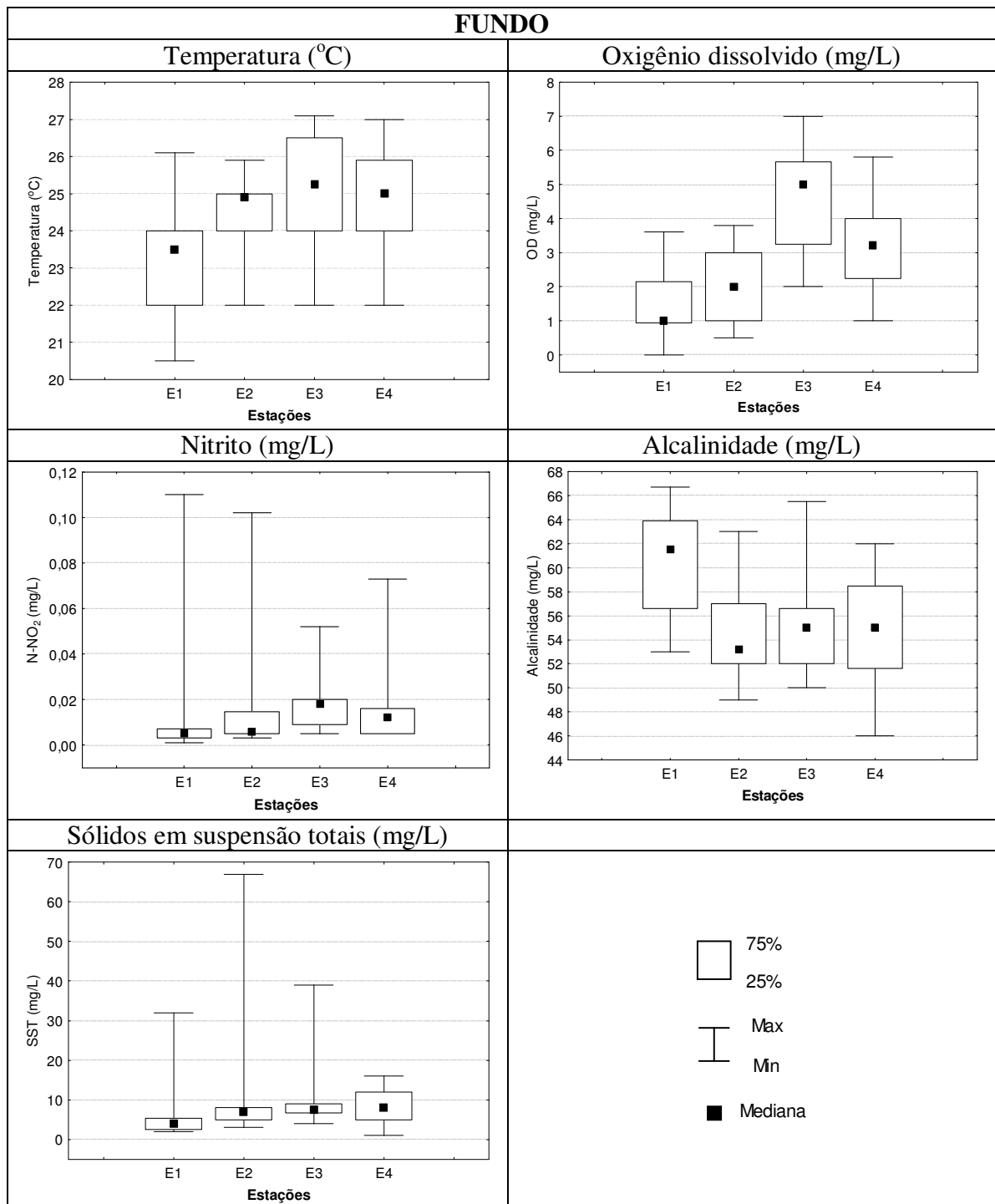


Figura 5.46 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 1 metro do fundo - período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

As concentrações dos parâmetros avaliados a um metro do fundo (Figura 5.46) que apresentaram diferenças significativas durante o período chuvoso foram temperatura, oxigênio dissolvido, nitrito, alcalinidade e sólidos em suspensão totais. A temperatura do fundo da estação 1 foi significativamente menor que a temperatura das estações 3 e 4 na mesma profundidade, como esperado já que esta é a estação mais profunda do reservatório.

Pelo mesmo motivo, a concentração de oxigênio dissolvido também foi significativamente menor no fundo da estação 1 do que no fundo das estações 3 e 4. Enquanto a concentração de OD da estação 2 foi significativamente menor que a medida no fundo da estação 3, possivelmente devido a maior profundidade da E2. Já a concentração de nitrito no fundo da estação 3 foi significativamente maior que a concentração medida na estação 1.

A alcalinidade da estação 1 no fundo foi significativamente maior (ao nível de significância de 5%) do que a medida no fundo das estações 3 e 4. Enquanto a concentração de SST foi significativamente menor nessa profundidade da estação 1 em relação às estações 3 e 4. Mais uma vez as diferenças observadas entre o fundo das estações podem ser devido às diferenças de profundidade.

Período seco

Analisando-se agora as diferenças entre as quatro estações nas profundidades amostradas durante o período seco, observa-se que na superfície, Secchi e 5 metros da superfície apenas os valores da concentração de ortofosfato foram significativamente diferentes (Figura 5.47). Na superfície e a 5 metros da superfície os valores medidos na estação 1 foram menores que os observados na E4. Já na profundidade do disco de Secchi a concentração de ortofosfato na estação 1 foi menor que a das estações 2 e 4.

Na comparação entre a profundidade do fundo das quatro estações (Figura 5.48), o parâmetro significativamente diferente no período seco foi o pH. O pH medido no fundo da estação 1 foi significativamente menor que o do fundo das estações 2 e 3.

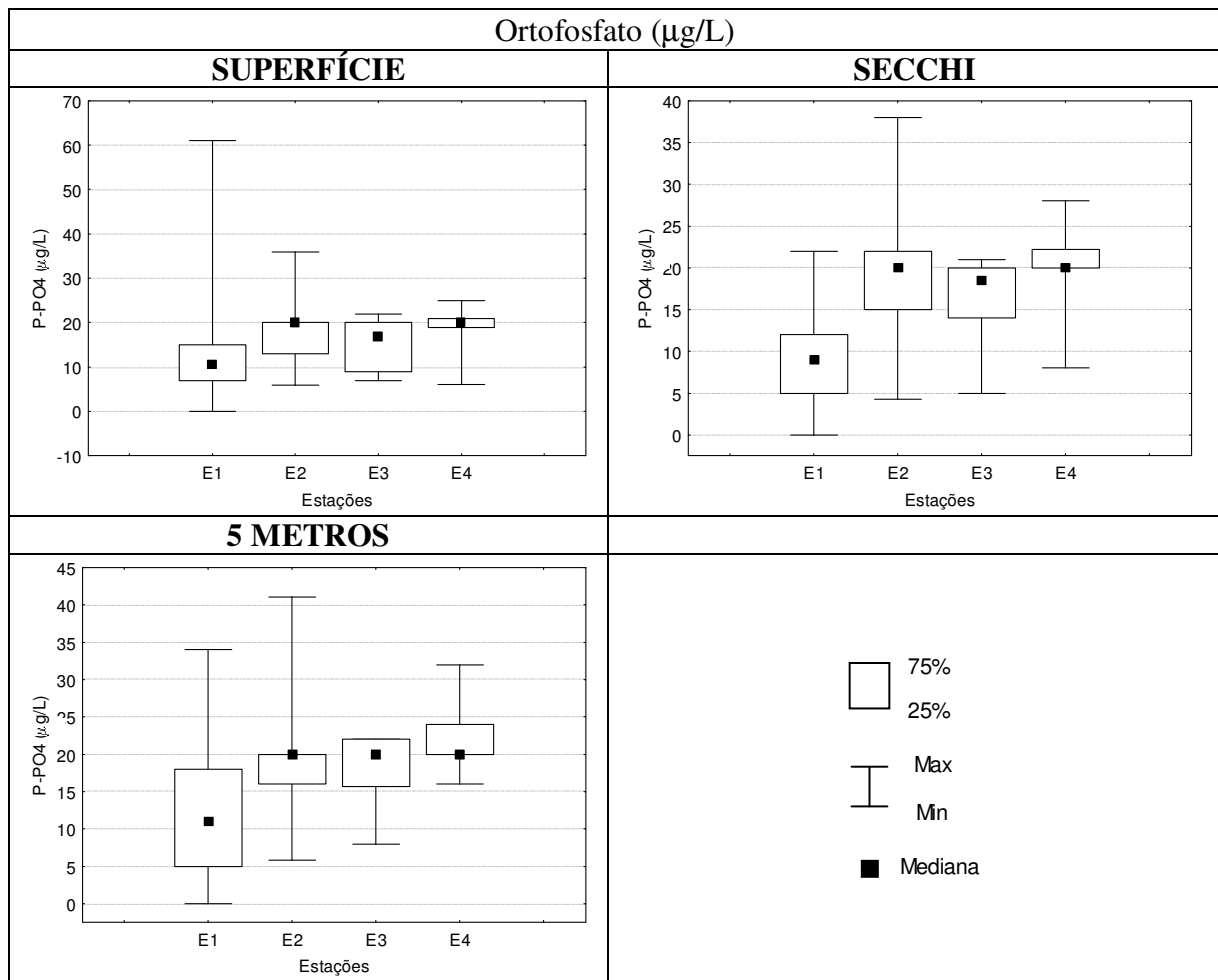


Figura 5.47 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade da superfície, Secchi e 5 metros- período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.

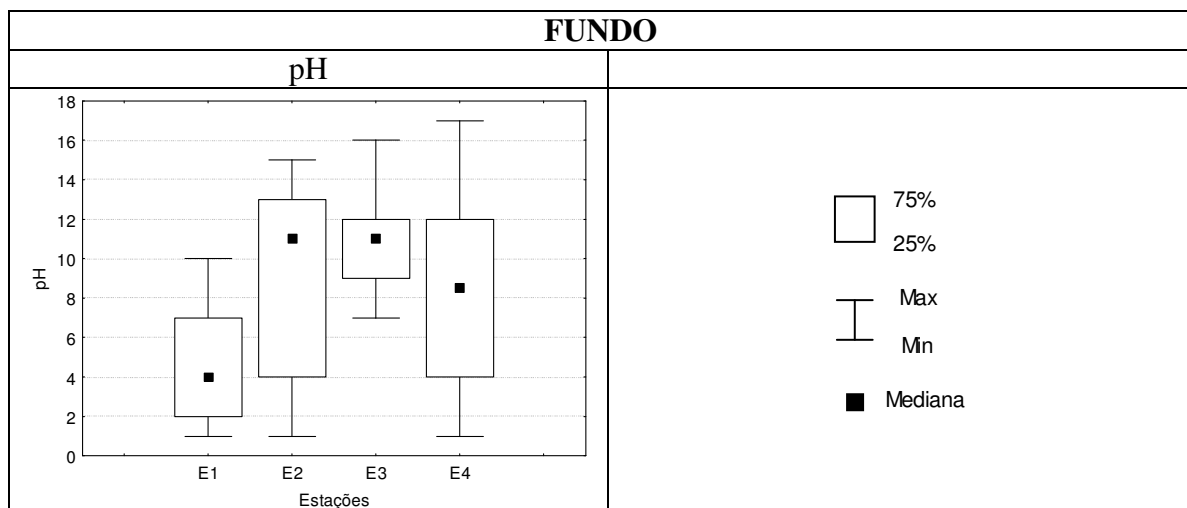


Figura 5.48 – Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, a 5 metros da superfície - período seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.

5.2.2 Parâmetros bióticos

5.2.2.1 Avaliação temporal das quatro estações de amostragem

A Figura 5.49 apresenta os gráficos do perfil de distribuição das cianobactérias no período de outubro/2004 a junho/2006 para as quatro estações.

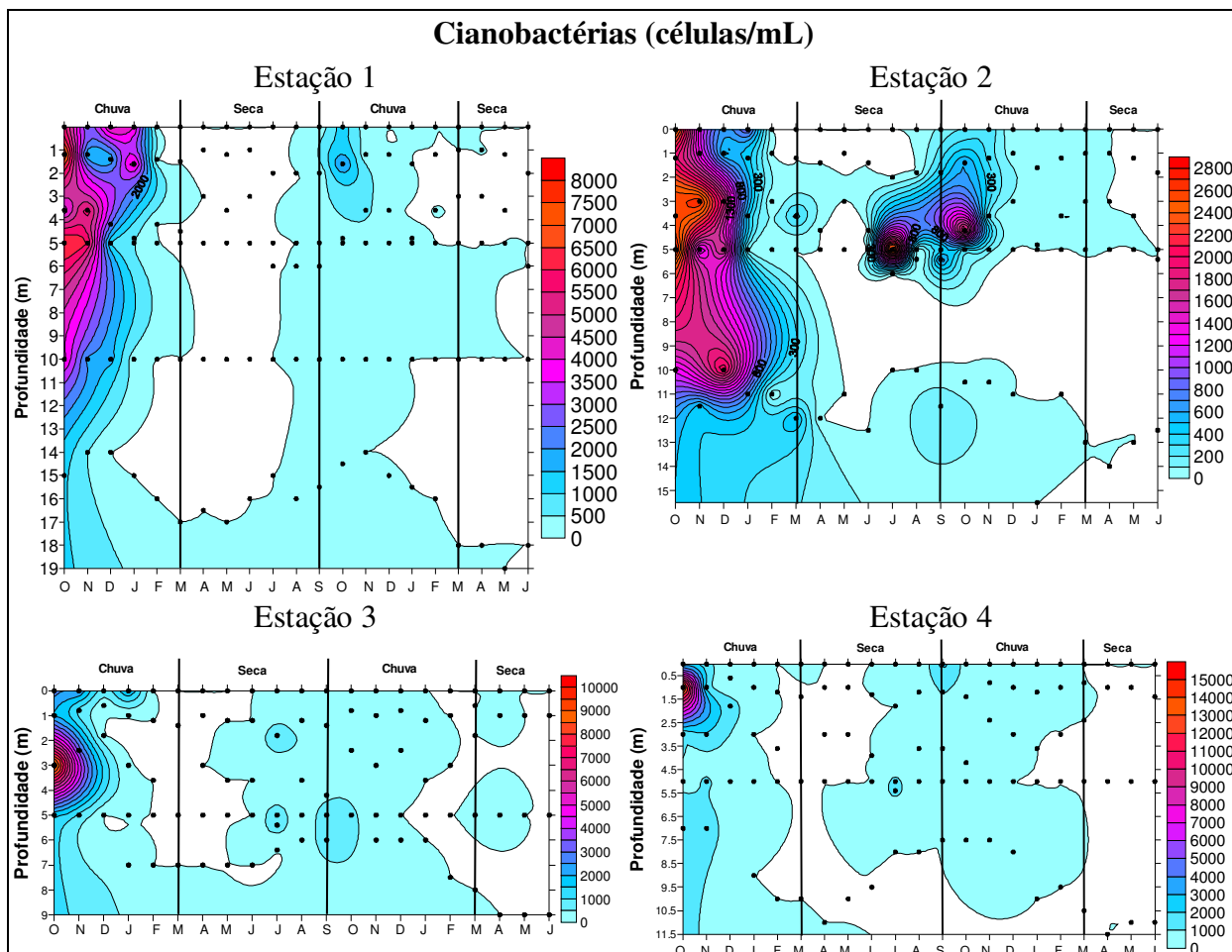


Figura 5.49 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água das estações amostrais 1, 2, 3 e 4 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a junho/2006.

Observa-se que as cianobactérias encontravam-se distribuídas na totalidade da coluna d'água durante o início do monitoramento (período chuvoso). A distribuição das cianobactérias ao longo da coluna d'água pode ser tanto devido à capacidade de regular sua flutuabilidade de acordo com as condições do ambiente, quanto à perda dessa característica, levando as colônias para o fundo (OLIVER e GANF, 2000). A espécie predominantes durante todo o período têm como característica a presença de aerótopos que possibilitam o controle da flutuação.

A ocorrência das cianobactérias observada no período compreendido entre outubro/04 e fevereiro/05 foi a mais expressiva durante o monitoramento das quatro estações (outubro/04 a junho/06). As espécies predominantes nesse evento pertenciam ao gênero *Microcystis*. No período chuvoso subsequente (setembro a dezembro de 2005) além de terem sido encontradas menores concentrações de células/mL somente a espécie *Sphaerocavum brasiliense* foi observada.

Com a continuidade do monitoramento realizado na estação 1 nova ocorrência de cianobactérias foi observada e dessa vez a espécie encontrada foi a espécie picoplânctônica *Aphanocapsa* sp.

A Figura 5.50 apresenta o perfil de distribuição das cianobactérias na estação 1 para todo o período monitorado para permitir uma melhor visualização do número de células observado na estação 1 durante a presença da *Aphanocapsa* sp (novembro/2006 a abril/2007).

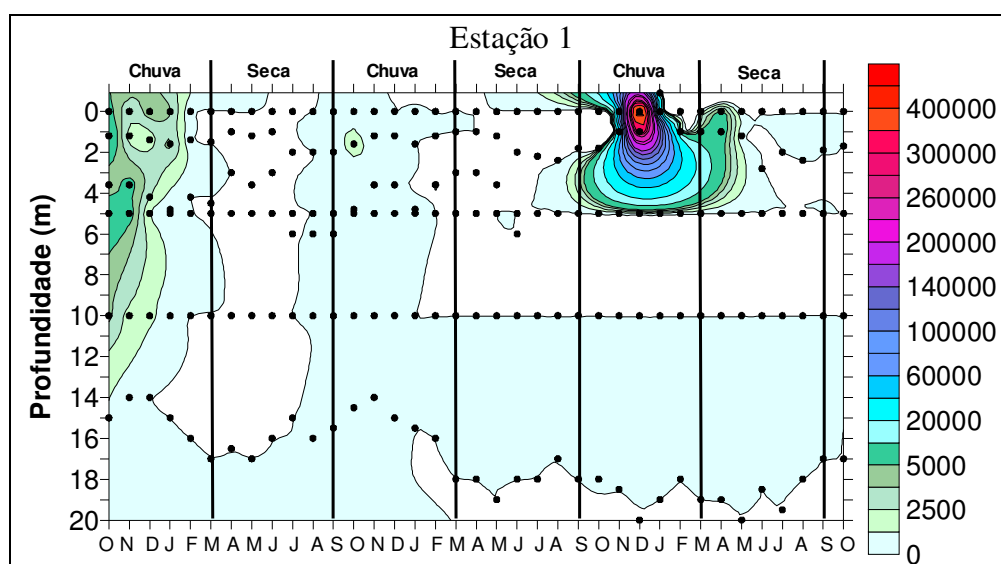


Figura 5.50 - Perfil da distribuição da concentração de cianobactérias (cél/mL) da coluna d'água da estação 1 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007.

Torna-se importante ressaltar que devido à variação no tamanho celular das cianobactérias (também dos outros grupos do fitoplâncton) encontradas durante o monitoramento (*Microcystis*: 5-6 μm , *Sphaerocavum*: 2,4-3,7 μm e *Aphanocapsa*: 0,5-3,0 μm), seria mais adequado o emprego do cálculo do biovolume para melhor comparação entre as concentrações nos três períodos de ocorrência. Em consequência disso, o elevado número de

células de *Aphanocapsa* (espécie picoplanctônica colonial) no último período de ocorrência não implica necessariamente em predominância dessa espécie como principal contribuinte da biomassa algal.

Porém, como a pesquisa esteve inserida no âmbito do Prosab, a escolha da quantificação das cianobactérias através da contagem do número de células foi feita para que as análises pudessem ser comparadas com as realizadas pelos outros grupos de pesquisa integrantes do Programa (edital-4). É importante mencionar que as medidas para o cálculo correto do biovolume devem ser feitas com cuidado, respeitando as variações sazonais, o ciclo de vida, local de coleta entre outros fatores, para que não hajam erros. Além disso, é recomendado que o biovolume seja calculado para cada novo experimento ou lote de amostras (Hillebrand et al., 1999).

Embora os gêneros predominantes de cianobactérias observados durante o monitoramento sejam todos característicos de ambientes meso eutróficos, a provável sucessão observada dentro do grupo pode estar relacionada com modificações do ambiente aquático, uma vez que esses gêneros apresentam características diferenciadas (STOCKNER *et al.* 2000, OLIVER e GANF, 2000). O predomínio de espécies picoplanctônicas (*Aphanocapsa* sp) em detrimento das anteriormente encontradas (*Microcystis* spp) pode vir a ser uma evidência desta alteração do ambiente. Contudo, uma discussão mais aprofundada acerca da sucessão das espécies de cianobactérias não será abordada no presente trabalho por não fazer parte do escopo original proposto.

Importante ressaltar que durante os períodos de ocorrência das cianobactérias foram realizados testes ELISA para detecção de microcistinas nas profundidades estudadas, mas os resultados durante o monitoramento foram negativos (abaixo do limite de detecção do teste). Contudo, no trabalho de Moreira *et al.* (2005) avaliando a presença de cianotoxinas em três reservatórios da região metropolitana de Belo Horizonte, foi detectada a concentração de 30mg/kg equivalentes de microcistina –LR (análise por HPLC) em amostra do séston proveniente da floração de cianobactérias (predominantemente *Microcystis aeruginosa*) ocorrida em Vargem das Flores no ano de 1999. Desta forma, a importante avaliação dos possíveis fatores responsáveis pela regulação da produção de cianotoxinas no ambiente não pode ser efetuada no presente estudo.

Para caracterização dos grupos do fitoplâncton encontrados no reservatório foi elaborado o Quadro 5.16, onde estão listados classes, famílias, gêneros e espécies encontrados durante o estudo. Foram gerados, ainda, gráficos apresentando a concentração total do fitoplâncton e da clorofila (Figuras 5.51a - 5.54a), a percentagem de distribuição dos principais grupos (Figuras 5.51b - 5.54b), além de gráficos mostrando a distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias encontrados na profundidade de extinção do disco de Secchi (Figuras 5.51c - 5.54c) para as quatro estações de amostragem.

Quadro 5.16 - Composição do fitoplâncton da represa de Vargem das Flores – Minas Gerais.

Classes, famílias, gêneros e espécies do fitoplâncton			
<u>Chlorophyceae</u>	<u>Cyanophyceae</u>	<u>Zygnemaphyceae</u>	<u>Cryptophyceae</u>
<i>Ankistrodesmus</i> sp	<i>Aphanocapsa</i> sp	<i>Closterium</i> sp	Cryptomonadaceae
<i>Botryococcus</i> sp	Chroococcales	<i>Cosmarium</i> sp	<i>Cryptomonas</i> sp
<i>C. fenestrata</i>	<i>Chroococcus</i> sp	Desmidiaceae	
<i>Coelastrum</i> sp	<i>Coelomoron</i> sp	<i>Euastrum</i> sp	<u>Dinophyceae</u>
<i>C. pulchrum</i>	<i>Microcystis</i> sp	<i>Mougeotia</i> sp	<i>Peridinium</i> sp
<i>C. reticulatum</i>	<i>M. aeruginosa</i>	<i>Staurastrum</i> sp	<i>P. cinctum</i>
Chlorococcales	<i>M. novacekii</i>	<i>S. excavatum</i>	
<i>Elakatothrix</i> sp	Nostocaceae	<i>S. leptocladum</i>	<u>Chrysophyceae</u>
<i>Eutetramorus. fottii</i>	<i>Radiocystis fernandoi</i>	<i>Spirotaenia</i> sp	<i>Dinobryon bavaricum</i>
<i>Kirchneriella contorta</i>	<i>Sphaerocavum brasiliense</i>		<i>Mallomonas</i> sp
<i>Monoraphidium</i> sp			
<i>M. arcuatum</i>	<u>Bacillariophyta</u>	<u>Euglenophyceae</u>	<u>Chlamydophyceae</u>
<i>Pediastrum simplex</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Euglena</i> spp	<i>Chlamydomonas</i> sp
<i>Scenedesmus</i> spp	Bacillariophyta	<i>Phacus</i> sp	
<i>Tetraedron</i> sp	<i>Cyclotella</i> spp	<i>Trachelomonas</i> sp	
<i>T. cf intermedium</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>T. armata</i>	
<i>T. gracile</i>	<i>Navicula</i> sp	<i>T. volvocina</i>	
<i>T. minimum</i>	<i>Synedra</i> spp		

Nota: as classes aparecem sublinhadas em negrito

Como observado no Quadro 5.16, foram identificados 55 taxa na comunidade do fitoplâncton durante o estudo. O grupo Chlorophyceae foi o mais importante em termos de número de espécie (33%), seguido pelas cianobactérias (18%). Embora não tenham sido representativos quanto ao número de espécies o grupo Bacillariophyta (11%) e os fitoflagelados (6%) predominaram no fitoplâncton durante o período de ausência das cianobactérias, como pode ser visualizado nos gráficos apresentados nas Figuras 5.51b a 5.54b, considerando a profundidade do disco de Secchi.

Nas Figuras 5.51a a 5.54a observa-se que a variação da concentração de clorofila-a esteve relacionada com a densidade do fitoplâncton, não sendo influenciada pelo predomínio de um grupo em particular.

No início do monitoramento (outubro/2004), as cianobactérias encontravam-se como grupo dominante do fitoplâncton principalmente nas estações 1 e 4 (Figuras 5.51b e 5.54b). Contudo, durante todos os períodos secos houve a predominância dos fitoflagelados e Bacillariophyta em momentos alternados. A sazonalidade das cianobactérias foi novamente confirmada, retornando sempre no início do período chuvoso.

A ausência do grupo das cianobactérias coincide com o período de desestratificação da coluna d'água. A relação entre a ocorrência das cianobactérias com o período de estratificação térmica da coluna d'água é evidenciada em muitos trabalhos (SHERMAN *et al.*, 1998, FIGUEREDO e GIANI, 2001, JONES, 1997). Como mencionado anteriormente, esse fato pode ser devido tanto à maior turbulência e transparência da coluna d'água, quanto à ocorrência de uma distribuição mais homogênea dos nutrientes nesse período, o que diminuiria as vantagens apresentadas pelas cianobactérias sobre os outros grupos do fitoplâncton.

No trabalho de Jardim (1999) em Vargem das Flores no período de agosto/97 a agosto/99 foi relatada uma alternância entre a presença das cianobactérias e as diatomáceas e algas verdes (Chlorophyceae). No presente estudo as espécies de Chlorophyceae estiveram presentes, ainda que em menor número, durante praticamente todo o período monitorado.

As Figuras 5.51c a 5.54c apresentam a ocorrência dos gêneros/espécies de cianobactérias predominantes. Como o monitoramento das estações 2, 3 e 4 não se estendeu além de junho de 2006, o gênero *Aphanocapsa* só foi observado na estação 1. Quando da ocorrência das

cianobactérias nos dois primeiros períodos, os gêneros *Microcystis* e *Spaerocavum* parecem ter se alternado na dominância, enquanto no terceiro episódio (estação 1) foi verificada apenas a presença de *Aphanocapsa* sp.

5.2.2.2 Determinação das diferenças significativas entre as quatro estações de amostragem

Os testes estatísticos (Kruskal-Wallis) não detectaram diferenças significativas entre as quatro estações, considerando todos os parâmetros bióticos nas diferentes profundidades amostradas. Sendo assim, não serão apresentados os gráficos “box-whisker”.

5.2.3 **Estudo das relações entre nutrientes e ocorrência de cianobactérias**

Buscando investigar possíveis relações entre os nutrientes e ocorrência de cianobactérias foram elaborados gráficos das concentrações ao longo do período monitorado (Figuras 5.51d a 5.54d e 5.51e a 5.54e). Em geral, o maior número de células de cianobactérias parece coincidir com as maiores concentrações das formas de fósforo e nitrogênio presentes ao final dos períodos secos. Essa relação parece mais evidente para a estação 1, ainda que não existam dados representativos de fósforo no período de maior ocorrência das *Microcystis*, já que o limite de detecção do método analítico adotado na época (20 µg/L) não permitiu detectar variações nas concentrações. Merece menção, ainda, a queda acentuada nas concentrações de fósforo observada no final do período de monitoramento (junho/07 para PO₄ e julho/07 para PT), como observado nas Figuras 5.40, 5.41 e 5.51d. O aumento da concentração de nutrientes como um dos principais fatores relacionados à ocorrência de cianobactérias vem sendo descrito na literatura por diversos autores (Giani *et al.*, 2005, Bouvy *et al.*, 2003, Oliver e Ganf, 2000, Hyenstrand *et al.*, 1998).

A relação N:P foi também investigada na tentativa de verificar se o seu valor influenciaria na presença das cianobactérias. Na Tabela 5.9 estão apresentados os valores da relação N:P na profundidade de extinção do disco de Secchi.

Embora a concentração de fósforo tenha aumentado na coluna d'água após a circulação, a relação N:P durante o período amostrado manteve-se acima de 16, variando de 16 a 2338 na estação 1, de 19 a 660 na estação 2, de 22 a 820 na estação 3 e de 15 a 439 na estação 4. Esses resultados indicam a irrelevância da relação N:P na ocorrência das cianobactérias nesse estudo. Segundo MUR *et al.* (1999), o crescimento das cianobactérias levando à formação de florações ocorrerá preferencialmente na presença de uma baixa relação N:P se comparado

com o crescimento das algas eucarióticas. Contudo, segundo Reynolds (1998) o uso d relação N:P para explicar o predomínio de determinado grupo do fitoplâncton torna-se difícil de justificar, uma vez que apenas o valor dessa relação não oferece informação suficiente para a interpretação da dinâmica do fitoplâncton. A concentração de cada nutriente encontra-se mais importante que a relação entre ambos. Além disso, deve-se levar em consideração o requerimento nutricional do grupo estudado, assim como a capacidade de assimilação desses nutrientes, juntamente com o nível de saturação encontrado para os nutrientes nas células das espécies ou grupos em estudo.

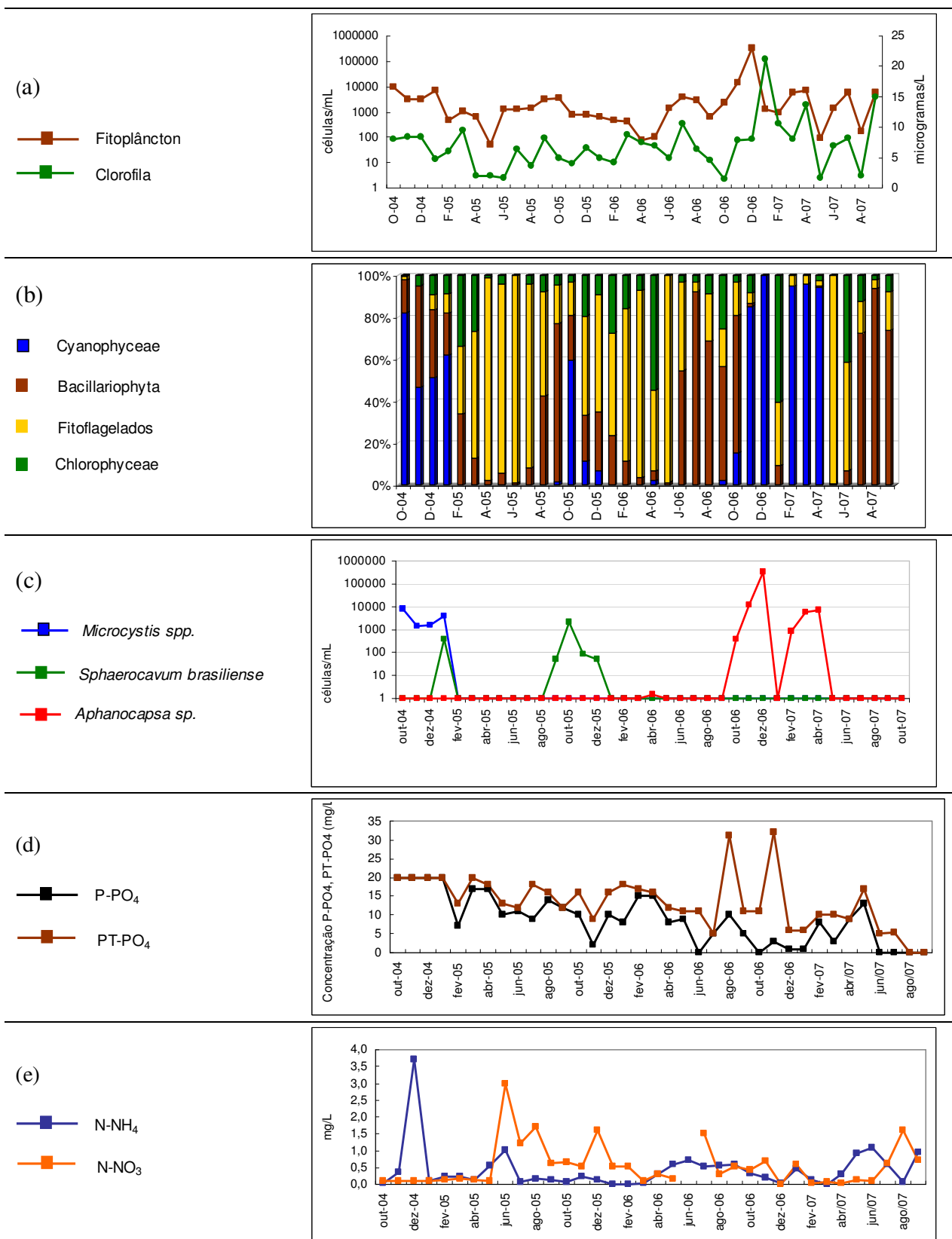


Figura 5.51 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 1** no período de outubro/04 a outubro/07. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

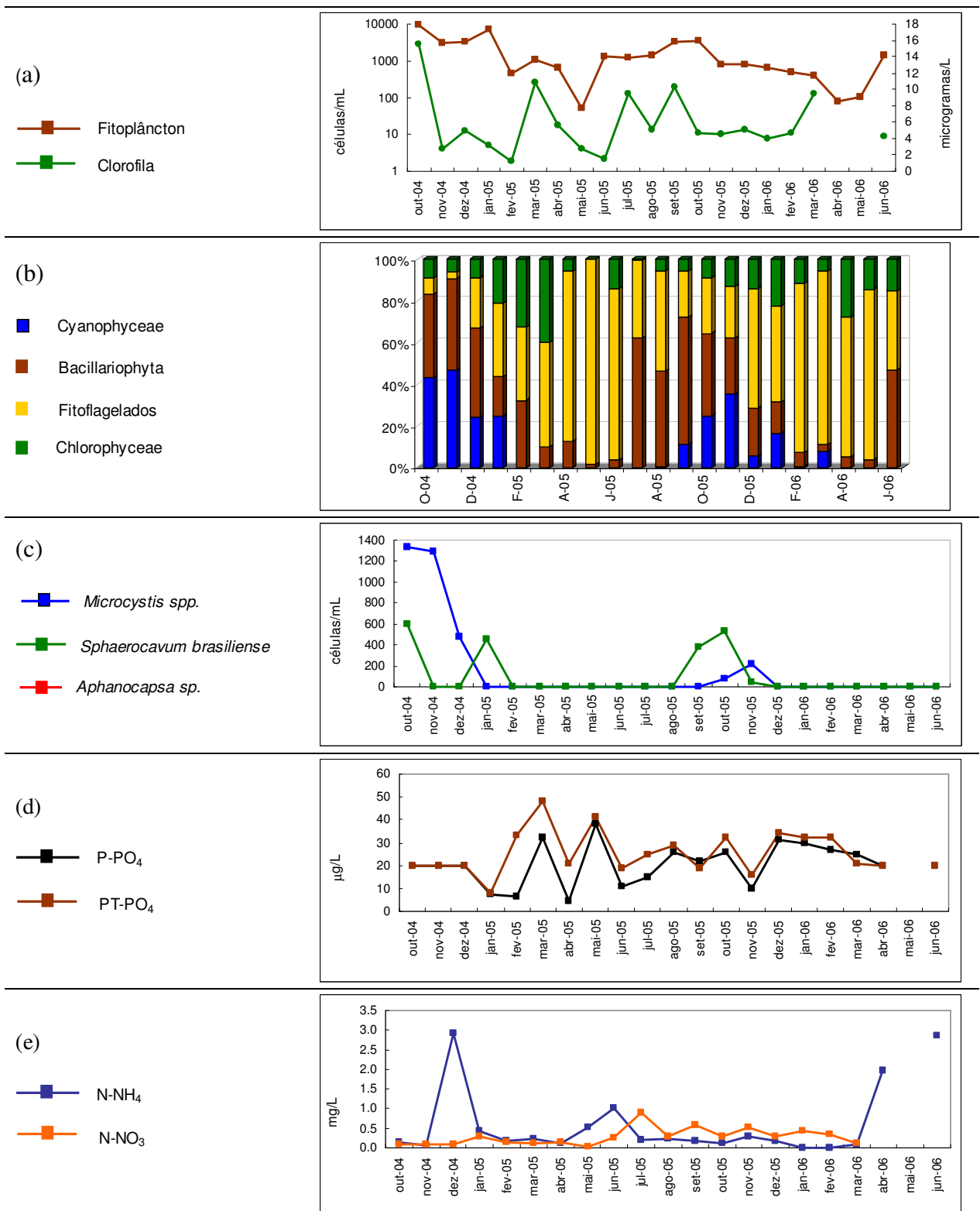


Figura 5.52 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 2** no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

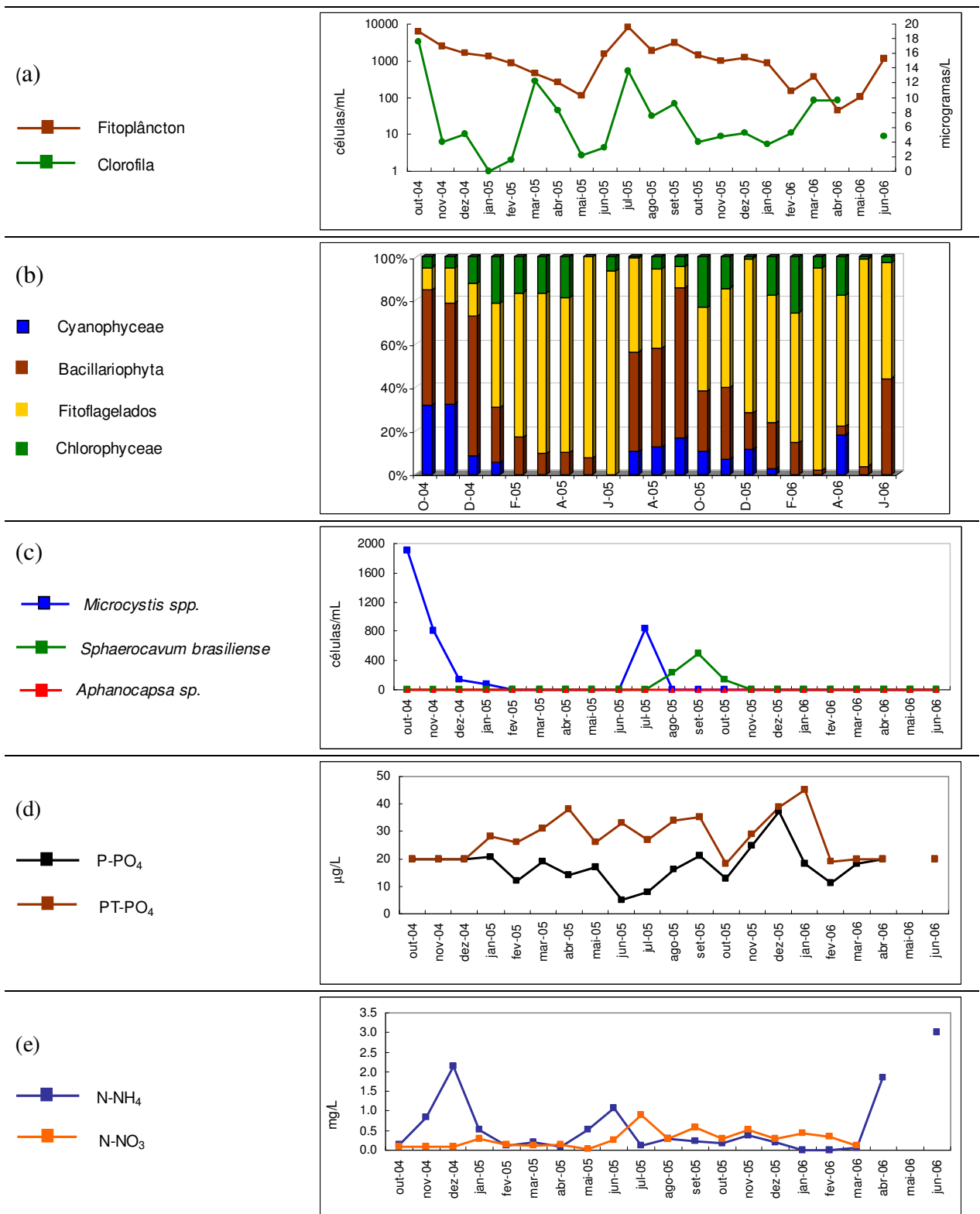


Figura 5.53 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 3** no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

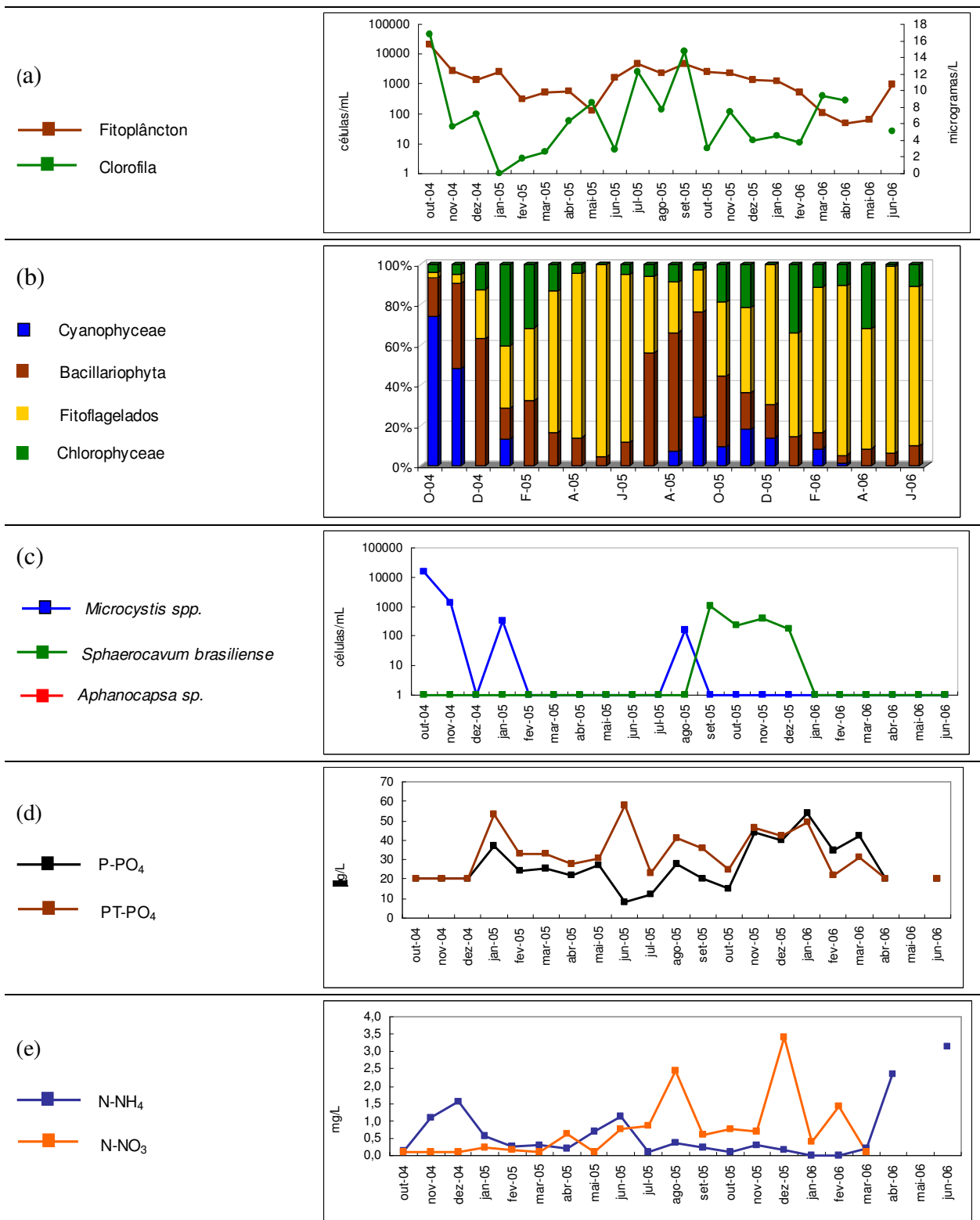


Figura 5.54 – Concentração total do fitoplâncton e clorofila (a), percentagem de distribuição dos principais grupos do fitoplâncton (b), distribuição dos principais gêneros/espécies de cianobactérias (c), concentração de ortofosfato e fósforo total (d) e concentração de amônia e nitrato (e) na profundidade do disco de Secchi na **estação 4** no período de outubro/04 a junho/06. Vargem das Flores/MG

Nota: (a) Chlorophyceae em indivíduos/mL. Escala logarítmica

Contudo, muitos trabalhos encontraram pouca evidência da importância da relação N:P na dominância das cianobactérias. É sugerido que mesmo quando é observado um aumento das cianobactérias em resposta a uma menor relação N:P, essa dominância poderá estar mais relacionada ao aumento da concentração de fósforo do que ao decréscimo da relação N:P (OLIVER e GANF, 2000).

Tabela 5.9 - Valores da relação N:P na profundidade de extinção do disco de Secchi das estações de amostragem – Vargem das Flores - MG.

Meses	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
janeiro-05	NR	209	81	45
fevereiro-05	113	108	55	39
março-05	53	25	38	34
abril-05	32	145	115	36
maio-05	148	33	82	66
junho-05	742	259	820	405
julho-05	316	165	273	174
agosto-05	259	45	383	291
setembro-05	141	76	86	92
outubro-05	167	35	161	130
novembro-05	844	182	98	49
dezembro-05	393	36	219	214
janeiro-06	148	34	52	18
fevereiro-06	67	30	286	22
março-06	21	19	22	15
abril-06	107	660	708	439
maio-06	192	124	161	161
junho-06	318	771	262	319
julho-06	901	NR	NR	NR
agosto-06	185	NR	NR	NR
setembro-06	510	NR	NR	NR
outubro-06	347	NR	NR	NR
novembro-06	658	NR	NR	NR
dezembro-06	16	NR	NR	NR
janeiro-07	2338	NR	NR	NR
fevereiro-07	45	NR	NR	NR
março-07	17	NR	NR	NR
abril-07	78	NR	NR	NR
maio-07	137	NR	NR	NR
junho-07	540	NR	NR	NR
julho-07	540	NR	NR	NR
agosto-07	747	NR	NR	NR
outubro-07	748	NR	NR	NR

Nota: NR: não realizado

5.2.4 Verificação da condição da qualidade da água do reservatório em termos da legislação ambiental

Para a verificação da condição da qualidade da água do reservatório foram analisados os valores dos parâmetros monitorados que constavam na Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama. Os limites especificados na resolução Conama foram avaliados para

cada um dos parâmetros em cada profundidade em todas as coletas mensais durante os três anos de estudo. Os percentuais de atendimento à resolução Conama 357/2005 estão apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Percentual de atendimento aos padrões de qualidade da água preconizados pela Resolução Conama 357/05 para águas doces de Classe 2.

Parâmetros	E1					E2				E3				E4			
	Sup.	Sec.	5m	10m	Fun.	Sup.	Sec.	5m	Fun.	Sup.	Sec.	5m	Fun.	Sup.	Sec.	5m	Fun.
OD > = 5,0mg/L	78	75	71	26	12	83	83	70	13	83	75	83	54	79	75	71	29
N-NH ₄ 3,7mg/L (pH < = 7,5)	100	100	100	100	100	100	100	100	94	100	100	100	100	100	100	100	100
N-NH ₄ 2,0mg/L (7,5 < pH < = 8,0)	100	95	96	93	100	92	88	86	86	86	82	81	77	71	85	79	92
N-NH ₄ 1,0mg/L (8,0 < pH < = 8,5)	83	100	100	**	**	57	67	100	**	83	100	100	100	100	80	100	**
N-NO ₂ 1mg/L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N-NO ₃ 10mg/L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P total 0,030mg/L	100	94	97	97	75	80	68	64	52	72	72	76	48	60	52	48	48
Turbidez 100uT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cloretos 250 mg/L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6,0 < pH < = 9,0	100	100	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ciano: 50.000 cel/mL	94	97	97	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cl-a: 30 mg/L	100	100	NR	NR	NR	100	100	NR	NR	100	100	NR	NR	100	100	NR	NR

Nota: Não foram medidos valores de pH < 8
NR – não realizado

Observa-se que na superfície grande parte dos parâmetros atendem em 100% aos padrões de qualidade estabelecidos pelo Conama. No entanto, a qualidade da água vai se deteriorando com o aumento da profundidade, comportamento observado em todas as estações.

Os valores de oxigênio dissolvido em todas as estações foram os que apresentaram os menores índices de atendimento ao padrão de 5,0 mg/L. Isto pode ser atribuído, em parte, à circulação da massa d'água observada no período seco que pode carrear maiores concentrações de compostos redutores presentes no fundo. Este comportamento pode ser visualizado com clareza nos gráficos do perfil de distribuição de OD apresentados na Figura 5.38. As concentrações de fósforo total medidos em todas as estações também apresentaram baixos índices de atendimento ao padrão de 0,30 mg/L. Os limites determinados para o nitrogênio amoniacal, na faixa de pH entre 7,5 e 8,0, tiveram o maior percentual de violação em praticamente todas as profundidades. A não conformidade das concentrações de amônia ocorreu sempre nos períodos chuvosos. Como esperado, a estação 4 que recebe a contribuição direta do ribeirão Betim apresentou os piores resultados, considerando as concentrações de nutrientes estabelecidas na Resolução Conama.

As violações ao padrão preconizado para cianobactérias da estação 1 aconteceram no período de ocorrência do gênero *Aphanocapsa*.

5.3 Análise de Agrupamentos

A análise de agrupamentos foi realizada numa tentativa de evidenciar os grupos de pontos similares, considerando as características limnológicas e sanitárias das quatro estações de monitoramento. Diante da heterogeneidade presente nas diversas profundidades, como evidenciado nas avaliações anteriores, optou-se por efetuar análises considerando as seguintes abordagens:

- Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades, nos períodos chuvoso e seco;
- Análise individual dos dados das quatro estações em cada profundidade, nos períodos chuvoso e seco.

5.3.1 Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades

A Figura 5.55 apresenta os dendogramas obtidos a partir das análises hierárquicas de agrupamento de todos os dados obtidos nas quatro profundidades das quatro estações. Observa-se que foi utilizada uma escala padronizada no eixo das ordenadas do dendograma, que considera o percentual relativo à razão entre a distância observada e a distância máxima dos dados. Pequenos coeficientes indicam que agrupamentos mais homogêneos estão sendo formados.

Avaliando-se o período chuvoso, as estações 2 e 3 apresentaram características semelhantes, formando o primeiro agrupamento, que considera as menores distâncias euclidianas ($(D_{link}/D_{max}) \times 100 < 85$), como pode ser visto na Figura 5.55. No período seco, as estações 3 e 4 foram associadas, seguindo um ordenamento que pode ter sido definido pelo nível de poluição, já que estas recebem a contribuição direta do córrego Água Suja e do ribeirão Betim, respectivamente.

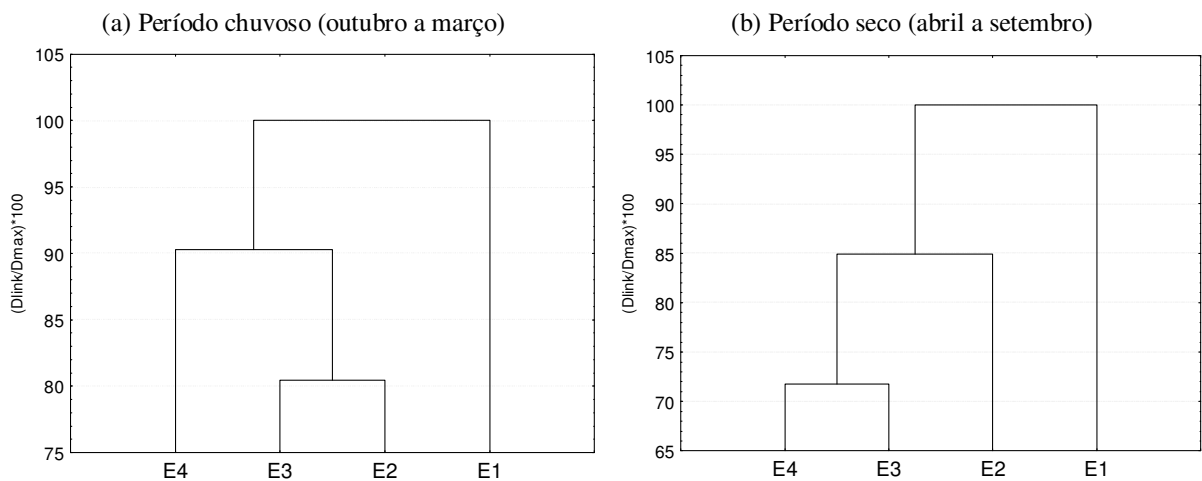


Figura 5.55 - Dendrograma das estações de amostragem distribuídos ao longo das profundidades, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante.

A Figura 5.56 mostra a localização dos agrupamentos no reservatório.

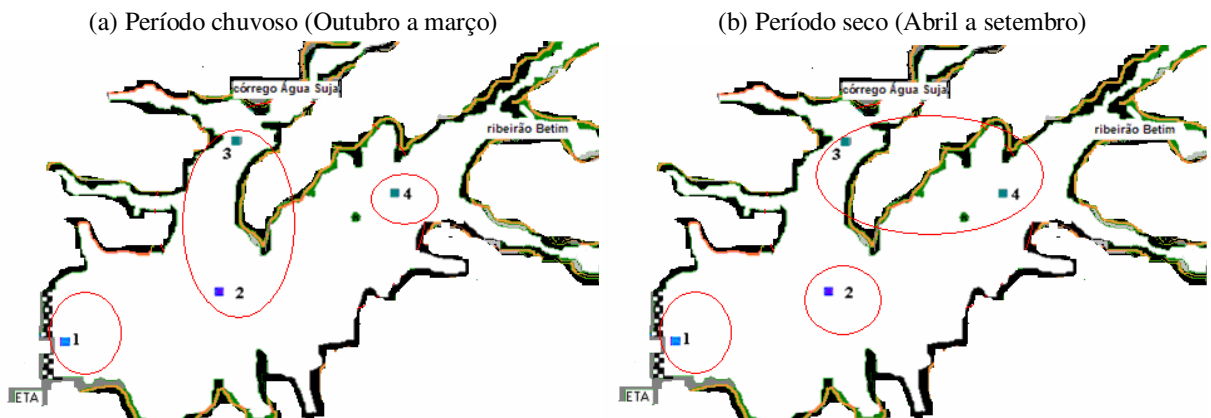


Figura 5.56 - Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando os períodos (a) chuvoso e (b) seco.

No entanto, numa distância euclidiana maior ($(D_{link}/D_{max}) \times 100 > 85$), verifica-se que a qualidade da água na região de afluência do ribeirão Betim (E4) é semelhante nas estações E2 e E3, considerando o período chuvoso, enquanto que a estação 1 continua isolada, provavelmente por apresentar menor impacto antropogênico e, portanto, melhor qualidade. As três estações (2, 3 e 4) mostram qualidade semelhante também no período seco, quando se considera a distância euclidiana maior (Figura 5.57).

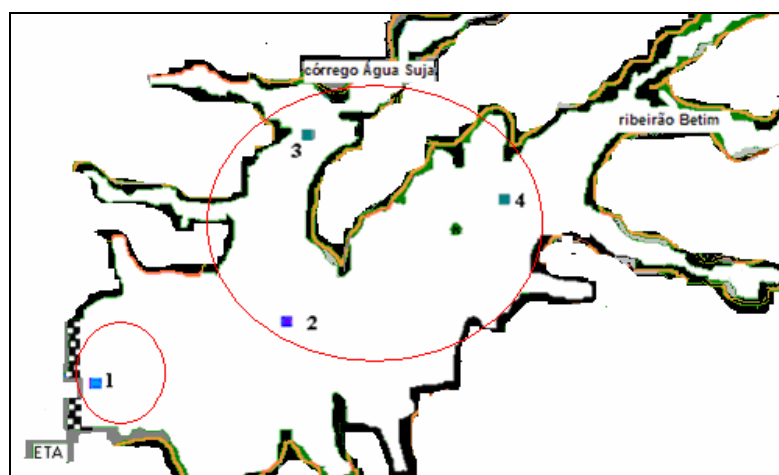


Figura 5.57 -Agrupamentos das estações com qualidade de água semelhante, considerando ambos os períodos numa distância euclidiana maior ($(D_{link}/D_{max}) \times 100 > 85$).

5.3.2 Análise de agrupamentos - Superfície

A Figura 5.58 apresenta os dendogramas obtidos a partir das análises hierárquicas de agrupamento para os pontos de amostragem distribuídos ao longo da superfície das quatro estações, nos períodos chuvoso e seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.

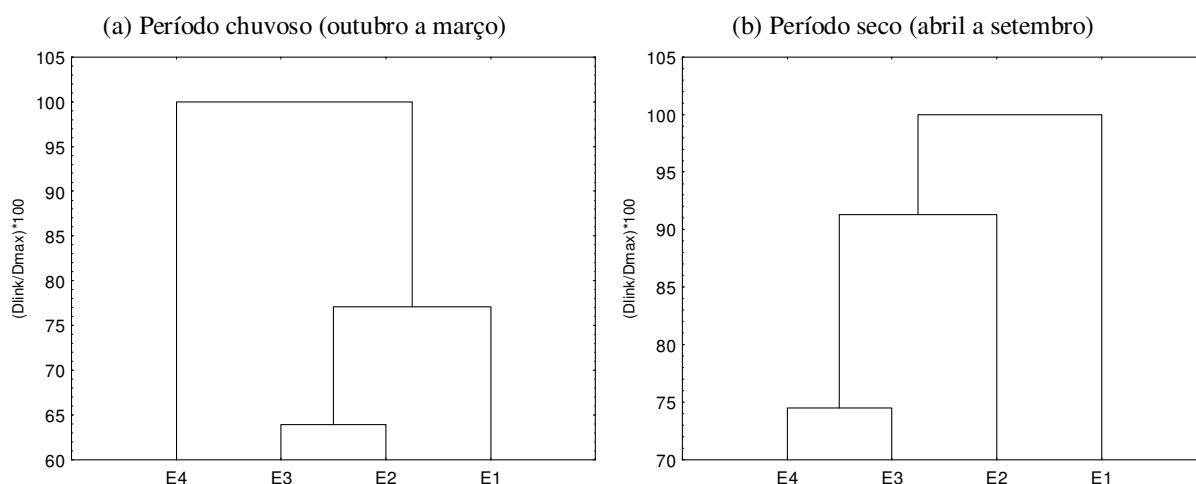


Figura 5.58 - Dendograma das estações de amostragem distribuídos ao longo da **superfície**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.

Os agrupamentos formados na superfície foram diferentes daqueles observados quando se considerou todas as profundidades. Aqui, a estação 4, no período chuvoso, apresentou características distintas de todas as outras, comportamento não observado quando se comparou estatisticamente as concentrações de todos os parâmetros individualmente (item 5.2.1). Uma

hipótese aventada para explicar essa diferença seria a influência do ribeirão Betim, principal contribuinte do reservatório, aumentada em função das chuvas do período. Já as estações 2 e 3 apresentaram a mesma similaridade observada nas análises estatísticas anteriores. Já no período seco, os mesmos agrupamentos foram observados quando se analisou todas as profundidades (Figuras 5.55 e 5.58).

5.3.3 Análise de agrupamentos - Secchi

A Figura 5.59 mostra os agrupamentos obtidos pelas estações de amostragem distribuídos ao longo da profundidade de Secchi, nos períodos chuvoso e seco.

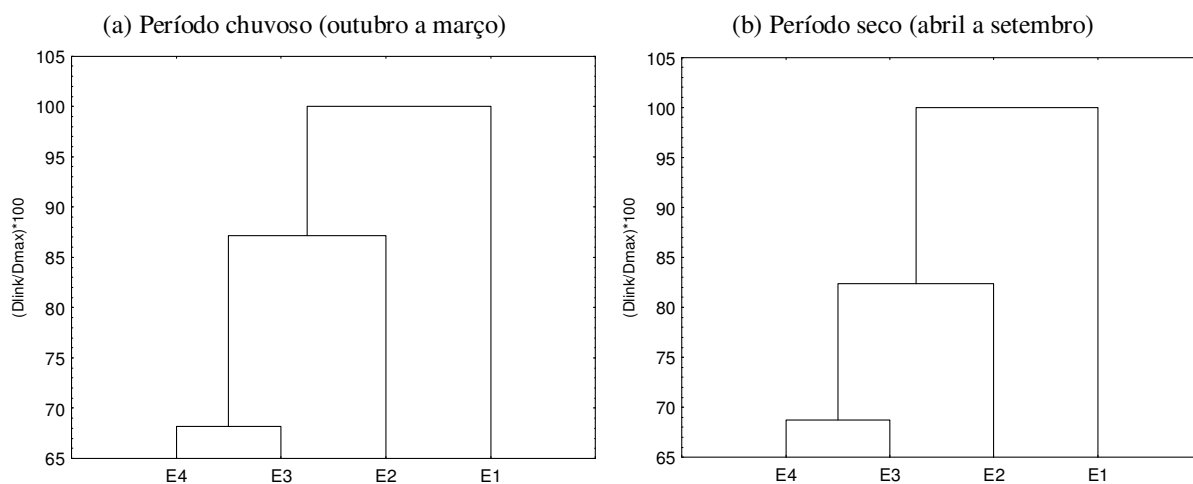


Figura 5.59 - Dendrograma das estações amostragem distribuídos ao longo da profundidade de **Secchi**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de estações com qualidade de água semelhante.

Na profundidade de Secchi quase nenhuma diferença foi observada nos agrupamentos quando foram analisados os períodos chuvoso e seco. Ressalta-se, ainda, que as associações foram idênticas àquelas observadas no dendrograma das estações de amostragem distribuídos ao longo de todas as profundidades, durante o período seco.

5.3.4 Análise de agrupamentos – 5 metros

Os dendogramas obtidos na análise de agrupamento para os pontos de amostragem a cinco metros são apresentados na Figura 5.60.

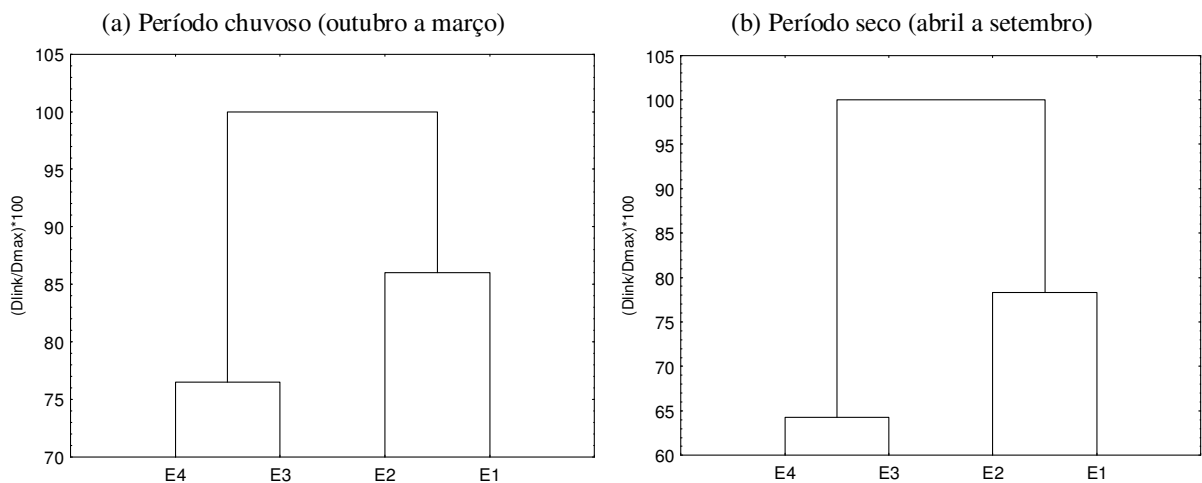


Figura 5.60 - Dendograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo da profundidade de **5 metros**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante.

Nesta análise foram observados agrupamentos semelhantes aos observados na avaliação anterior (para 5 metros). Merece destaque, no entanto, a similaridade das estações 3 e 4, ainda mais evidente no período seco.

5.3.5 Análise de agrupamentos - Fundo

A Figura 5.61 apresenta os dendogramas obtidos a partir das análises hierárquicas de agrupamento dos dados obtidos no fundo das quatro estações.

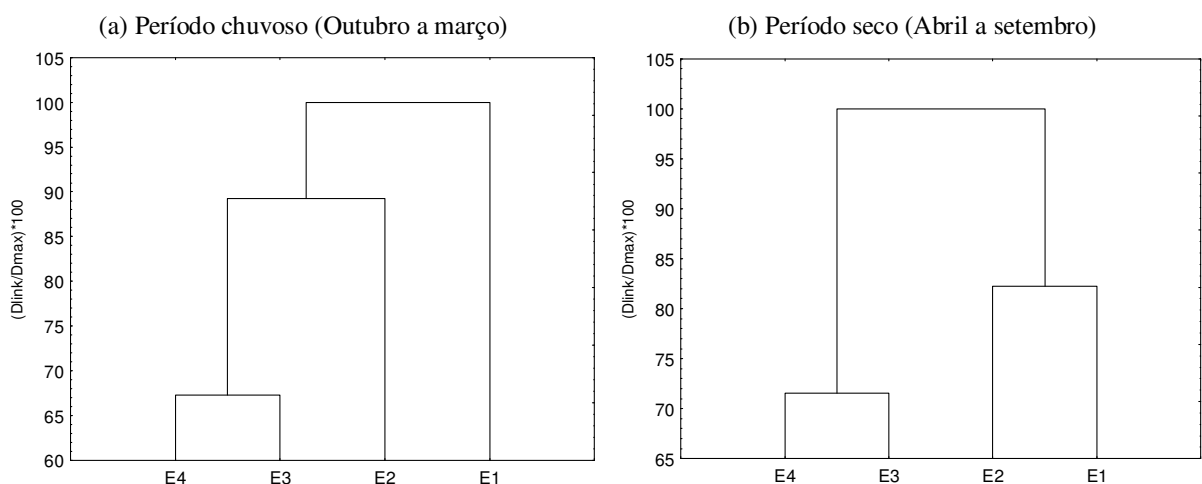


Figura 5.61 - Dendograma dos pontos de amostragem distribuídos ao longo do **fundo**, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco, mostrando os agrupamentos de pontos com qualidade de água semelhante.

O fundo do reservatório a estação 1, considerando o período chuvoso, mostra características completamente distintas das outras, como evidenciado nas análises estatísticas apresentadas no

item 5.2.1. Observou-se que a temperatura, concentração de OD, nitrito, alcalinidade e SST foram estatisticamente diferentes das outras estações. A maior profundidade da estação 1, ocasionando a estratificação mais definida da coluna d'água, foi provavelmente o fator determinante das diferenças observadas. No entanto, no período seco, as estações 1 e 2 foram agrupadas, ainda que a uma distância euclidiana maior que a observada para as estações 3 e 4. Isto pode ser atribuído tanto à circulação da massa d'água nesse período, quanto à profundidade das estações, maior nas estações 1 e 2 e menor nas E3 e E4.

As duas abordagens adotadas para as análises de agrupamento mostraram que a estação 1 apresenta comportamento diferenciado das demais, provavelmente por não sofrer influência direta da entrada de material alóctone. Em contrapartida, as estações 3 e 4 foram associadas em quase todas as profundidades, parecendo seguir um ordenamento possivelmente definido pelo nível de poluição, já que estas recebem a contribuição direta de córregos poluídos. Desta forma, pode-se evidenciar o processo de autodepuração do reservatório com melhoria da água no sentido montante para jusante.

5.4 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais também foi efetuada de forma conjunta para as quatro estações e individualmente para cada profundidade, numa tentativa de identificar os possíveis fatores bióticos e abióticos associados à ocorrência das cianobactérias no manancial.

Assim, a ACP foi aplicada aos dados para avaliar a associação entre 19 variáveis (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*), considerando os períodos chuvoso e seco separadamente.

5.4.1 Análise conjunta das quatro estações nas quatro profundidades

Existem diversos critérios para identificar o número de CPs a ser mantido para entendimento da estrutura dos dados (Hair et al., 2005). Aqui foi aplicado o critério do teste *scree* para identificar o número ótimo de fatores que podem ser extraídos antes que a quantia de variância única comece a dominar a estrutura da variância comum. A Figura 5.62 exhibe os autovalores extraídos do estudo e pode ser observado que o ponto no qual o gráfico apresenta uma alteração na taxa de inclinação é indicativo do número máximo de fatores a serem extraídos. Os componentes

principais foram extraídos pela diagonalização da matriz de correlação e a Tabela 5.10 sumariza os resultados, incluindo os carregamentos (correlação de cada variável com o componente principal) e os autovalores (eigenvalues) de cada componente principal (CP). A quantidade de variância (isto é, informação) coberta por cada componente principal (também mostrada na Tabela 5.10) depende do valor relativo de seu autovalor com respeito à soma total dos autovalores.

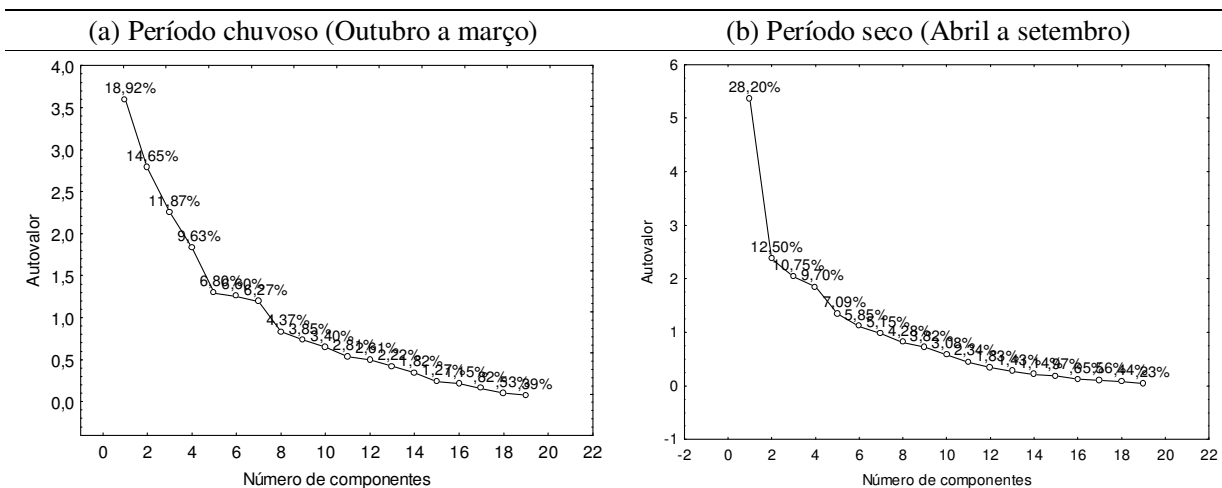


Figura 5.62 - Gráfico de autovalor para determinação do número de componentes principais pelo critério do teste scree, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

Portanto, os cinco fatores iniciais foram considerados qualificados para as análises referentes ao período chuvoso, sendo responsáveis pela explicação de cerca de 62% da variância ou informação contida no conjunto de dados originais. Para o período seco, os cinco fatores iniciais que foram considerados qualificados, explicaram cerca de 71% da variância total do dados.

O valor absoluto de cada carregamento (o sinal depende do algoritmo utilizado para cálculo) é um indicativo da participação das variáveis nos componentes principais (CP1 a CP5) e, na Tabela 5.11, as contribuições máximas alcançadas por cada variável original são apresentadas em **negrito**.

Tabela 5.11– Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas nas **quatro profundidades** nas quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período de chuva (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	-0,265	0,253	-0,576	0,489	0,201	0,627	0,356	-0,306	-0,188	-0,106
OD	0,614	0,121	-0,378	0,358	0,118	-0,749	-0,080	-0,113	-0,061	-0,431
N-NH4	0,261	0,063	-0,069	-0,531	0,554	0,394	-0,525	0,132	0,278	-0,201
N-NO3	-0,192	-0,723	-0,027	0,067	-0,102	-0,497	-0,396	0,442	-0,217	-0,283
P-PO4	-0,308	-0,122	0,588	0,322	0,439	0,301	0,379	0,359	-0,437	-0,204
P-PT	-0,453	-0,181	0,312	0,474	0,358	0,232	0,229	0,254	-0,406	0,155
Turb.	0,146	0,088	0,585	-0,232	0,133	0,598	0,434	0,408	0,195	0,261
Cor	-0,099	0,627	0,303	-0,271	-0,072	0,801	0,138	0,174	0,220	-0,169
Alc.	0,552	-0,353	-0,116	-0,386	0,231	0,226	-0,292	0,286	0,738	0,165
Cl	0,288	-0,607	-0,075	-0,150	-0,226	-0,438	-0,264	0,486	-0,350	0,266
Cond	-0,081	-0,829	-0,086	-0,060	0,046	-0,224	-0,026	0,664	-0,313	0,262
pH	0,324	0,156	-0,682	0,173	-0,032	-0,797	0,286	-0,073	0,079	0,136
SST	0,381	0,167	0,179	0,404	0,188	0,077	0,609	-0,033	-0,185	-0,412
Ciano	0,710	0,180	0,308	0,324	0,038	-0,260	0,673	0,367	0,341	0,228
Bac	0,850	-0,043	0,217	-0,018	0,051	-0,796	0,268	0,001	0,236	-0,003
Fito	0,232	-0,625	0,134	0,237	0,134	-0,718	-0,122	-0,035	-0,120	0,051
Chloro	0,655	-0,121	-0,036	0,245	-0,019	-0,474	0,085	0,207	0,373	-0,083
Zoo	0,112	0,094	-0,351	-0,314	0,558	0,190	-0,063	0,623	0,165	-0,637
Cl-a	0,588	0,132	0,374	0,047	-0,313	-0,666	0,498	-0,023	0,284	-0,210
Autovalores	3,60	2,75	2,30	1,80	1,29	5,36	2,37	2,04	1,84	1,35
% de variância explicada	18,93	14,49	12,13	9,47	6,79	28,20	12,50	10,75	9,70	7,09
% cumulativo de variância	18,93	33,42	45,55	55,02	61,81	28,20	40,70	51,45	61,15	68,24

Como pode ser visto pela Tabela 5.11, para os resultados referentes ao período de chuva, o componente principal 1 (CP1) explica 18,9% da variância e tem a contribuição das variáveis OD, alcalinidade, cianobactérias, Bacillariophyta, Chlorophyceae e clorofila *a*. O CP1 foi denominado componente “biomassa algal”, ainda que não contenha os fitoflagelados e o CP 2 de componente “matéria orgânica”. O CP2 explica 14,5% da variância e tem, principalmente, a participação positiva do parâmetro cor e negativa das variáveis N-NO₃, cloreto, condutividade e fitoplâncton. O CP3 (12,13% da variância) inclui o fosfato, turbidez e a contribuição negativa do pH. Já o CP4 (9,47%) é negativamente relacionado com a temperatura, fósforo total, SST e, positivamente, com o zooplâncton. Finalmente, o CP5 (6,8%) tem a contribuição negativa do N-NH₄.

Os resultados referentes ao período seco mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 28,2% da variância e tem a contribuição positiva das variáveis T, turbidez e cor, e negativa de OD, pH, Bacillariophyta, fitoflagelados, Chlorophyceae e clorofila *a*. O CP2 explica 12,50% da

variância e tem, principalmente, a participação positiva dos SST e da cianobactérias e negativa da amônia. O CP3 (10,75% da variância) inclui o Cl e condutividade. Já o CP4 (9,70%) é positivamente relacionado com a alcalinidade e negativamente relacionado com o ortofosfato e o fósforo total. Finalmente, o CP5 (7,09%) tem a contribuição negativa do zooplâncton.

A Figura 5.63 que se segue apresenta um gráfico de dispersão das duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis, o que facilita a visualização espacial da partição dos dados e reflete os principais agrupamentos do conjunto de dados.

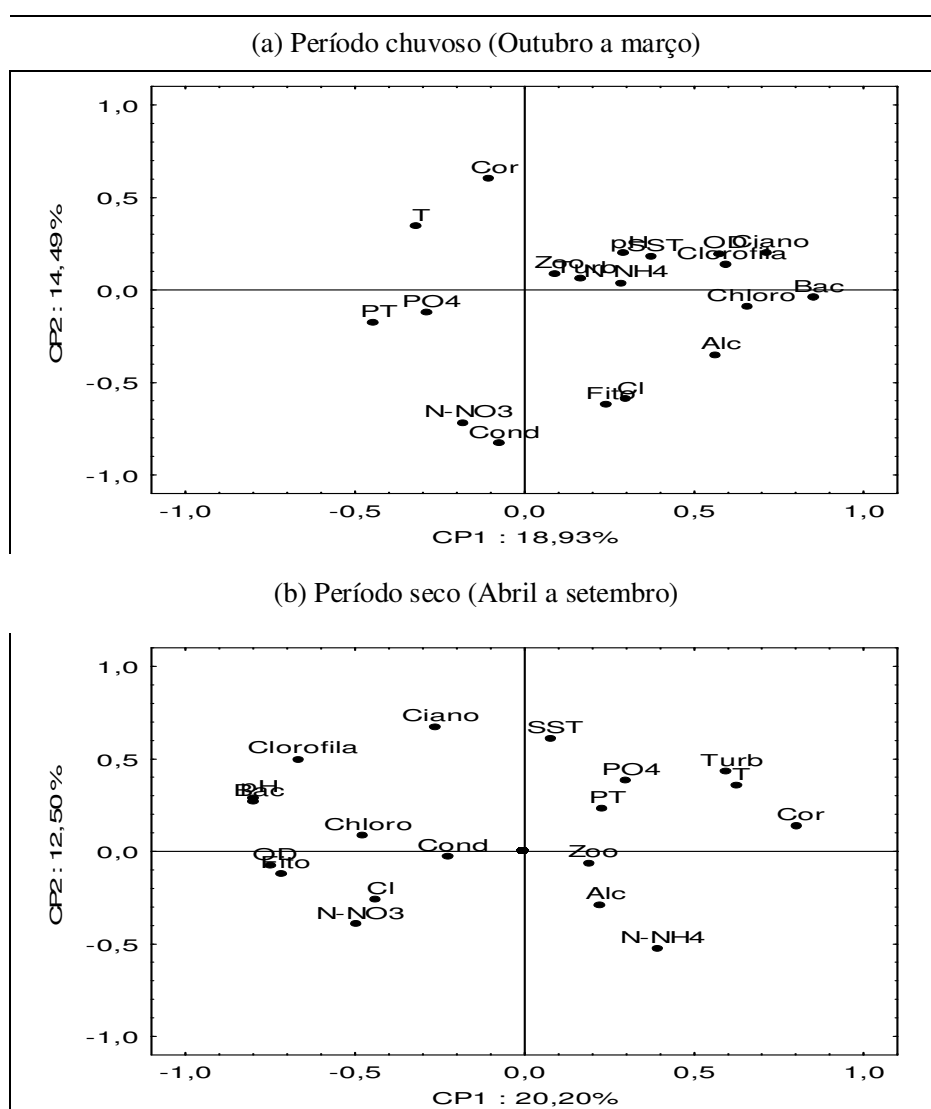


Figura 5.63 - - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos **nas quatro profundidades** nas quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

Destaca-se que a presença de cianobactérias no período seco ocorre nos meses de transição, ao final do período seco.

No período chuvoso as cianobactérias se mostraram positivamente relacionadas ao fitoplâncton (biomassa algal), comportamento confirmado pelos valores significativos dos coeficientes de Spearman entre Ciano e Bac (0,53), Ciano e Chloro (0,24), Ciano e Cl-a (0,21), apresentados na Tabela B1 do Apêndice B. Outras correlações positivas significativas foram observadas entre as cianobactérias e OD, NH₄, pH e SST. Foi observada, também, uma correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de nitrato, ortofosfato e fósforo total. A correlação negativa da ocorrência de cianobactérias com as concentrações de fósforo total foi encontrada, provavelmente, devido aos baixos valores de fósforo total medidos no últimos meses do monitoramento realizado apenas na estação 1.

No período seco, um novo cenário se apresentou, mostrando fortes associações do OD com os fitoflagelados (biomassa fitoplânctônica predominante). Ressalta-se que as cianobactérias ocorreram apenas em alguns poucos meses neste período, não sendo pertinente extrair maiores conclusões.

5.4.2 Análise de componentes principais – Superfície

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na superfície das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.12.

Os resultados referentes à superfície no período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 18,98 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis OD, Alc, Ciano, Bac, Chloro, Cl-a, e negativa de PT. O CP2 explica 14,39 % da variância e tem, principalmente, a participação positiva da cor e negativa da NO₃, Cl, Cond e Fito. Já no período seco o CP1 explica 32,96 % da variância com contribuição positivas das variáveis T, Turb, e cor, e negativa do OD, CL, pH Bac, Fito e Cl-a. O CP2 explica 13,72 % com participação apenas negativa das variáveis do PT e das Ciano.

Também neste caso, o CP1 foi denominado componente “biomassa algal” e o CP2 de componente “matéria orgânica”. A correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de nitrato, ortofosfato e fósforo total se manteve.

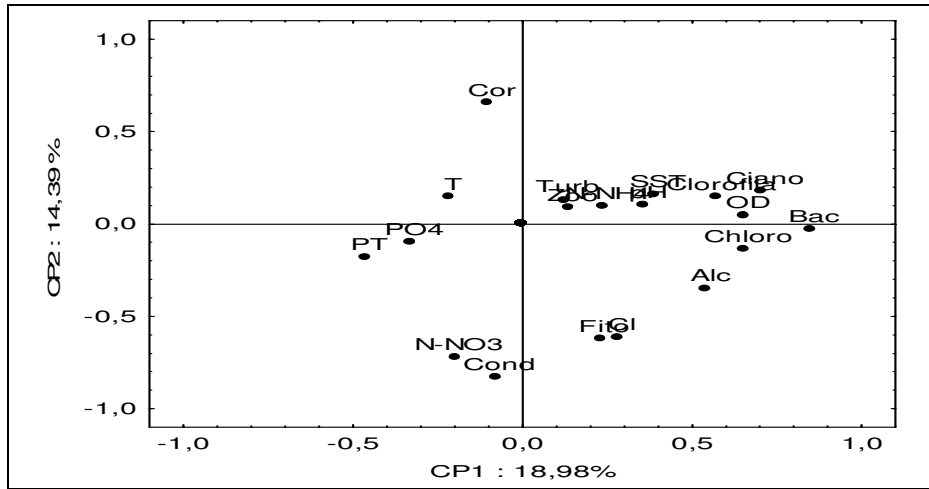
Tabela 5.12 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na **superfície** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	-0,216	0,148	0,607	0,441	0,230	0,583	0,041	0,672	-0,079	-0,180
OD	0,652	0,048	0,398	0,325	0,073	-0,784	0,357	0,030	-0,168	-0,114
N-NH4	0,237	0,095	0,043	-0,583	0,509	0,498	0,201	-0,581	0,071	0,070
N-NO3	-0,201	-0,723	-0,010	0,045	-0,071	-0,443	0,076	-0,445	-0,378	-0,318
P-PO4	-0,332	-0,100	-0,598	0,281	0,415	0,137	-0,459	0,230	-0,705	0,085
P-PT	-0,464	-0,178	-0,309	0,451	0,319	0,321	-0,696	-0,131	-0,131	0,239
Turb.	0,120	0,132	-0,576	-0,244	0,158	0,543	-0,741	-0,187	0,202	-0,078
Cor	-0,103	0,657	-0,261	-0,236	-0,129	0,943	-0,038	-0,057	-0,184	0,066
Alc.	0,542	-0,348	0,067	-0,423	0,208	0,198	-0,054	-0,307	0,667	-0,423
Cl	0,280	-0,611	-0,002	-0,207	-0,269	-0,574	-0,275	-0,086	0,004	-0,453
Cond	-0,081	-0,830	0,042	-0,097	0,052	-0,444	-0,227	-0,618	-0,258	0,174
pH	0,355	0,101	0,673	0,159	-0,050	-0,761	-0,219	0,389	0,122	0,065
SST	0,386	0,161	-0,167	0,421	0,272	0,262	-0,065	0,397	-0,554	-0,374
Ciano	0,702	0,179	-0,327	0,316	0,083	-0,348	-0,848	0,003	0,248	0,183
Bac	0,846	-0,031	-0,235	-0,009	0,093	-0,854	-0,244	0,025	-0,052	0,213
Fito	0,228	-0,622	-0,166	0,227	0,135	-0,798	0,303	-0,045	0,003	0,175
Chloro	0,653	-0,138	-0,006	0,226	-0,068	-0,371	-0,322	0,256	0,178	-0,748
Zoo	0,135	0,089	0,369	-0,305	0,565	0,152	-0,032	-0,659	-0,419	-0,425
Cl-a	0,574	0,146	-0,395	0,046	-0,348	-0,835	-0,167	0,000	-0,096	0,058
Autovalores	3,61	2,73	2,35	1,77	1,31	6,26	2,61	2,39	1,89	1,64
% de variância explicada	18,98	14,39	12,38	9,33	6,91	32,96	13,72	12,59	9,92	8,63
% cumulativo de variância	18,98	33,37	45,75	55,07	61,98	32,96	46,68	59,27	69,19	77,82

Já no período seco, novamente foi verificado que as cianobactérias estiveram separadas do fitoplâncton, provavelmente por terem ocorrido durante um pequeno intervalo de tempo no período (meses de transição).

A Figura 5.64 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas na superfície.

(a) Período chuvoso (Outubro a março)



(b) Período seco (Abril a setembro)

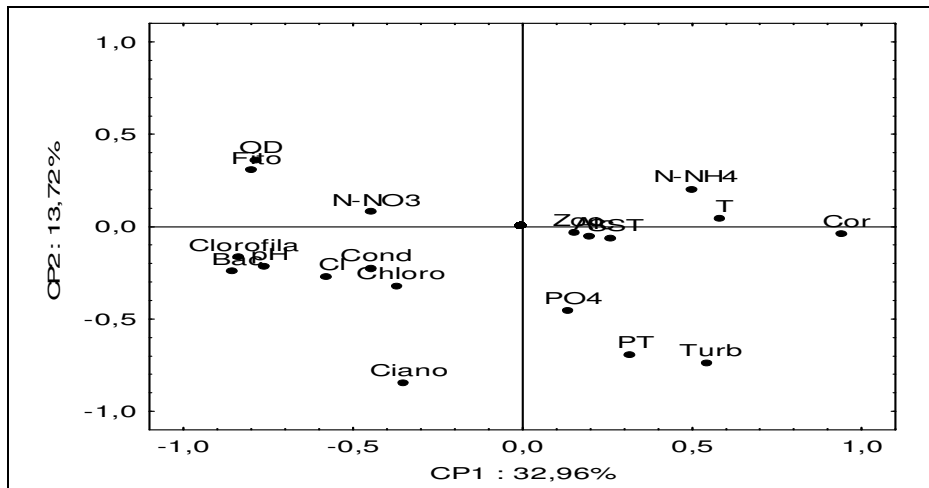


Figura 5.64 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na **superfície** das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

5.4.3 Análise de componentes principais - Secchi

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de Secchi das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na **profundidade de Secchi** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	-0,317	0,343	-0,531	-0,532	-0,255	0,677	0,308	0,306	0,200	-0,099
OD	0,578	0,195	-0,345	-0,403	-0,203	-0,731	0,008	0,072	0,065	-0,415
N-NH4	0,286	0,037	-0,109	0,464	-0,695	0,281	-0,468	-0,465	0,029	-0,313
N-NO3	-0,177	-0,721	-0,043	-0,095	0,276	-0,527	-0,419	-0,026	-0,432	-0,189
P-PO4	-0,286	-0,124	0,584	-0,360	-0,494	0,402	0,061	0,397	-0,426	-0,280
P-PT	-0,441	-0,178	0,324	-0,493	-0,420	0,168	-0,092	0,558	-0,062	-0,342
Turb.	0,168	0,059	0,586	0,228	-0,139	0,630	0,438	-0,030	-0,357	0,247
Cor	-0,101	0,600	0,319	0,306	-0,037	0,730	0,242	-0,296	-0,255	-0,046
Alc.	0,565	-0,353	-0,159	0,341	-0,288	0,235	-0,109	-0,796	-0,279	0,235
Cl	0,300	-0,591	-0,136	0,079	-0,085	-0,353	-0,583	0,293	-0,473	0,178
Cond	-0,073	-0,830	-0,110	0,017	-0,095	-0,156	-0,146	0,345	-0,726	0,383
pH	0,294	0,199	-0,685	-0,190	-0,059	-0,819	0,248	0,021	-0,006	0,071
SST	0,373	0,180	0,196	-0,374	0,211	-0,006	0,696	0,337	-0,110	-0,133
Ciano	0,713	0,201	0,295	-0,324	0,075	-0,218	0,721	-0,136	-0,412	0,155
Bac	0,854	-0,043	0,204	0,034	0,105	-0,769	0,323	-0,240	0,050	-0,013
Fito	0,241	-0,621	0,123	-0,246	0,043	-0,653	-0,095	0,172	-0,050	0,167
Chloro	0,656	-0,092	-0,068	-0,266	-0,103	-0,542	0,036	-0,333	-0,174	-0,200
Zoo	0,091	0,085	-0,338	0,324	-0,094	0,199	0,083	-0,270	-0,615	-0,590
Cl-a	0,599	0,136	0,351	-0,046	0,032	-0,581	0,693	-0,133	0,012	-0,115
Autovalores	3,59	2,78	2,26	1,83	1,29	5,08	2,79	2,13	2,03	1,28
% de variância explicada	18,92	14,65	11,87	9,63	6,80	26,73	14,70	11,22	10,71	6,76
% cumulativo de variância	18,92	33,57	45,44	55,08	61,88	26,73	41,43	52,66	63,37	70,12

A Figura 5.65 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas na profundidade de Secchi.

Na profundidade de extinção do disco de Secchi, os resultados referentes ao período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 18,92 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis OD, Alc, Ciano, Bac, Chloro (componente “biomassa algal”), sem contribuição das variáveis negativas. O CP2 explica 14,65 % da variância e tem, principalmente, a participação positiva da Cor e negativa da NO₃, Cl, Cond e Fito (componente “matéria orgânica”). Já no período seco o CP1 explica 26,73 % da variância com contribuição positiva das

variáveis T, Turb, e cor, e negativa do OD, NO₃, pH, Bac, Fito e Chloro. Enquanto o CP2 explica 14,70 % com contribuição positiva das variáveis SST, Ciano e Cl-a e negativa apenas do Cl.

Deve ser ressaltado que o comportamento das variáveis dos dois componentes principais dos períodos chuvoso e seco foi quase idêntico ao observado no mesmo período na análise ACP para todas as profundidades.

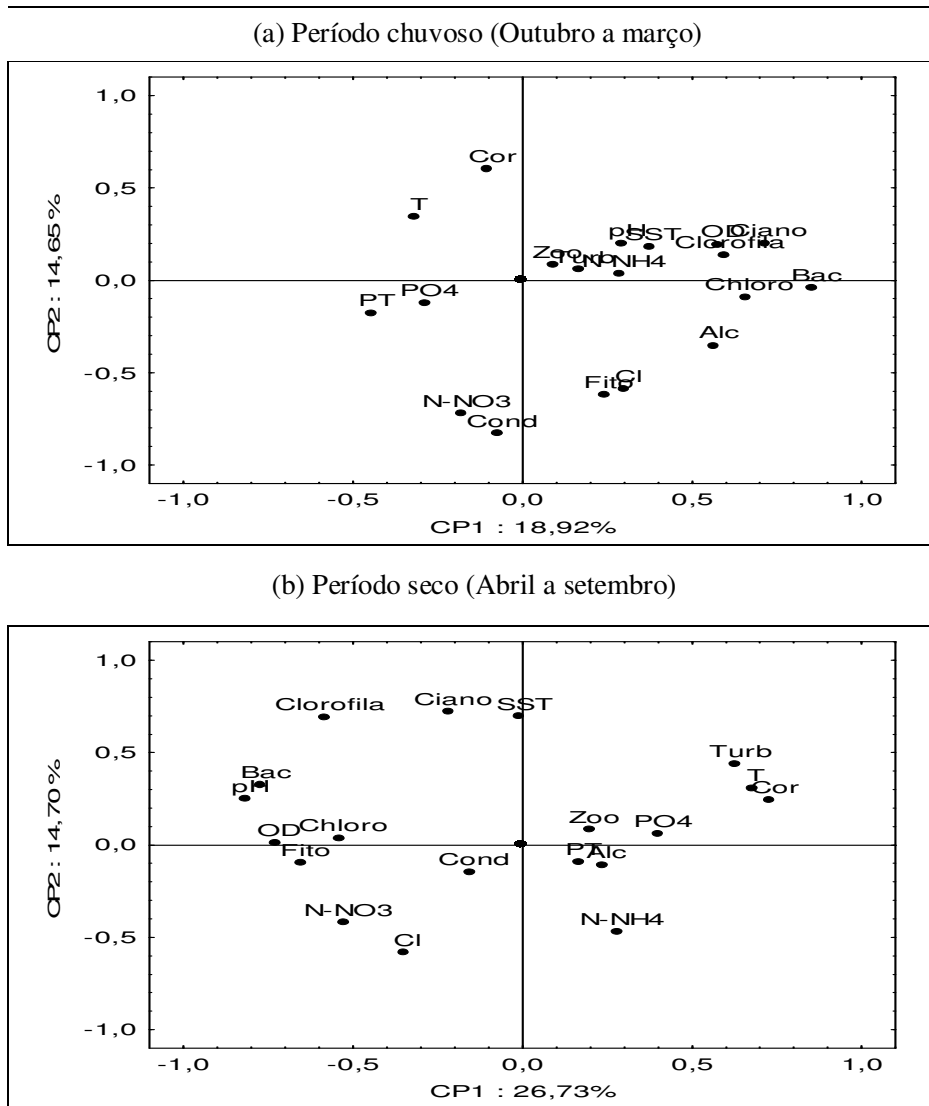


Figura 5.65 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na **profundidade de Secchi** das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

No período chuvoso as cianobactérias se mostraram também negativamente relacionadas ao fósforo total (coeficiente de Spearman = -0,26) e nitrato (-0,15), apresentados na Tabela B5 do

Apêndice B. No período seco fortes associações do OD com os fitoflagelados e com as Chlorophyceae também foram evidenciadas.

5.4.4 Análise de componentes principais – Cinco metros

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de 5 metros das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.14.

A Figura 5.66 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas na profundidade de cinco metros.

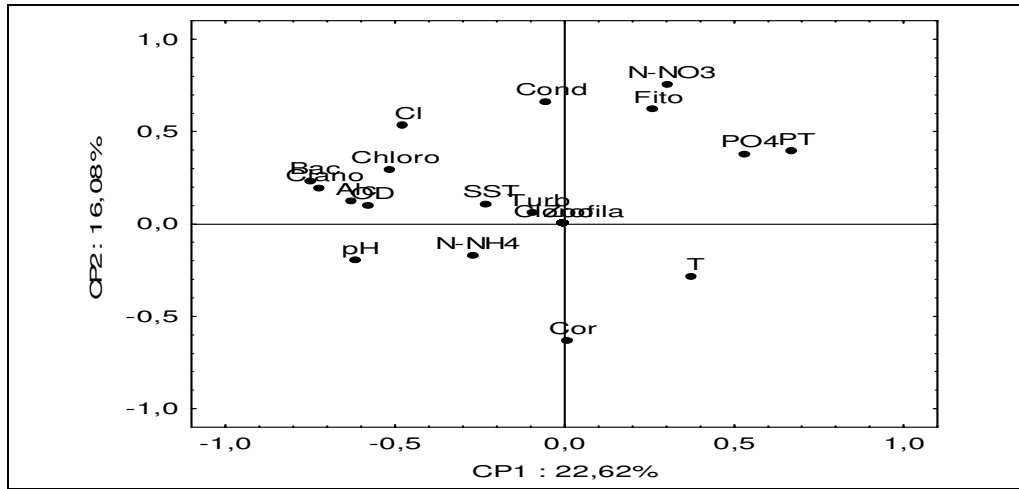
Na profundidade de 5 metros da superfície, os resultados referentes ao período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 22,62 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis PT e PO₄, e contribuição negativa das variáveis OD, alc, pH, Ciano, Bac, Chloro (componente “biomassa algal”). O CP2 explica 16,08 % da variância e tem participação positiva da NO₃, Cl, Cond e Fito (componente “matéria orgânica”) e negativa da cor. Já no período seco o CP1 explica 30,06 % da variância com contribuição positiva das variáveis T, Turb, e negativa do OD, pH, Bac, Fito e Chloro. Enquanto o CP2 explica 14,52 % com contribuição positiva das variáveis T e Turb e negativa apenas do OD, pH, Bac, Fito e Chloro.

Tabela 5.14 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas na profundidade de **5 metros** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	0,373	-0,288	-0,399	0,026	-0,502	0,660	-0,197	-0,269	0,139	-0,276
OD	-0,578	0,099	-0,425	-0,123	0,049	-0,767	-0,097	-0,098	-0,176	-0,210
N-NH4	-0,269	-0,171	0,420	0,548	-0,282	0,322	0,077	0,679	-0,099	-0,222
N-NO3	0,304	0,754	0,031	0,131	0,238	-0,364	0,609	-0,265	-0,172	0,147
P-PO4	0,534	0,376	0,354	-0,320	-0,342	0,498	0,196	-0,528	0,068	-0,174
P-PT	0,672	0,392	-0,048	-0,158	-0,301	0,090	0,611	-0,217	0,115	-0,278
Turb.	-0,089	0,057	0,558	-0,575	0,047	0,707	-0,499	-0,234	0,107	0,048
Cor	0,013	-0,633	0,152	-0,409	0,078	0,466	-0,591	0,191	0,100	-0,148
Alc.	-0,628	0,120	0,351	0,444	-0,126	0,036	-0,224	0,645	0,548	0,023
Cl	-0,474	0,532	-0,006	-0,148	0,012	-0,353	0,261	0,013	0,780	-0,018
Cond	-0,051	0,661	0,326	0,276	0,155	-0,400	0,113	-0,283	0,605	-0,460
pH	-0,617	-0,198	-0,216	0,081	-0,261	-0,670	-0,096	-0,326	0,242	0,516
SST	-0,228	0,105	0,203	-0,030	-0,660	0,145	-0,505	-0,654	-0,171	-0,200
Ciano	-0,719	0,192	0,199	-0,383	-0,100	-0,279	-0,612	-0,221	0,277	0,269
Bac	-0,749	0,232	-0,053	-0,268	-0,077	-0,830	-0,312	-0,140	-0,067	-0,198
Fito	0,264	0,619	-0,434	-0,005	-0,197	-0,817	-0,190	0,214	-0,210	-0,377
Chloro	-0,511	0,294	-0,514	-0,096	-0,003	-0,828	-0,359	0,135	-0,135	-0,095
Zoo										
Cl-a										
Autovalores	3,85	2,73	1,79	1,49	1,21	5,11	2,47	2,19	1,63	1,10
% de variância explicada	22,62	16,08	10,54	8,76	7,09	30,06	14,52	12,90	9,61	6,49
% cumulativo de variância	22,62	38,70	49,24	58,00	65,09	30,06	44,57	57,47	67,09	73,58

No período chuvoso as cianobactérias continuaram se mostrando negativamente relacionadas ao fósforo total (coeficiente de Spearman = -0,38), ortofosfato, (-0,20) e nitrato (-0,10), apresentados na Tabela B7 do Apêndice B. No período seco as mesmas associações do OD com os fitoflagelados, Chlorophyceae e com as Bacillariophyta também foram evidenciadas.

(a) Período chuvoso (Outubro a março)



(b) Período seco (Abril a setembro)

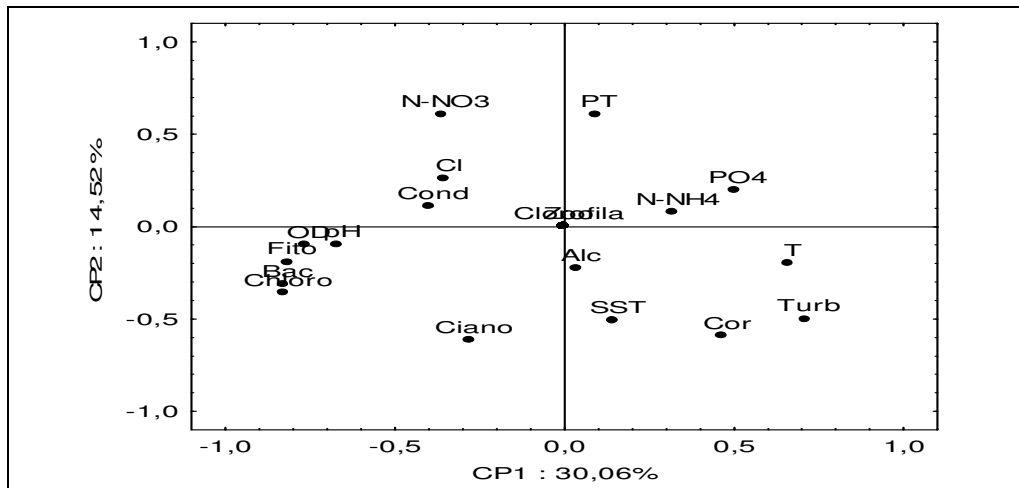


Figura 5.66 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos na profundidade de **5 metros** das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

5.4.5 Análise de componentes principais - Fundo

A carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas no fundo das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco é apresentada na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Carga fatorial das 19 variáveis nos cinco componentes principais (CP) mais significativos para as amostras coletadas no **fundo** das quatro estações de monitoramento nos períodos chuvoso e seco

	Período chuvoso (Outubro a março)					Período seco (Abril a setembro)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T	0,619	0,077	-0,167	-0,298	0,040	0,828	-0,088	-0,023	-0,113	0,089
OD	-0,850	0,036	0,082	-0,146	0,029	-0,809	-0,061	-0,081	0,164	-0,389
N-NH4	0,091	-0,321	-0,528	-0,478	-0,398	0,760	-0,017	0,062	0,445	-0,232
N-NO3	0,002	0,664	-0,048	-0,142	0,372	-0,632	-0,352	-0,064	0,183	0,423
P-PO4	0,494	0,514	0,265	-0,138	0,267	0,697	-0,374	-0,425	0,088	0,141
P-PT	0,605	0,526	0,222	-0,226	-0,180	0,527	-0,703	0,240	0,154	0,089
Turb.	0,234	-0,103	0,289	-0,707	0,045	0,530	0,049	0,626	-0,371	-0,201
Cor	0,477	-0,462	0,074	-0,381	0,044	0,744	0,246	0,446	0,058	-0,033
Alc.	-0,315	-0,547	-0,442	-0,252	0,167	0,498	-0,127	-0,121	0,347	-0,639
Cl	-0,343	0,319	-0,597	0,014	0,229	-0,034	-0,810	-0,357	0,058	-0,085
Cond	0,034	0,426	-0,783	-0,068	0,174	0,380	-0,769	0,166	-0,186	-0,118
pH	-0,569	-0,174	0,252	-0,372	0,365	-0,648	0,091	-0,325	-0,112	-0,412
SST	0,388	-0,364	-0,007	0,096	0,686	0,430	0,263	-0,036	0,186	0,337
Ciano	-0,636	-0,291	0,217	0,004	0,233	-0,012	-0,346	-0,164	-0,781	-0,054
Bac	-0,855	-0,060	0,053	0,007	-0,080	-0,733	-0,107	0,375	0,074	-0,057
Fito	-0,651	0,514	0,028	-0,317	-0,068	-0,584	-0,421	0,305	0,301	0,206
Chloro	-0,713	0,356	0,164	-0,192	-0,117	-0,617	-0,295	0,628	0,029	-0,110
Zoo										
Cl-a										
Autovalores	4,76	2,54	1,83	1,43	1,20	6,17	2,57	1,78	1,36	1,23
% de variância explicada	28,03	14,94	10,76	8,40	7,06	36,31	15,11	10,45	7,98	7,26
% cumulativo de variância	28,03	42,96	53,73	62,12	69,18	36,31	51,42	61,87	69,84	77,11

A Figura 5.67 apresenta o gráfico relativo às duas primeiras componentes principais com base na matriz de correlação amostral das 19 variáveis coletadas no fundo.

Na profundidade a um metro do fundo, os resultados referentes ao período chuvoso mostram que o componente principal 1 (CP1) explica 28,03 % da variância e tem a contribuição positiva das variáveis T, PT e cor, e contribuição das variáveis negativas OD, pH, Ciano, Fito, Chloro (componente “biomassa algal”). O CP2 explica 14,94 % da variância e tem participação positiva

da NO_3 e PO_4 , e negativa da alcalinidade. O componente “matéria orgânica”, presente nas outras profundidades, não pode ser identificado aqui.

Já no período seco o CP1 explica 36,31 % da variância com contribuição positiva das variáveis T, PO_4 , cor e SST, e negativa do OD, NO_3 , pH, Bac, Fito e Chloro. Enquanto o CP2 explica 15,11 % com contribuição apenas negativa do PT, Cl, condutividade.

No período seco associações do OD com os fitoflagelados, Chlorophyceae, Bacillariophyta e com NO_3 também foram percebidas.

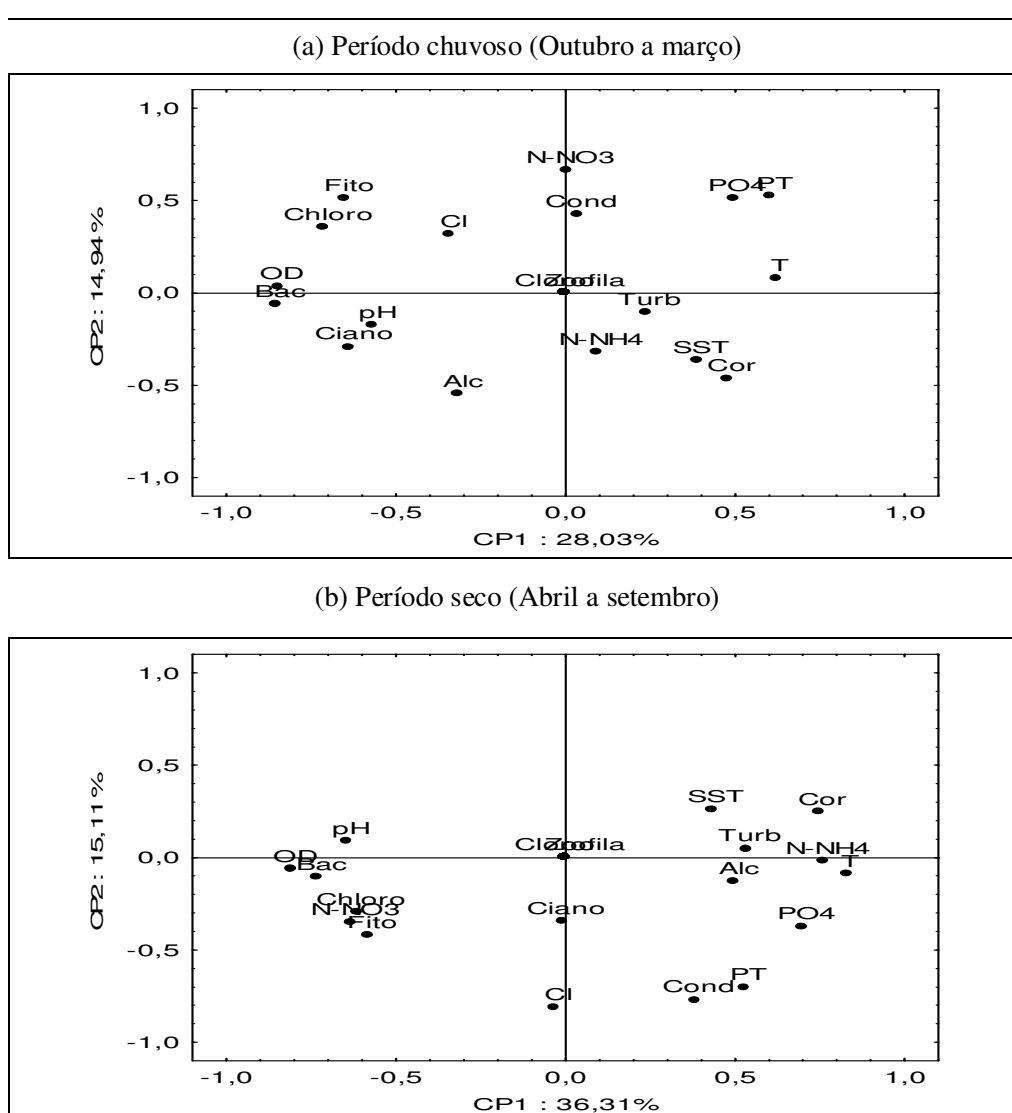


Figura 5.67 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos no fundo das quatro estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.

Através da análise de componentes principais pode-se observar que no período de maior ocorrência de cianobactérias (período chuvoso), o grupo esteve sempre relacionado aos outros componentes do fitoplâncton pertencentes às classes Bacillariophyta e Chlorophyta, além de ter sido percebido um padrão de correlação negativa com o ortofosfato e o fósforo total em todas as profundidades.

Uma hipótese para se explicar a inesperada correlação negativa da ocorrência das cianobactérias com o fósforo total, pode estar relacionada aos baixos valores de fósforo total encontrados durante o predomínio da espécie picoplânctônica, *Aphanocapsa* sp, no último período de ocorrência do grupo (Figura 5.51). Uma vez que a biomassa do picoplâncton pode ser pouco representativa e estando o fitoplâncton representado em sua maioria por essa espécie (por exemplo, em dezembro 2006), os valores baixos de fósforo total versus elevado número de células de cianobactérias, poderiam indicar uma relação negativa. Contudo ao se analisar os valores de clorofila-a (também Figura 5.51) observa-se que estes se encontravam elevados. Desta forma, levanta-se a possibilidade de erro analítico, embora todas as análises dos nutrientes tenham sido realizadas em triplicata com controle da qualidade dos reagentes e soluções utilizados.

A profundidade de extinção do disco de Secchi mostrou resultados que parecem ser representativos das relações existentes no ambiente. Desta forma, parece ser plausível apontar como importante para o estudo da dinâmica das cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores, o monitoramento dos parâmetros bióticos e abióticos nessa profundidade.

5.5 Estudos genéticos e investigação da toxicidade das cianobactérias

Os resultados do estudo genético e da investigação da toxicidade das cianobactérias isoladas do manancial são apresentados a seguir contendo a caracterização molecular, a filogenia e a avaliação do potencial de biossíntese de metabólitos secundários e da toxicidade dos isolados.

5.5.1 Estudo genético

A extração do DNA dos 15 isolados das cianobactérias e do material do seston coletado no período de ocorrência das cianobactérias em 2005 foi realizada adequadamente, tendo sido obtido material suficiente e de qualidade para a realização dos ensaios de amplificação por PCR. Porém, não foi possível extrair o DNA do material proveniente da floração de 1999. Apesar de terem sido tentadas diferentes metodologias de extração, foram obtidos apenas fragmentos de DNA. A provável ruptura das células durante a liofilização pode ter sido a causa da degradação do material genômico.

O termo isolados foi empregado, preferencialmente à cepas ou linhagens, por haver a possibilidade das colônias isoladas serem morfotipos clonais, uma vez que foram isoladas em um mesmo período (setembro e novembro de 2005) de amostras compostas. Contudo, algumas diferenças foram observadas tanto nas seqüências obtidas nos ensaios de amplificação da PCR quanto na investigação da toxicidade (item 5.52). Para melhor identificação dos 15 isolados, estes foram denominados sequencialmente VF1 a VF 15.

5.5.1.1 Caracterização molecular - Filogenia

Para a identificação molecular dos isolados foram utilizadas as seqüências da porção 16S do DNAr e das porções *cpcA* e *cpcB*, incluindo o espaço intergênico(*cpcBA*-IGS), do operon da ficocianina. A escolha dessas duas abordagens permitiu maior segurança na identificação das espécies uma vez que aliou duas porções do genoma que em conjunto possuem variações suficientes em suas seqüências para separar espécies próximas relacionadas (NEILAN *et al*, 1995).

Os resultados das análises Blast mostraram que as seqüências do operon da ficocianina dos 15 isolados apresentaram entre 97 e 99% de identidade com seqüências de diferentes espécies do gênero *Microcystis* (*M. aeruginosa*, *M. ichthyoblabe*, *M. flos-aquae*, *M. wesenbergii*, *M. viridis* e

M. novacekii). Essa similaridade encontrada para os 15 isolados indica que a princípio eles fazem parte do gênero *Microcystis*.

Da mesma forma, as análises Blast utilizando o gene da porção 16S do DNAr apresentaram resultados superiores a 98% de similaridade, entre a identidade das seqüências dos 15 isolados e as seqüências das diferentes espécies de *Microcystis* publicadas no GenBank.

Através do emprego da taxonômica clássica, as cianobactérias isoladas e cultivadas em laboratório foram classificadas como pertencentes à espécie *Sphaerocavum brasiliense* (AZEVEDO e SANT'ANNA, 2003). Embora na quantificação do fitoplâncton durante o período de isolamento das cianobactérias (setembro e novembro de 2005) tenha sido observada à presença de espécies do gênero *Microcystis* (Figuras 5-50c a 5-53c), após o isolamento e cultivo em laboratório, todos os isolados foram identificados como sendo *Sphaerocavum brasiliense*. (Figura 5.68)

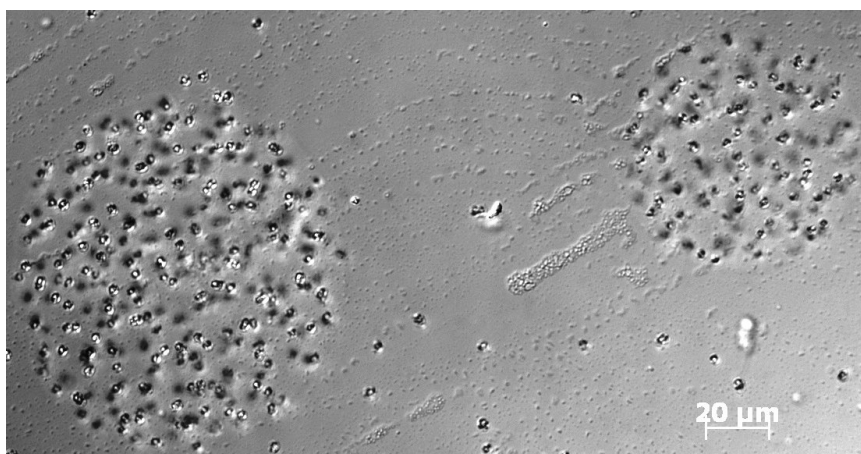


Figura 5.68- Colônias do cultivo de *Sphaerocavum brasiliense* isoladas do manancial de Vargem das Flores/MG.

Na construção da árvore filogenética foram usadas seqüências publicadas no GenBank, (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). A árvore foi enraizada usando como grupo externo a seqüência de nucleotídeos da porção 16S DNAr da cepa *Nostoc* sp PCC7120. As linhagens de cianobactérias do gênero *Microcystis* foram escolhidas no intuito de abranger espécies diferentes.

Analisando-se a árvore filogenética das seqüências da porção 16S do DNAr (Figura 5.69), observa-se que os isolados identificados como *Sphaerocavum brasiliense* não apresentaram

distâncias das diferentes espécies de *Microcystis*, com agrupamento único formado numa reamostragem de 85 %. Destaca-se ainda o agrupamento monofilético da espécie *M. ichthyoblabe* OBB35S01 com os 15 isolados.

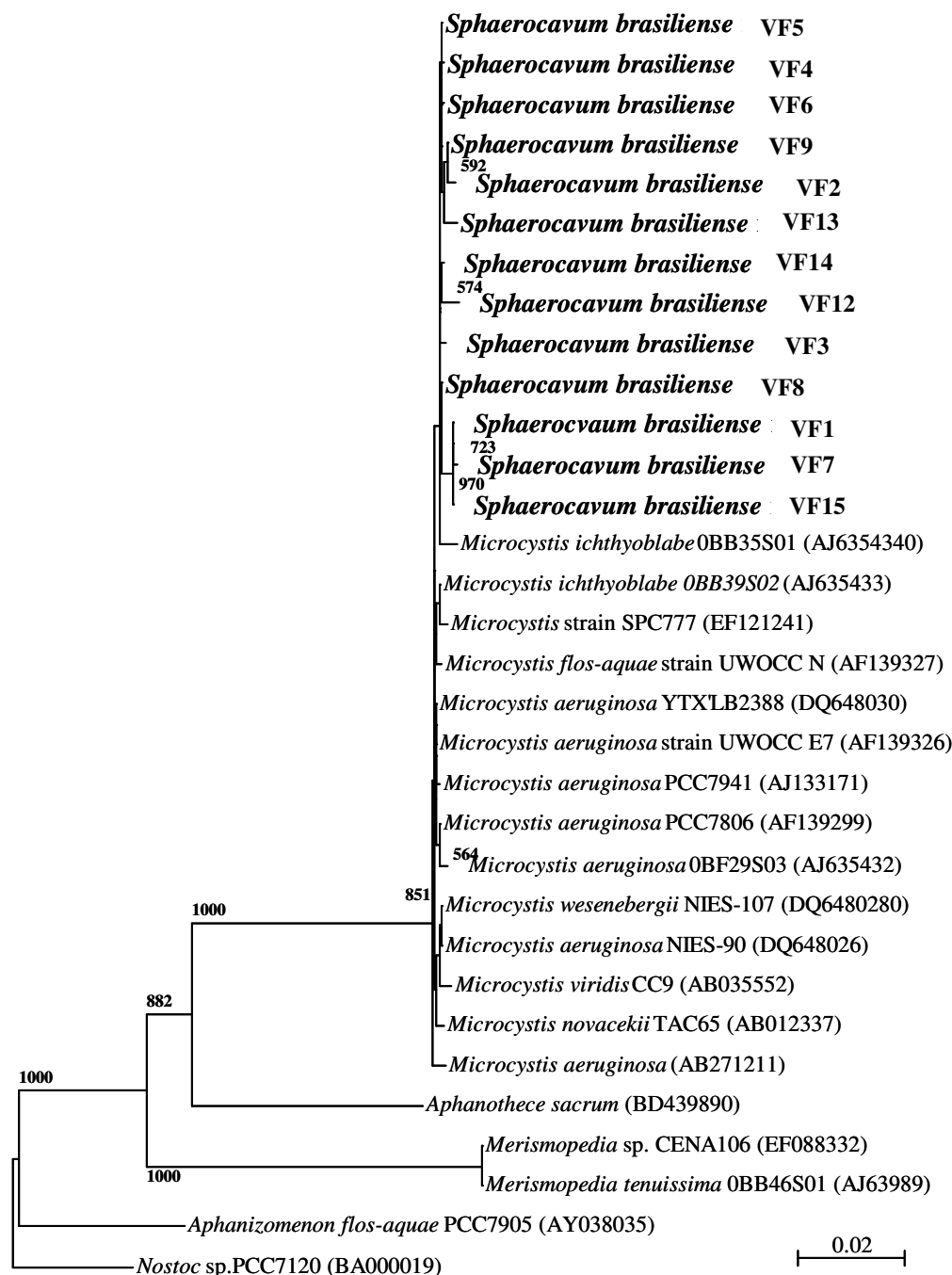


Figura 5.69 - Árvore filogenética da porção 16S DNAr dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados nos clados

Contudo, torna-se importante ressaltar que os isolados encontraram-se todos agrupados conjuntamente, podendo indicar alguma diferenciação, mesmo que pequena, dessa porção do genoma. Além disso, os isolados foram agrupados com distâncias muito pequenas entre si, podendo indicar a existência de formas clonais entre os mesmos.

As seqüências dos isolados VF10 e VF11 não foram incluídas na árvore filogenética da Figura 5.69 por não apresentarem boa qualidade, indicando que o DNA possivelmente estava contaminado.

Ao contrário do encontrado no presente estudo, no trabalho de Silva (2006) sobre a caracterização e identificação molecular de diferentes espécies brasileiras de cianobactérias, as seqüências do espaço intergênico do operon da ficocianina (*cpcBA-IGS*) da cepa de *S. brasiliense* SPC484 não mostrou identidade com nenhuma das seqüências do GenBank e na árvore filogenética ficou próxima a oito espécies diferentes de cianobactérias incluídas nos gêneros *Nostoc*, *Aphanizomenon* e *Tolipothrix*.

Desta forma, embora as características morfológicas das cianobactérias utilizadas nesse estudo enquadrem na descrição da espécie *Sphaerocavum brasiliense* (AZEVEDO e SANT'ANNA, 2003), os resultados da caracterização molecular indicam que os isolados fazem parte do gênero *Microcystis* e poderiam, possivelmente, serem apenas caracterizados como uma nova espécie dentro do gênero.

5.5.1.2 Investigação do potencial de biossíntese de microcistinas e metabólitos secundários

Para estimar o potencial de biossíntese de microcistinas e metabólitos secundários dos isolados foram realizados ensaios por PCR com diferentes nucleotídeos iniciadores (“primers”), tendo como seqüências alvo os genes pertencentes ao agrupamento da síntese das microcistinas representado na Figura 5.70.

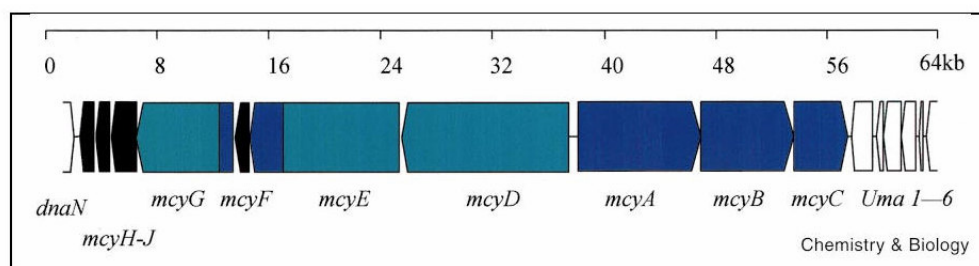


Figura 5.70 - Esquema do agrupamento de genes responsáveis pela síntese das microcistinas
Fonte: TILLET *et al*, 2000

A caracterização desse agrupamento foi realizada por Tillett *et al.* (2000) utilizando o genoma da *Microcystis aeruginosa* 7806 produtora de microcistina-LR e a inativação ou ausência de parte dos genes, como por exemplo, do *mcyB*, pode resultar na perda da capacidade de produção da microcistina.

Os resultados positivos obtidos nos ensaios da reação em cadeia da polimerase (PCR) na tentativa de identificação da presença dos genes da síntese das microcistinas estão apresentados no Quadro 5.17. Pode-se observar que os resultados da amplificação, pelos diferentes iniciadores testados, variaram entre os isolados.

Quadro 5.17 - Resultados positivos das reações em cadeia da polimerase (PCR) para os iniciadores testados

Isolados/biomassa	Iniciadores								
	<i>mcyA</i>	<i>mcyB</i>	<i>mcyD</i>	<i>mcyE</i>	<i>mcyG</i>	<i>mcyH</i>	<i>mcyI</i>	MTF2	DK
VF 1		X						X	X
VF 2		X						X	X
VF 3		X	X	X	X			X	X
VF 4	X	X	X		X			X	X
VF 5	X	X		X	X			X	X
VF 6		X	X	X	X			X	X
VF 7		X	X		X			X	X
VF 8		X			X			X	X
VF 9		X			X			X	X
VF 10		X			X			X	X
VF11		X			X			X	X
VF 12		X			X			X	X
VF 13		X	X		X			X	X
VF 14		X			X			X	X
VF 15		X			X			X	X
Seston 2005	X	X		X	X	X	X		

Nota: - X indica produto da amplificação verificado pela presença de banda em gel de agarose.
 - Controle positivo das reações: DNA da cepa *M. aeruginosa* 7806

Uma vez que todos os ensaios foram realizados nas mesmas condições para todos os isolados, parece que a variação observada pode indicar a presença de diferenças nas seqüências dessa porção do genoma entre os isolados.

Importante ressaltar que algumas das seqüências de nucleotídeos amplificadas por PCR não apresentaram o número exato de pares de bases esperado, como foi o caso das bandas obtidas para o gene *mcyG* (seqüências maiores) e *mcyD* (seqüências menores). Um exemplo seria a análise Blast das seqüências obtidas para o isolado VF5. Verificou-se que apenas parte das seqüências foi similar às dos genes alvo. No caso do *mcyG*, embora o produto da amplificação

tenha sido maior que o esperado, apenas 15% da seqüência apresentou homologia (“query coverage”) com as seqüências de *Microcystis* do banco de dados do GenBank. E, desses 15%, somente 84% da seqüência foi identificada como sendo do gene *mcyG*.

Por outro lado, a análise Blast para a identificação dos resultados encontrados para o gene *mcyE* indicou a similaridade de 99% para o isolado VF3, 92% para os isolados VF5 e VF6, e 95% para o material do seston de 2005. As percentagens de identidade apresentadas foram todas relacionadas às seqüências de *Microcystis* depositadas no GenBank.

Já na avaliação da identidade das seqüências obtidas utilizando-se os iniciadores para o gene *mcyA* (Blast), não houve nenhuma similaridade para o isolado VF4, a seqüência do isolado VF5 apresentou apenas 7% de similaridade, enquanto a seqüência da biomassa do seston 2005 obteve 90% de identidade com as seqüências do gene *mcyA* de *Microcystis* do GenBank. Evidenciando dessa forma que apesar do sucesso na amplificação com obtenção de produtos da PCR no tamanho correto, os iniciadores utilizados não amplificaram a porção do genoma correspondente às seqüências alvo (genes da síntese de microcistina).

A presença da seqüência para síntese dos peptídeos não ribossômicos (NRPS) e de policetídeos (PKS) também foi investigada através do emprego dos oligonucleotídeos degenerados MTF e DK, respectivamente (Quadro 5.17). Nas células das cianobactérias, assim como em outros microrganismos, os módulos NPRS e PKS estão envolvidos em diferentes etapas de produção dos metabólitos secundários naturais (toxinas e outros compostos).

Desta forma, a análise dessas seqüências permite inferir sobre quais potenciais metabólitos secundários podem ser produzidos pelas cianobactérias. No presente estudo, apesar de terem sido obtidos resultados positivos para a presença desses genes em todos os isolados, apenas os produtos do VF3 e do VF6 foram seqüenciados. Essa escolha baseou-se no fato desses dois isolados terem apresentado o maior número de resultados positivos (*mcyB*, *mcyD*, *mcyE* e *mcyG*) na investigação da presença dos genes da síntese de microcistinas (Quadro 5.17). Os resultados da análise Blast (identidade das seqüências no GenBank) indicaram uma identidade máxima de 89% (VF3) e 87% (VF6) com a seqüência para síntese de cianopeptolina da cepa *Microcystis* sp. NIVA-CYA 172/5.

As cianopeptolinas são uma classe de peptídeos cíclicos de estrutura química variável sintetizadas não ribossomicamente, assim como as microcistinas. Podem ser produzidas por cepas de diferentes gêneros de cianobactérias, incluindo as produtoras de microcistina, demonstrando a coexistência dos dois agrupamentos de genes para a síntese desses peptídeos (microcistina e cianopeptolina) em um mesmo genoma (WELKER e von DÖHREN, 2006).

Analisando-se os resultados encontrados na amplificação do DNA extraído da biomassa do seston coletado em 2005, além do elevado percentual de identidade apresentado em relação aos outros genes, destaca-se a presença dos genes *mcyH* e *mcyI*, não encontrados nos isolados. Como o isolamento das colônias foi feito de forma aleatória na amostra do seston, não foi possível garantir o isolamento de todas as cianobactérias ali presentes. Com esse resultado, pode-se confirmar que a variabilidade da população de cianobactérias do seston é maior do que a apresentada pelos 15 isolados obtidos, como era esperado.

O emprego de iniciadores desenvolvidos para linhagens encontradas em ambientes temperados para amplificar seqüências de cepas brasileiras, pode explicar a razão pela qual os iniciadores utilizados nesse estudo, mesmo amplificando as seqüências, não geraram produtos correspondentes às seqüências alvo.

Algumas hipóteses poderiam ser levantadas para explicar esses resultados tais como, a recombinação entre os genes (MIKALSEN *et al.*, 2003), a inativação dos promotores da biossíntese de microcistinas (CHRISTIANSEN *et al.*, 2006), ou até mesmo a inativação dos genes por mutação (Kaebernick *et al.* 2001). Porém, os resultados obtidos nesse estudo não forneceram dados suficientes para explicar a causa da presença de apenas parte dos genes de síntese da microcistina.

Para avaliação da similaridade entre as seqüências do gene *mcyB* dos 15 isolados foi construída uma árvore filogenética com as seqüências de aminoácidos correspondentes, obtidas através da tradução das respectivas seqüências de nucleotídeos produto da PCR (Figura 5.71).

Assim como na árvore filogenética da porção 16S do DNAr (Figura 5.69), observa-se que o agrupamento dos isolados obedeceu ao mesmo padrão de distribuição. De forma geral, não foram identificadas grandes distâncias entre os isolados, ou mesmo deles com as diferentes espécies de *Microcystis*. No entanto, um maior número de subclados (ex.: VF5 e VF11) foi formado,

destacando-se maior variabilidade entre as seqüências correspondentes ao gene *mcyB* dos 15 isolados. Destaca-se, principalmente, a distância observada do isolado VF3, indicando uma maior diferença entre a seqüência desse isolado em relação à dos outros. Como apresentado no item 5.52, o ensaio de inibição da fosfatase (PP2A) foi positivo apenas para o extrato do isolado VF3.

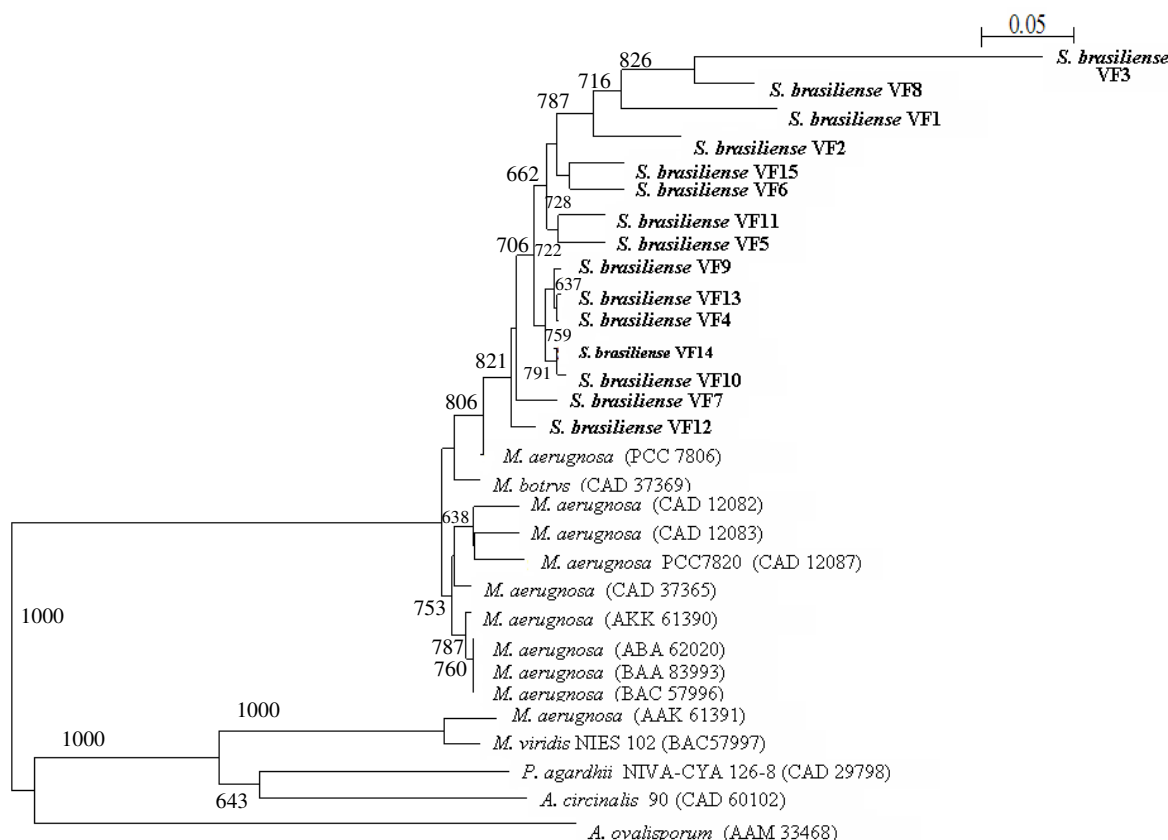


Figura 5.71 - Árvore filogenética da seqüência de aminoácidos codificada pelo gene *mcxB* dos isolados no reservatório de Vargem das Flores/MG. Valores superiores a 50% na reamostragem de 100 árvores são indicados nos clados

A dificuldade em se amplificar seqüências de cepas brasileiras a partir de nucleotídeos iniciadores desenvolvidos com base no genoma de cepas de outros ambientes já foi discutida em alguns trabalhos (SILVA, 2006, OLIVEIRA, 2003). Esse fato talvez explique porque os iniciadores utilizados nesse estudo, mesmo amplificando as seqüências, terem gerado produtos muitas vezes não correspondentes às seqüências alvo. Contudo hipóteses como a perda ou

inativação dos genes por mutação (Kaebnick et al. 2001) ou eventos de recombinação (alternância de posição) entre os genes (MIKALSEN *et al.*, 2003), devem ser consideradas.

Desta forma, a presença apenas parcial do agrupamento de genes responsável pela síntese de microcistinas nos isolados, impossibilita avaliar a existência potencial dessas cianobactérias em produzir essa toxina.

5.5.2 Investigação da toxicidade dos isolados

Os ensaios de inibição da enzima fosfatase (PP2A) foram realizados para avaliar a toxicidade dos isolados. Os resultados foram positivos para o material do seston de 2005, para a floração de 1999 e para o extrato do isolado VF3. Os ensaios foram realizados em duplicata e repetidos três vezes, usando como controle positivo o extrato da *M. aeruginosa* 7806.

A partir do resultado positivo encontrado para o extrato do isolado VF3 foram realizadas análises de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) para confirmar a presença de microcistina (Figura 5.72).

Observa-se no cromatograma obtido para o extrato do VF3 a existência de três picos com tempos de retenção diferentes (11, 21 e 23 minutos) semelhantes aos observados tanto no espectro do padrão de microcistina-LR, quanto no extrato do controle positivo *M. aeruginosa* 7806. Importante ressaltar que, tanto o extrato do isolado VF3, quanto o do controle positivo, foram os mesmos utilizados nos ensaios de inibição da fosfatase, e que o padrão utilizado, apesar de não ser um padrão analítico certificado de microcistina-LR, apresentava mais de 95% de pureza.

A análise de cromatografia foi realizada para uma identificação preliminar do peptídeo. Desta forma, foram coletados separadamente os três picos observados no cromatograma do isolado VF3, para purificação e realização das análises por Maldi-Tof.

Os espectros gerados na análise por Maldi-Tof do padrão da microcistina-LR e dos picos coletados a 11, 21 e 23 minutos (isolado VF3) são apresentados nas Figura 5.73 a Figura 5.76, respectivamente.

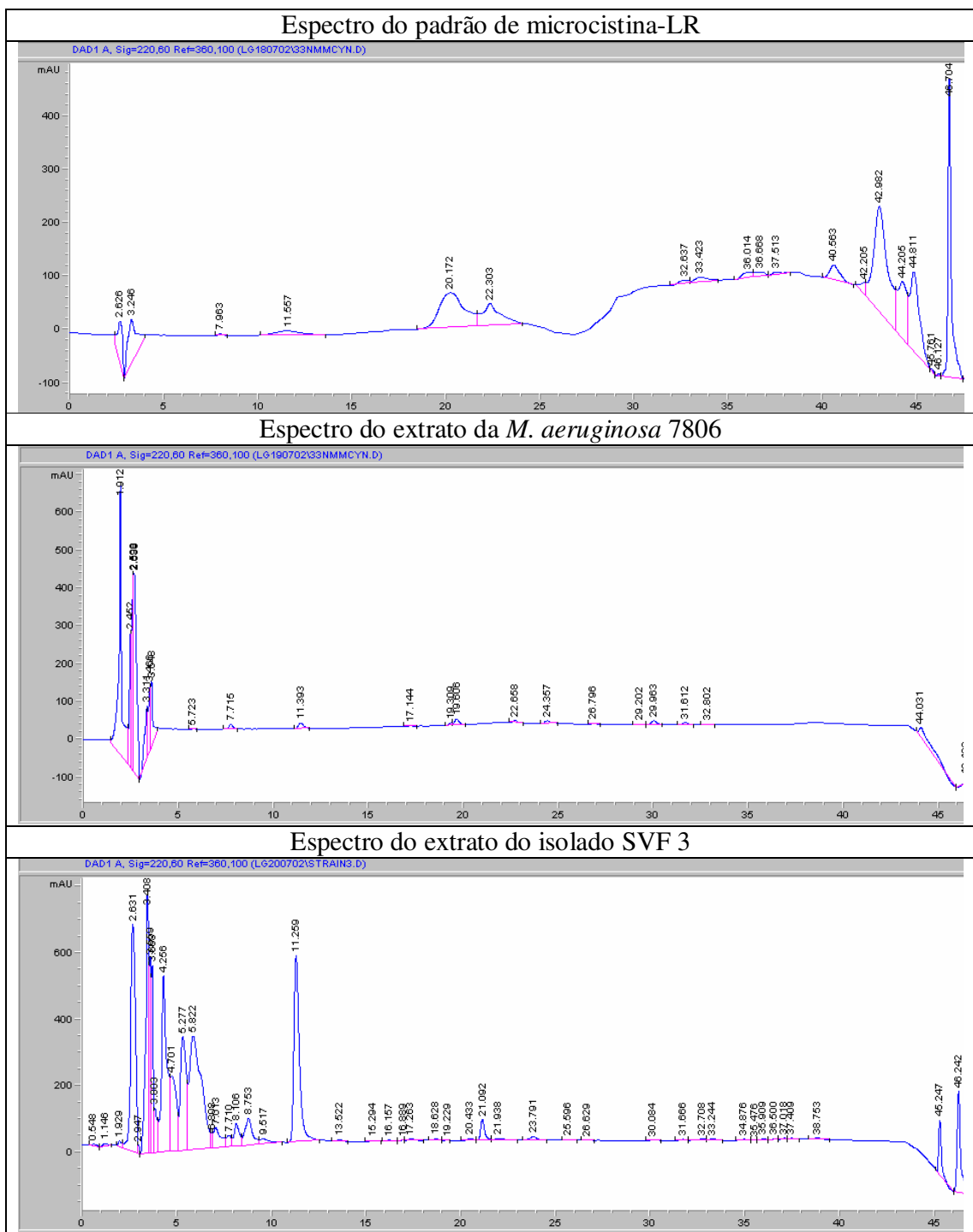


Figura 5.72- Cromatogramas gerados nas análises por HPLC apresentando a curva do padrão de microcistina-LR, do extrato da cepa *M. aeruginosa* 7806 e do extrato do isolado VF 3 do reservatório de Vargem das Flores/MG

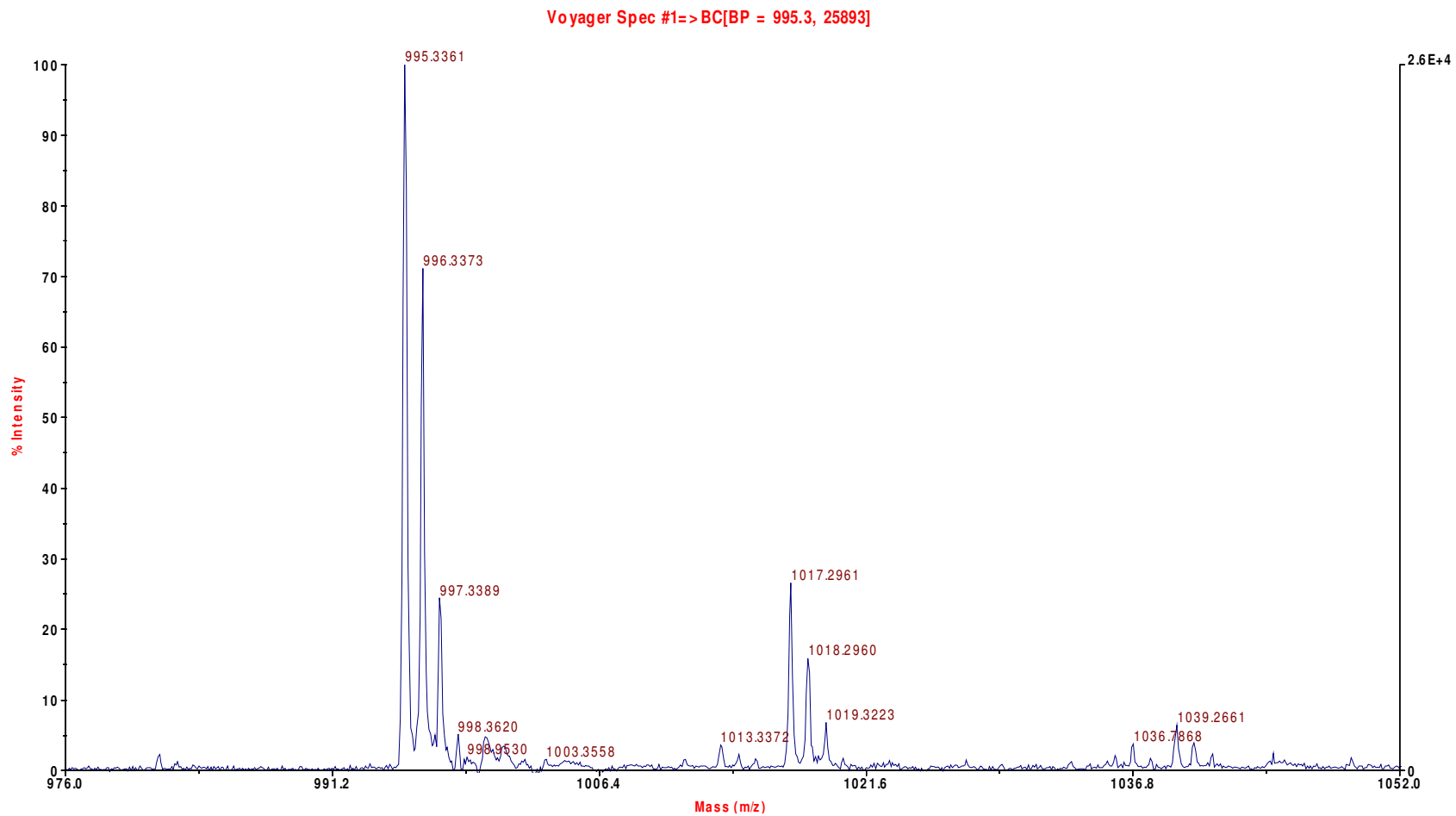


Figura 5.73 - Espectro de massa Maldi-Tof do padrão de microcistina -LR
Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

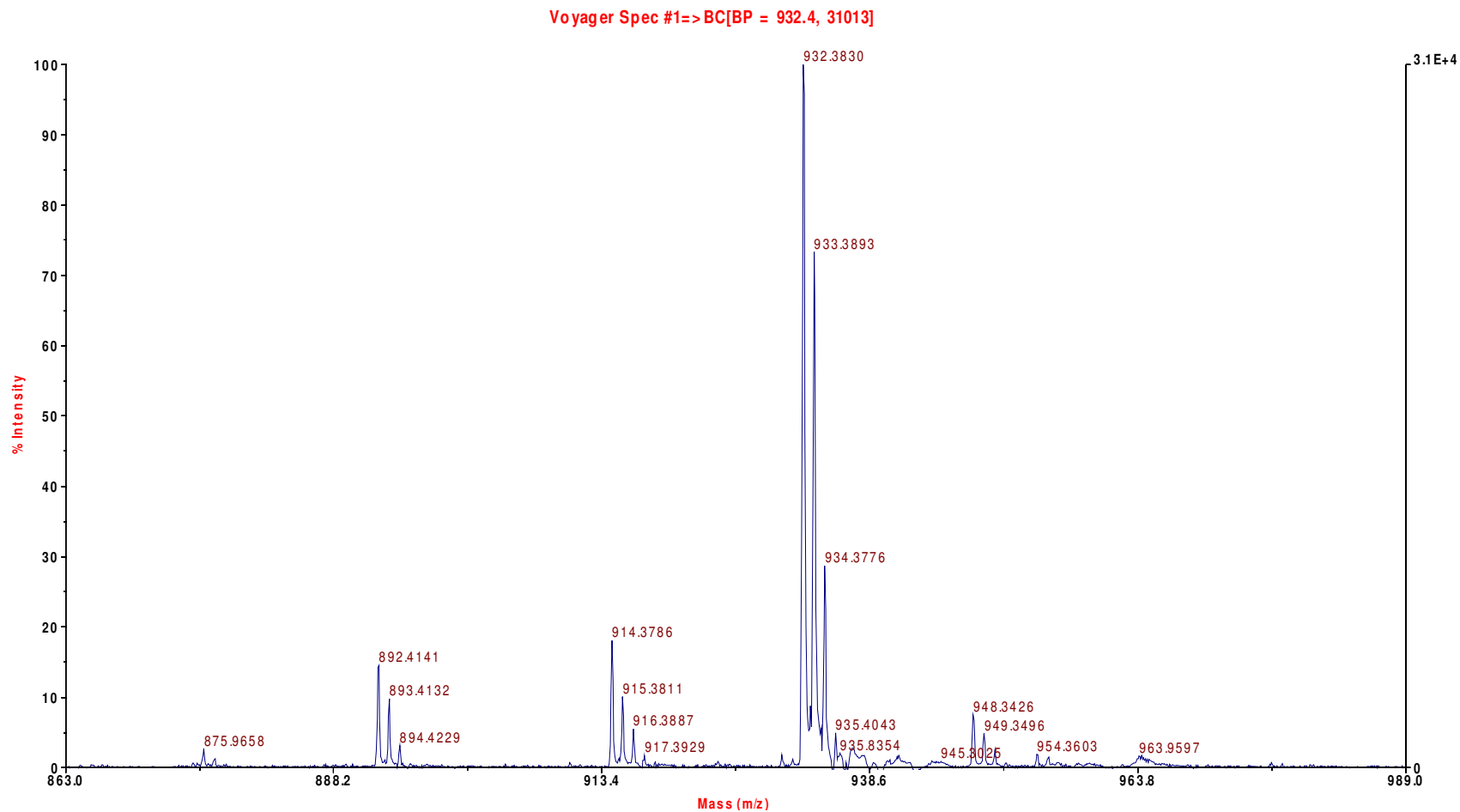


Figura 5.74- Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 11 minutos do cromatograma.
 Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

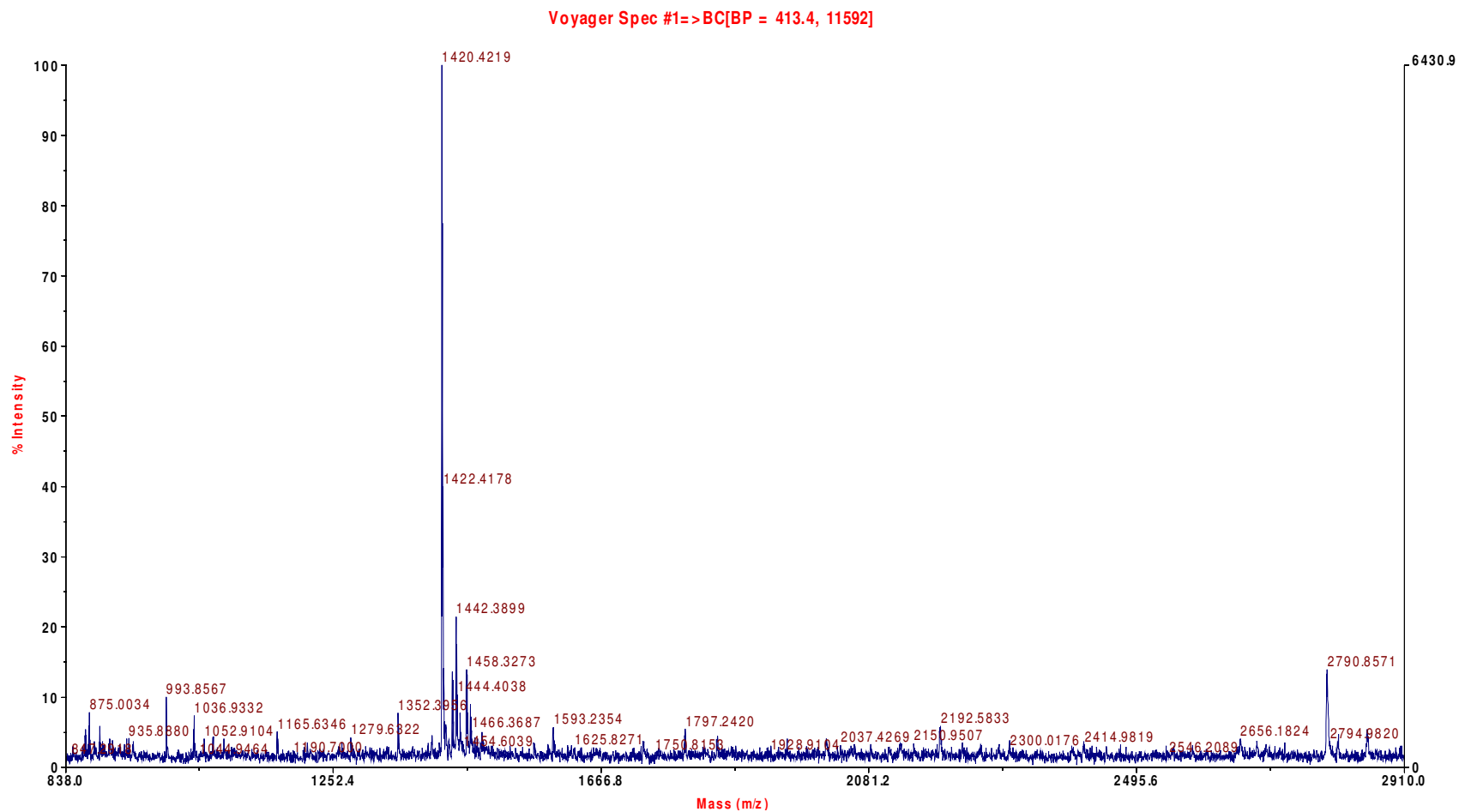


Figura 5.75 - Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 21 minutos do cromatograma.

Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

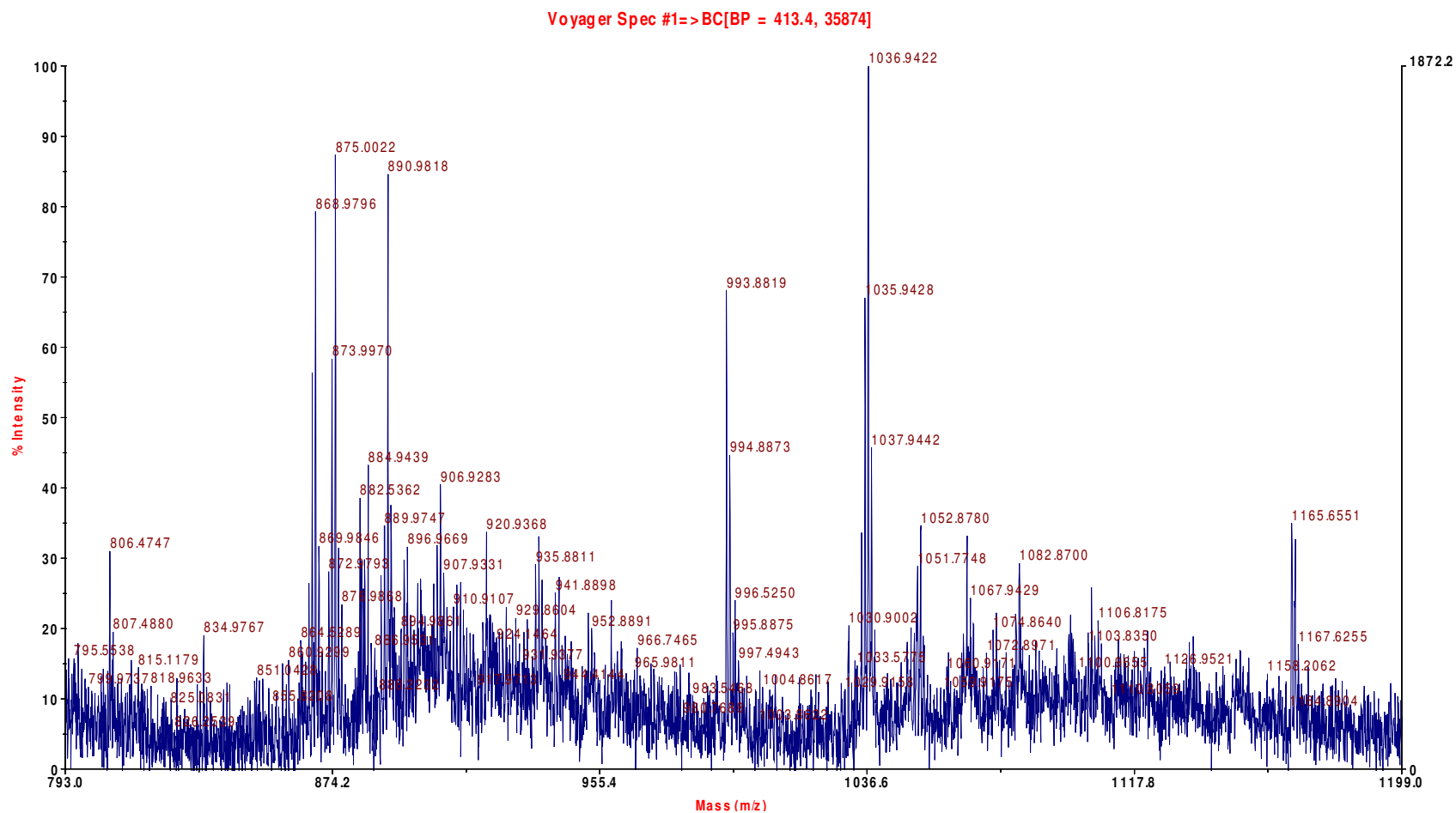


Figura 5.76 - Espectro de massa Maldi-Tof do extrato do isolado VF3 - pico 23 minutos do cromatograma.
 Nota: m/z referente ao sinal de massa mais intenso em Da

Importante salientar que os espectros gerados por Maldi-Tof foram expandidos (centralizados) para melhor visualização dos picos localizados na região com valor de massa (Da) próximo ao da microcistina-LR ($\cong 995.6$).

Observa-se que dentro das três frações do extrato VF3 obtidas na cromatografia, existem diferentes picos relacionados a uma série de peptídeos encontrados no extrato. Como o pico referente à microcistina-LR, ou mesmo às outras de microcistinas conhecidas, não foi observado em nenhuma das frações, foi feita uma busca na literatura na tentativa de se encontrar referências de novos peptídeos com atividade tóxica que possuíssem massa igual aos observados nesse estudo.

No estudo de Welker *et al.* (2007) encontra-se uma vasta lista de metabólitos secundários detectados em colônias isoladas de *Microcystis*, incluindo cianopeptolinas e diversos novos peptídeos. Porém, nenhuma similaridade foi encontrada para nenhum dos peptídeos observados nos espectros do extrato VF3.

Contudo, pelo fato de se ter encontrado 89% de identidade da seqüência do isolado VF3 com a seqüência para síntese de cianopeptolina da cepa *Microcystis* sp. NIVA-CYA 172/5, um dos peptídeos isolados pode, possivelmente, ser uma cianopeptolina.

Provavelmente, devido à ocorrência de possíveis mudanças nas moléculas desses peptídeos como, por exemplo, a adição de um grupo sulfato ou até mesmo a presença de íons (H^+ e Na^+), não foi possível identificar nenhum peptídeo comum aos descritos na literatura. Como análises mais aprofundadas para a caracterização da provável molécula com atividade tóxica não foram realizadas, não foi possível identificar o peptídeo, contido no extrato do isolado VF3, responsável pela inibição da enzima fosfatase.

6 CONCLUSÕES

Como conclusões obtidas do desenvolvimento desse estudo e tendo como premissa proposta/objetivo inicial do trabalho de buscar as associações entre os parâmetros bióticos e abióticos do reservatório de Vargem das Flores e a ocorrência de cianobactérias, pode-se concluir:

- Os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água amostrada na estação 1, localizada próxima à torre de tomada d'água da ETA, apresentam características diferenciadas das demais estações, quase sempre apresentando melhor qualidade;
- A estação 2, localizada no encontro dos dois braços principais, mostrou características limnológicas intermediárias em termos de qualidade dos parâmetros amostrados, quando comparada com as outras estações;
- As estações 3 e 4, localizadas na chegada do córrego Água Suja e do ribeirão Betim, respectivamente, parecem ter a dinâmica da coluna d'água afetada diretamente pela qualidade da água dos afluentes;
- Em geral, foi observada estratificação da coluna d'água, apresentando anoxia e maior concentração de nutrientes no hipolímnio durante o período chuvoso (verão) e circulação da massa d'água no período seco (inverno);
- O período chuvoso apresentou as maiores variações nos parâmetros amostrados entre as profundidades e entre as estações, podendo ser caracterizado como período de ocorrência das cianobactérias;
- No período seco, caracterizado pela circulação da coluna d'água, os grupos predominantes do fitoplâncton foram Bacillariophyta e fitoflagelados, que se alternaram durante o período;
- A sucessão observada dentro do grupo das cianobactérias (*Aphanocapsa* sp em detrimento das *Microcystis* spp) pode ser um indicativo de mudança das características da água do manancial;
- Uma concentração mais elevada de fósforo foi verificada sempre antes do aparecimento das cianobactérias, indicando a relação desse nutriente com a ocorrência do grupo;

- As análises de agrupamento confirmaram o comportamento diferenciado da estação 1 em relação às demais, tanto na avaliação global quanto nas avaliações individualizadas por profundidade, por estar localizada na região limnética e sofrer menos influência dos tributários, caracterizando a autodepuração da água do reservatório;
- As características similares, já indicadas pelas análises univariadas, agruparam as estações 3 e 4 em quase todas as profundidades;
- As análises de componentes principais mostraram que no período chuvoso, onde ocorreram as concentrações mais elevadas de cianobactérias, o grupo aparece sempre correlacionado com as algas das classes Bacillariophyta e Chlorophyta;
- Em geral, pode ser percebido um padrão de correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de ortofosfato, evidenciando-se o consumo desse nutriente;
- As associações observadas na profundidade de extinção do disco de Secchi parecem ser representativas das relações existentes no sistema como um todo;
- Embora pela taxonomia clássica as cianobactérias isoladas do manancial de Vargem das Flores tenham sido classificadas como *Sphaerocavum brasiliense*, na identificação molecular foram incluídas no gênero *Microcystis*;
- Os resultados da investigação da presença dos genes da síntese de microcistina mostraram que as cianobactérias isoladas apresentaram apenas parte desses genes;
- Apenas uma das cianobactérias isoladas (isolado VF3) apresentou atividade tóxica por inibição da enzima fosfatase (PP2A), contudo não foi evidenciada a presença de microcistinas;
- Os resultados do estudo genético indicaram a presença de formas clonais entre os isolados de cianobactérias do manancial, assim como prováveis cepas com diferenciação no genoma.

7 RECOMENDAÇÕES

- Investigar as prováveis causas da sucessão das espécies de cianobactérias observadas no reservatório;
- Investigar a relação entre a variação na população de cianobactérias e a presença de cianotoxinas no ambiente, caso sejam observadas florações tóxicas;
- Investigar a razão da presença apenas parcial dos genes da síntese de microcistinas no genoma s das cianobactérias isoladas do manancial;
- Para a identificação do peptídeo responsável pela atividade tóxica do extrato do isolado VF3, realizar a caracterização dos peptídeos encontrados com a análise por Maldi-Tof;
- Avaliar a influência de parâmetros morfométricos, assim como do tempo de detenção hidráulica, na dinâmica da ocorrência de cianobactérias;
- Quando houver maior ocorrência de cianobactérias, realizar a alteração na profundidade de captação da água, escolhendo-se a camada abaixo da zona eufótica, visando diminuir o número de células de cianobactérias aduzidas à ETA. Para tanto, torna-se necessário avaliar os possíveis impactos causados no tratamento pela adução de água com maior concentração de compostos reduzidos provenientes do fundo;
- Otimizar a instalação de estações de tratamento de esgotos na bacia de drenagem do reservatório visando diminuir a concentração de nutrientes carregadas para o reservatório.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20^aed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 1998.
- AMÉ, M.V.; WUNDERLIN, D.A. Effects of iron, ammonium and temperature on microcystin content by a natural concentrated *Microcystis aeruginosa* population. *Water, Air and Soil Pollution*. v.168, p. 235-248, 2005.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3. Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, v.80, n. 1-4, p.327-472, 1988.
- ARCIFA, M.S.; GUAGNONI, W. A new model of enclosure for experiments in lentic water. *Acta Limnol. Bras.*, v. 15, p.75-79, 2003.
- AZEVEDO, S.M.F.O.; CARMICHAEL, W.W.; JOCHIMSEN, E.M.; RINEHART, K.L.; LAU, S.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru – Brazil. *Toxicology*, v. 181-182, p. 441-446, 2002.
- AZEVEDO, M.T.P., SANT'ANNA, C.L. *Sphaerocavum*, a new genus of planktic cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. *Algol. Studies*, v.109, p. 79-92, 2003.
- AZEVEDO, S.M.F.O.; EVANS, W.R.; CARMICHAEL, W.W.; NAMIKOSHI, M. First Report of microcystins from a Brazilian isolate of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Journal Applied Phycology*, v.6, n. 3, p.1-5, 1994.
- BABICA, P.; BLAHA, L.; MARSALEK, B. Exploring the natural role of microcystins—a review of effects on photoautotrophic organisms. *J. Phycol.* v. 42, n.9, p.9-20, 2006.
- BICUDO, C.E.M., MENEZES, M. *Gêneros de águas continentais do Brasil (chave para identificação e descrições)*. 2 ed. RiMa, São Carlos. Brasil, 2006. 502p.
- BONNET, M.P.; POULIN, M. Numerical modeling of planktonic succession in a nutrient-rich reservoir: environmental and physiological factors leading to *Microcystis aeruginosa* dominance. *Ecol. Modelling*. N.156, p. 93-112, 2002.
- BOUVY, M.; FALCÃO, D.; MARINHO, M.; PAGANO, M.; MOURA, A. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquat. Microb. Ecol.*, v.23, p. 13-27, 2000.
- BRANCO, S.M. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 2 ed. CETESB, São Paulo. Brasil, 1986. 620p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 23 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/sitefunasa/legis/pdfs/portarias_m/pm1518_2004.pdf>. Acesso em 25 out. 2004.
- CARMICHAEL, W.W. Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins. *J. Appl. Bact.*, v. 72, p.445-459, 1992.
- CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S.M.F.O.; AN, J.; MOLICA, R.J.R.; JOCHIMSEN, E.M.; LAU, S.; RINEHART, K.I.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, n. 7, p. 663-668, 2001.

- CARMOUZE, J.P. *O metabolismo dos sistemas aquáticos – fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. FAPESP, São Paulo. Brasil, 1994. 253p.
- CHELLAPA, N. T.; COSTA, M.A.M. Dominant and co-existing species of cianobactéria from a eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte state, Brazil. *Acta Oecologica*, n.24, p. 3-10, 2003.
- CHRISTIANSEN, G.; KURMAYER, R.; LIU, q.; BÖRNER, T. Transposons inactive biosynthesis of the nonribosomal peptide microcystin in naturally occurring *Planktothrix* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* V. 72, p. 117-123, 2006.
- CHORUS, I. Watershed Management. In: *WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE*, 2001, Nashville, TN. Proceedings .Nashville: [s.n.], .p.2, 2001.
- CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management. *World Health Organization*. London and New York, 416 p, 1999.
- CHU, FS.; HUAN, X.; WEI, R. D. Enzyme-linked immunosorbent assay for microcystins in blue-green algal blooms. *J. Assoc. Anal. Chem*, v. 73, p. 451-456, 1990.
- GORHAM, P.R.; Mc LACHLAN, J.; HAMMER, U.T.; KIM, W.K. Isolation and culture of toxic strains of *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) de Bréb. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* v. 15, 796–804, 1964 *apud* COSTA, S.M; AZEVEDO, M. F. O Implantação de um banco de culturas de cianofíceas tóxicas. *Iheringia*, Porto Alegre, n. 45, p.69-74,1994.
- DITTMANN, E.; NEILAN, B.A.; ERHARD, M.; von DÖHREN, H.; BÖRNER, T. Insertional mutagenesis of a peptide synthetase gene that is responsible for hepatotoxin production in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* PCC 7806. *Molec. Microb.*, v. 26, p.779-787, 1997.
- EDWIN, W.; KARDINAAL, A.; TONK, L.; JANSE, I.; HOL, S.; SLOT, P.; HUISMAN, J.; VISSER, P.M. Competition for light between toxic and nontoxic strains of the harmful Cyanobacterium *Microcystis*. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 73, n. 9, p. 2939-2946, 2007.
- ESTEVEZ, F.A. *Fundamentos de limnologia*. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro. Brasil, 1998. 602p.
- FALCONER, I.R. Tumor promotion and liver injury caused by oral consumption of Cyanobacteria. *Environ. Toxicol. Water Qual.*, v. 6, p. 177-184, 1991.
- FIGUEREDO, C.C.; GIANI, A. Ecological interations between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) and the phytoplanktonic community of the Furnas reservoir (Brazil). *Freshw. Ecol.*, v. 50, p.1391-1403, 2005.
- FIGUEREDO, C.C.; GIANI, A. seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia.*, v. 445, p.165-174, 2001.
- FOTT, B. *Algenkunde*. 2 ed. Hufttgat. Gustav Fischer Verlag. 1983. 581p.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano, na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*. Brasília, 2003. 56p.
- GOOGLE EARTH. *Localização do reservatório de Vargem das Flores/MG (b) Localização geográfica da represa*. 2008. Mapa Geográfico – MapLink / Tele Atlas. Escala 3,51 km. Disponível em: <http://earth.google.com> Acesso em: 23 de junho 2008.
- HAKANSON, L.; MALMAEUS, J.M.; BODEMER, U.; GERHARDT, V. Coefficients of variations for chlorophyll, green algae, diatoms, cryptophytes and blue-greens in rivers as a

- basis for predictive modeling and aquatic management. *Ecol. Modelling*, n. 169, p. 179-196, 2003.
- HAVENS, K. E.; THOMAS JAMES, R.; EAST., T.L.; SMITH, V. H. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environ. Pollution*. n.122, p. 379-390, 2003.
- HECKY, R.E. A biogeochemical comparison of Lakes Superior and Malawi and the limnological consequences of an endless summer. *Aqua. Ecosys. Health Mangent.* .n.3, p. 23-33, 2000.
- HERESZTYN, T.; NICHOLSON, B.C. A colorimetric protein phosphatase inhibition assay for the determination of cyanobacterial peptide hepatotoxins based on the dephosphorylation of phosphotyrosine by recombinant protein phosphatase. *Environ Toxicol.*, v. 16, p. 242-252, 2001.
- HOTTO, A.M.; SATCHWELL, M.F., BOYER,G.L. Molecular characterization of potential microcystin-producing cyanobacteria in Lake Ontario embayments and nearshore waters. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 73, n. 14, p. 4570-4578, 2007.
- HOWARD,A.; EASTHOPE, M.P. Application of a model to predict cyanobacterial growth patterns in response to climatic change at Farmoor Reservoir, Oxfordshire, UK. *Scien. Total Environ.* n.282-283, p.459-469, 2002.
- HYENSTRAND, P.; BLOMQVIST, P.; PETTERSSON, A. Factors determining cyanobacterial success in aquatic systems – a literature review. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* v. 51, p. 41-62, 1998.
- ISHIKAWA, K.; KUMAGAI, M.; VINCENT, W.F.; TSUJIMURA, S.; NAKAHARA, H. Transport and accumulation of bloom-forming cyanobacteria in a large, mid-latitude lake: the gyre-Microcystishypothesis. *Limnology*. v.3, n.2, p. 87-96, 2002.
- JACOBY, J.M.; COLLIER D.C.; WELCH E.B.; HARDY, F.J.; CRAYTON, M. Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*. *Can. J. Fish. aquat. Sci.* 57: 231–240, 2000.
- JACQUET, S.; BRIAND, J.F.; LÉBOULANGER,C.; AVOIS-JACQUET, C.; DRUART,L.; ANNEVILLE, O.; HUMBERT, J.F. The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae*. V. 4, p. 651-672, 2004.
- JARDIM, F.A.; CAVALIERI, S.O., GALLINARI, P.C., VIANNA, L.N.L. Metodologia para a contagem de cianobactérias em células/mL – um novo desafio para o analista de laboratório. *Rev. Eng. Sanit. Amb.*, v. 7, n. 3, p. 109-111, 2002.
- JARDIM, F.A.; FONSECA, Y.M.F.; VIANNA, L.N.L.; AZEVEDO, S.M.F.O.; CISCOTTO, P.H.C. Primeira ocorrência de cianobactérias tóxicas em um reservatório da COPASA – Minas Gerais – Brasil. *Revista Bios - Cadernos do Departamento de Ciências Biológicas – PUC Minas*, v.9, n. 9, p. 83-91, 2003.
- JARDIM, Fernando Antônio. *Implantação e realização de análises de cianotoxinas com avaliação do potencial tóxico em estações de tratamento da COPASA MG*. 1999. 103f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.
- JOCHIMSEN, E.M.; CARMICHAEL, W.W.; AN, J.S.; CARDO, D.; COOKSON. S.T.; HOLMES, C.E.M.; ANTUNES, M.B.; MELO, A.D.; LYRA, T.M.; BARRETO, V.S.T.; AZEVEDO, S.M.F.O.; JARVIS, W.R. Liver failure and death following exposure to

- microcystin toxins at a hemodialysis center in Brazil. *The New England Journal of Medicine*, v. 36, p. 373-378, 1998.
- JONES, G, Limnological study of cyanobacterial growth in three south-east Queensland reservoirs. In: DAVIS, J.R.. (Ed.) *Managing algal blooms – outcomes from CSIRO's multi-divisional blue-green algal program*. CSIRO Land and Water. Canberra. Australia. 1997. p. 51-65.
- JONES, G.J.; POPLAWSKI, W. Understanding and management of cyanobacterial blooms in sub-tropical reservoirs of Queensland, Australia. *Wat. Sci. Tech.*, v. 37, n. 2, p. 161-168, 1998.
- KAEBERNICK, M.; NEILAN, B.A. Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. *FEMS Microb. Ecol.*, v. 35, p.1-9, 2001.
- KALFF, J. *Limnology: inland water ecosystems*. Prentice-Hall, Upper Saddle River. USA. 2002. 592p.
- KENEFICK, S.L.; HRUDEY, S.E.; PREPAS, E.E.; MOTKOSKY, N.; PETERSON, H.G. Odorous substances and cyanobacterial toxins in prairie drinking water sources. *Wat. Sci. Tech.*, v. 25, n. 2, p. 147-154, 1992.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota, 1. Teil: Chlorococcales. – In: Ettl, H., Gärtner, G., Heyning, H., Mollenhauer, D. (Ed.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Gustav Fischer, Stuttgart, 1999. p.545.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota, 2. Teil: Oscillatoriales. – In: Büdel, B., Krienitz, L., Gärtner, G., Schagerl, M. (Ed.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Gustav Fischer, Stuttgart, 2005. p. 759.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 4. Nostocales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, v.82, n. 3, p.247-345, 1989.
- KURMAYER, R.; DITTMANN, E.; FASTNER, J.; CHORUS, I. Diversity of Microcystin genes within a population of the toxic Cyanobacterium *Microcystis* spp. in lake Wannsee (Berlin, Germany). *Microb. Ecol.*, v. 43, p.107-118, 2002.
- KURMAYER, R.; CHRISTIANSEN, G.; FASTNER, J.; BÖRNER, T. Abundance of active and inactive microcystin genotypes in populations of the toxic cyanobacterium *Planktothrix* spp. *Environ. Microbiol.* 6, 831-841, 2004.
- KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 47, N°. 260, 1952, pp. 583-621.
- LANCIOTTI, E.; SANTINI, C.; LUPI, E.; BURRINI, D. Actinomycetes, cyanobacteria and algae causing tastes and odours in water of the river Arno used for the water supply of Florence. *Journal Water SRT-Acqua*. v.52, p. 489-500, 2003.
- LAWTON, L. A.; EDWARDS, C.; CODD, G.A. Extraction an high-performance liquid chromatographic method for the determination of Microcystins in raq and treated waters. *Analyst*, v. 119, p. 1525-1530, 1994
- LEFLAIVE, J.; TEN-HAGE, L. Algal and cyanobacterial secondary metabolites in freshwaters: a comparison of allelopathic compounds and toxins. *Fresh. Biol.*, v. 52, n. 2, p. 199-214, 2007.
- MAGALHÃES, V.F.; SOARES, R.M.; AZEVEDO, S.M.F.O. Microcystin contamination in fish from the Jacarepagua lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health risk. *Toxicon* v. 39, 1077-1085, 2001.

MIKALSEN, B.; BOISON, G.; SKULBERG, O.M.; FASTNER, J.; DAVIES, W.; GABRIELSEN, T.M.; RUDI, K.; JAKOBSEN, K.S. Natural variation in the microcystin synthetase operon *mcyABC* and impact on microcystin production in *Microcystis* strains. *J. Bacteriol.* v.185, n. 9, p. 2774-2785, 2003.

MISCHKE, U. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecologica.* n.24 p. 11-23, 2003.

MOFFITT C.M., NEILAN B.A. Characterization of the nodularin synthetase gene cluster and proposed evolution of cyanobacterial hepatotoxins. *Appl. Environ. Microbiol.* 70, p. 6353-6362, 2004.

MOREDJO, Armand. *Avaliação dos efeitos das atividades humanas sobre o estado trófico dos açudes paraibanos, com ênfase na utilização da comunidade zooplanctônica como bioindicador.* 1998. 135f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1998.

MUR, L.R.; SKULBERG, O.M., UTKILEN, H. Cyanobacteria in the environment. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Ed.) *Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management.* World Health Organization. London and New York, 1999. p. 15-40.

NEILAN, B.A.; DITTMANN, E.; ROUHIAINEN, L.; BASS, A.R.; SCHAUB, V.; SIVONEN, K.; BÖRNER, T. Nonribosomal peptide synthesis and toxigenicity of cyanobacteria. *J. Bact.*, v. 181, p.4089-4097, 1999.

NEILAN B.A., BURNS B.P., RELMAN D., LOWE D. Molecular identification of cyanobacteria associated with stromatolites from distinct geographical locations. *Astrobiology*, v. 2, p. 271-280, 2002.

NEILAN, B.A., JACOBS, D. GOODMAN, A. genetic diversity and phylogeny of toxic cyanobacteria determined by DNA polymorphisms within the phycocyanin locus. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 61, n. 11, p. 3875-3883, 1995.

OLIVEIRA, M. C. B. Detection of potential microcystin-producing cyanobacteria in Brazilian reservoirs with a *mcyB* molecular marker. *Harmful Algae* v. 2, p. 51–60, 2003.

OLIVER, R.L., GANF, G.G. Freshwater blooms. In: WHITTON, B.A., POTTS, M. (Ed.) *The ecology of cyanobacteria – their diversity in time and space.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. 2000. p. 149-194.

PÁDUA, V.L. *Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas para tratamento de água para consumo humano.* Projeto PROSAB, ABES, Rio de Janeiro, 504p, 2006.

PARANHOS, R. *Alguns métodos para análise da água.* UFRJ (Ed.) Sub-Reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Docente/SR-1 (Cadernos didáticos UFRJ). Rio de Janeiro. 1996. 200p.

PARK, H.D.; KIM, B.; KIM, E.; OKINO, T. Hepatotoxic microcystins and neurotoxic anatoxin-a in cyanobacterial blooms from Korean lakes. *Environ. Toxicol. Water Qual.*, n. 13, p. 225-234, 1998.

Prefeitura Municipal de Contagem/MG. Disponível em <<http://www.contagem.mg.gov.br/>>. Acesso em 06 de fevereiro de 2008.

QUEESLAND HEALTH. Queensland Government. Environmental Health Unit. Environmental Health Assessment Guidelines: *Cyanobacteria in recreational and drinking waters.* Brisbane, 2001. 22p.

- RAPALA, J. (1998) *Toxin Production by Freshwater Cyanobacteria: effects of Environmental Factors*. Dissertaciones Biocentri Viikki Universitatis Helsingiensis. Department of Applied Chemistry and Microbiology - University of Helsinki, Finland, 1998. 591p.
- RAPALA, J.; SIVONEM, K.; LUUKKAINEN, R.; NIEMELA, S.I. Anatoxin-a concentration in *Anabaena* and *Aphanizomenon* under different environmental conditions and comparison of growth by toxic and non-toxic *Anabaena*-strains – a laboratory study. *J. Appl. Phycol.* n.5, p. 581-591, 1993.
- REEDERS, H.H.; BOERS, P.C.M.; van der MOLEN, D.T.; HELMERHOST, T. H. Cyanobacterial dominance in the lakes Veluwemeer and Wolderwijd, the Netherlands. *Wat. Sci. Tech.* v. 37, n. 3, p. 85–92, 1998.
- REYNOLDS, C. S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia*, v. 369/370, p. 11–26, 1998.
- ROBSON, B.J.; HAMILTON, D.P. Three-dimensional modeling of a *Microcystis* bloom event in the Swan River estuary, Western Australia. *Ecol. Modelling*, n. 174, p. 203-222, 2004.
- RODIER, J. *Análisis de las aguas – aguas naturales, aguas residuales, águas de mar*. OMEGA (Ed), Barcelona. 1981. 1057p.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Contribution to the knowledge of potentially toxic cyanobacteria from Brazil. *Nova Hedwigia*, v.71, p. 359-385, 2000.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Oscillatoriaceae (Cyanophyceae) from São Paulo State, Brazil. *Nova Hedwigia*, v.16, p. 89-131, 1989.
- SCHÄFER, A. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Ed. da UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 1984. 532p.
- SHERMAN, B.S., WEBSTER, I.T., JONES, G.J., OLIVER, R.L. Transitions between *Aulacoseira* e *Anabaena* dominance in a turbid river weir pool. *Limnol. Oceanogr.* v.43, n. 8, p. 1902-1915, 1998.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. 1988. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, second edition, New York: McGraw-Hill, 399 pp.
- SILVA, Caroline Souza Pamplona da. *Caracterização molecular de cianobactérias brasileiras e distribuição de genes de produtos naturais*. 2006. 93f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- SIVONEN, K.; JONES, G. Cyanobacterial toxins. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Ed.) *Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management*. World Health Organization. London and New York, 1999. p. 41-111.
- SOUZA, Amilton Diniz. *Variações espaciais e temporais de parâmetros de qualidade de água em um reservatório tropical (represa de Vargem das Flores – Contagem – MG) e suas implicações com aspectos limnológicos*. 2003. 245f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- STATISTICA 6.1 STATSOFT, Inc., Tulsa, USA, 2003.
- STAUFFER, R.E. Nutrient internal cycling and the trophic regulation of Green Lake, Wisconsin. *Limnol. Oceanogr.* n.30, p. 347-363, 1985.

- STOCKNER, J. G.; CALLIERI, C.; CRONBERG, G. Picoplankton and other non-bloom forming Cyanobacteria in lakes. In: WHITTON, B. A.; POTTS, M., ed. *The Ecology of Cyanobacteria: Their diversity in time and space*. Dordrecht/London/Boston. Kluwer Academic Publishers, 2000, 7, 195-231.
- STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J.G. *Gerenciamento da qualidade da água de represas*. TUNDISI, J.G. (Ed.), ILEC; IIE, São Carlos, 2000, 258p.
- TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S.; HAGE, E. Epidemia de gastroenterite na área da barragem de Itaparica, Bahia. *Bol. Sanit. Panam.*, v.114, n. 6, p. 502-511, 1993.
- TILLET, D.; DITTMANN, E.; ERHARD, M.; VON DOHREN, H.; BORNER, T.; NEILAN, B. A. Structural organization of microcystin biosynthesis in *Microcystis aeruginosa* PCC7806: an integrated peptide-polyketide synthetase system. *Chemistry & Biology*, v. 7, p.753-764, 2000.
- UENO. Y.; NAGATA, S.; TSUTSUMI, T.; HASEGAWA, A.; WATANABE, M.F.; PARK, H.-D.; CHEN. G.-C.; CHEN, G.; YU, S.Z.. Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. *Carcinogenesis*, v.17, n.6, p. 1317-1321, 1996.
- VASCONCELOS, V.M.; EVANS, W.R.; CARMICHAEL, W.W.; NAMIKOSHI, M. Isolation of microcystin-LR from a *Microcystis* (cyanobacteria) waterbloom collected in the drinking water reservoir for Porto, Portugal. *J. Environ. Sci. Health*, v. A28, n. 9, p. 2081-2094, 1993.
- VÉZIE, C.; RAPALA, J.; VAITOMAA, J.; SEITSONEN, J.; SIVONEN, K. Effect OF Nitrogen and Phosphorus on growth of toxic and nontoxic *Microcystis* strains and on intracellular Microcystin concentrations. *Microb. Ecol.*, v.43, p.443-454, 2002.
- VIANA, T.H.; VON SPERLING, E. Qualidade de água em reservatórios do semi-árido mineiro: estudo de caso das represas do Soberbo e Ribeirão (Pedra Azul e Medina-MG). In: VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Vitória – ES, Anais... Vitória, 2002.
- VIA-ORDORIKI, L.; FASTNER, J.; KURMAYER, R.; HISBERGUES M.; DITTMANN E.; KOMAREK, J.; ERHARD, M., CHORUS I. Distribution of Microcystin-producing and non-Microcystin-producing *Microcystis* sp. in European freshwater bodies: detection of Microcystins and Microcystin genes in individual colonies. *System. Appl. Microbiol.*, v. 27, p. 592–602, 2004.
- VON RÜCKERT, G.; GIANI, A. Effect of nitrate and ammonium on the growth and protein concentration of *Microcystis viridis* Lemmermann (Cyanobacteria). *Rev. Brasil. Bot.*, v.27, n.2, p.325-331, abr., 2004.
- WELKER, M.; ŠEJNOHOVÁ, L; NÉMETHOVÁ, D.; von DÖHREN, H.; JARKOVSKÝ, J; MARŠÁLEK, B. Seasonal shifts in chemotype composition of *Microcystis* sp. communities in the pelagial and the sediment of a shallow reservoir. *Limnol. Oceanogr.*, v. 52, n.2, p. 609-619, 2007.
- WELKER, M.; von DÖHREN, H. Cyanobacterial peptides – Nature’s own combinatorial biosynthesis. *FEMS Microbial. Rev.*, v. 30, p. 530-563, 2006.
- WIEDNER, C.; VISSER, P.M.; FASTNER, J.; METCALF, J.S.; CODD, G.A.; MUR, L.R. Effects of light on the microcystin content of *Microcystis* strain PCC 7806. *Appl. Environ. Microbiol.* v.69, n.3, p. 1475-1481, 2003.

WILLÉN, T.; MATTSSON, R. Water-blooming and toxin-producing cyanobacteria in Swedish fresh and brackish waters, 1981-1995. *Hydrobiologia*, v.353, p. 181-192, 1997.

APÊNDICE A

Testes de Normalidade dos dados da Estação 1

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

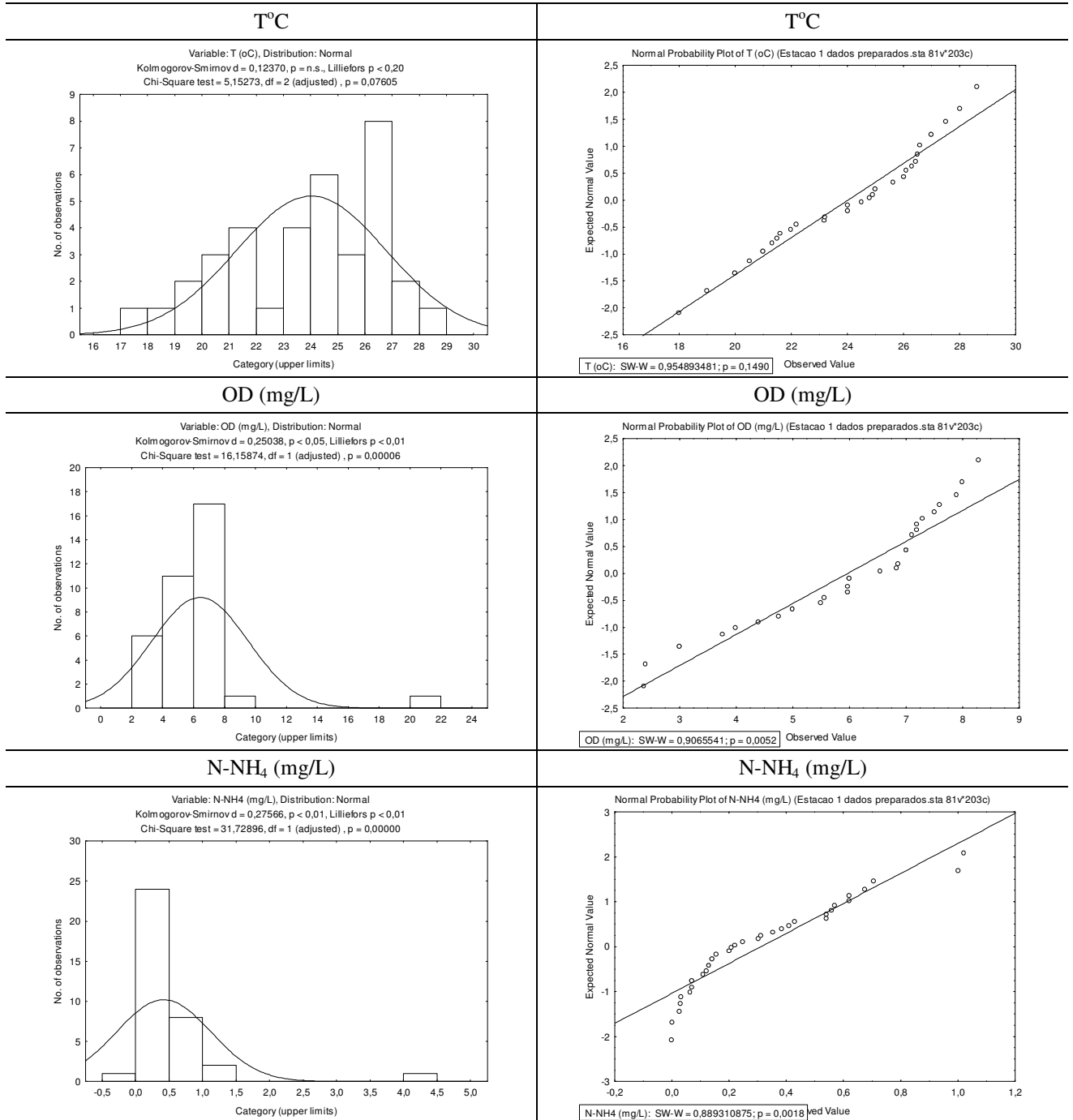


Figura A1 – Testes de normalidade dos dados de temperatura, OD e N-NH₄ da Estação 1 do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

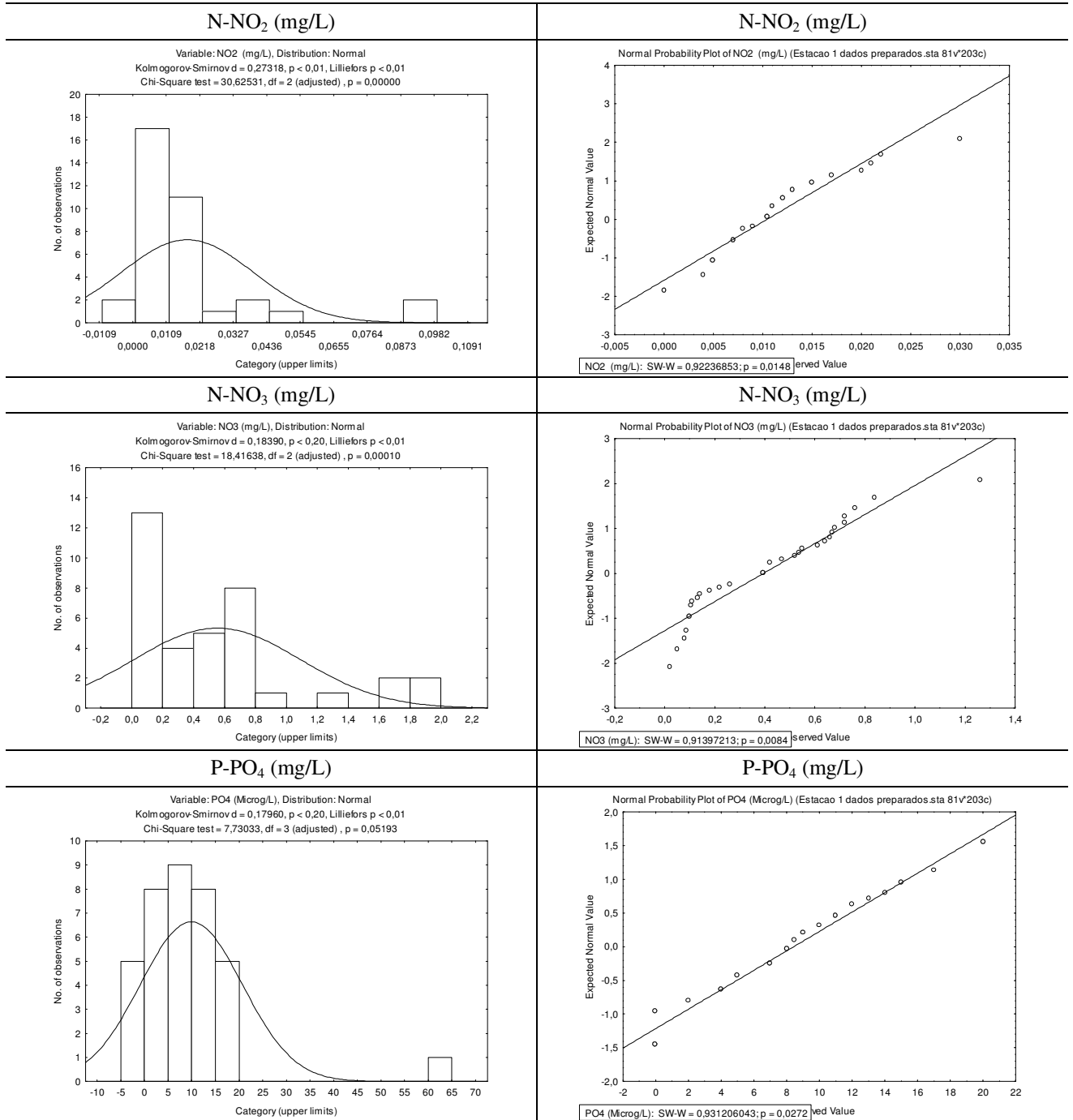


Figura A2 – Testes de normalidade dos dados de N-NO₂, N-NO₃, e P-PO₄, da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

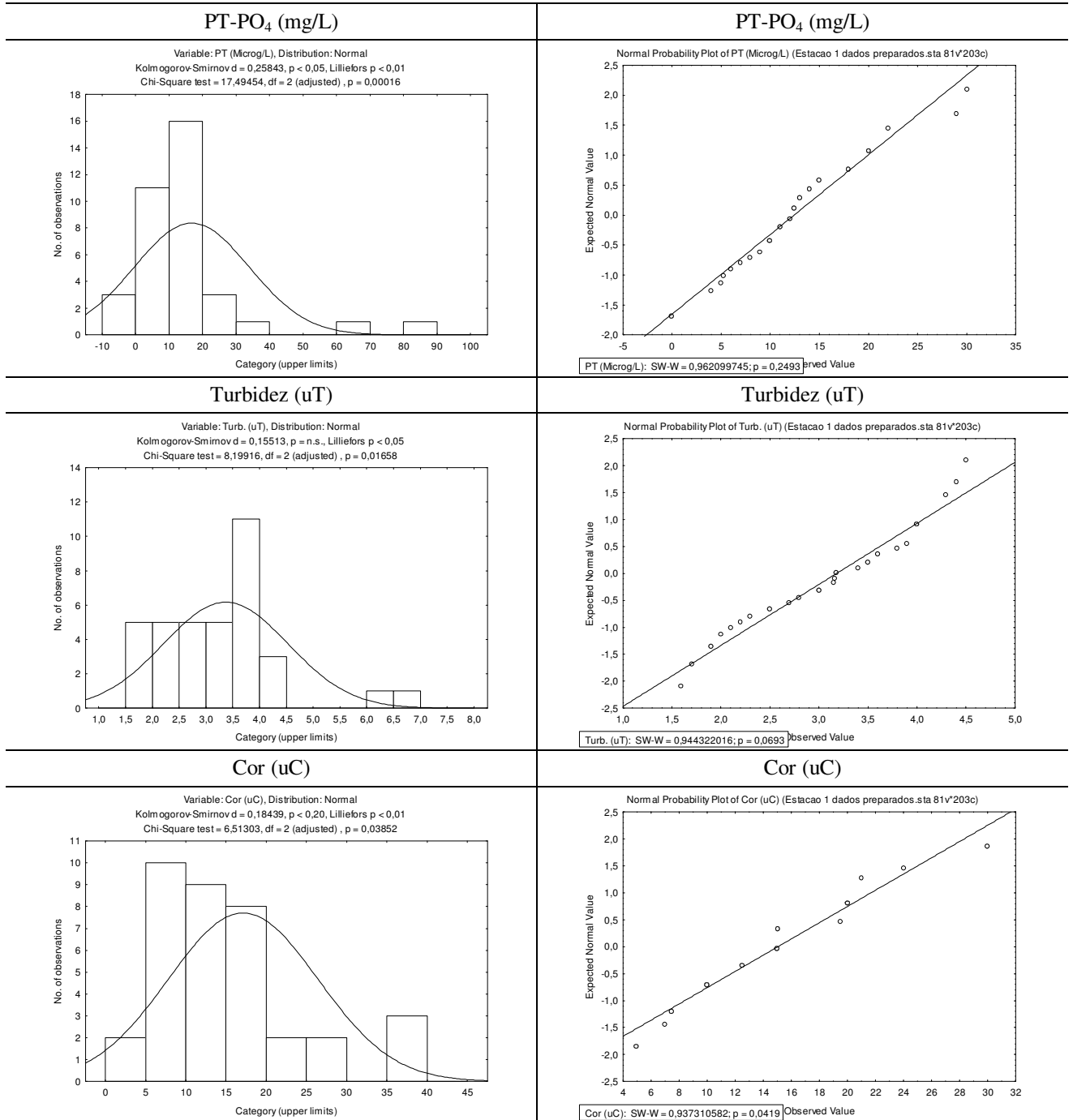


Figura A3 – Testes de normalidade dos dados de PT-PO₄, turbidez e cor, da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

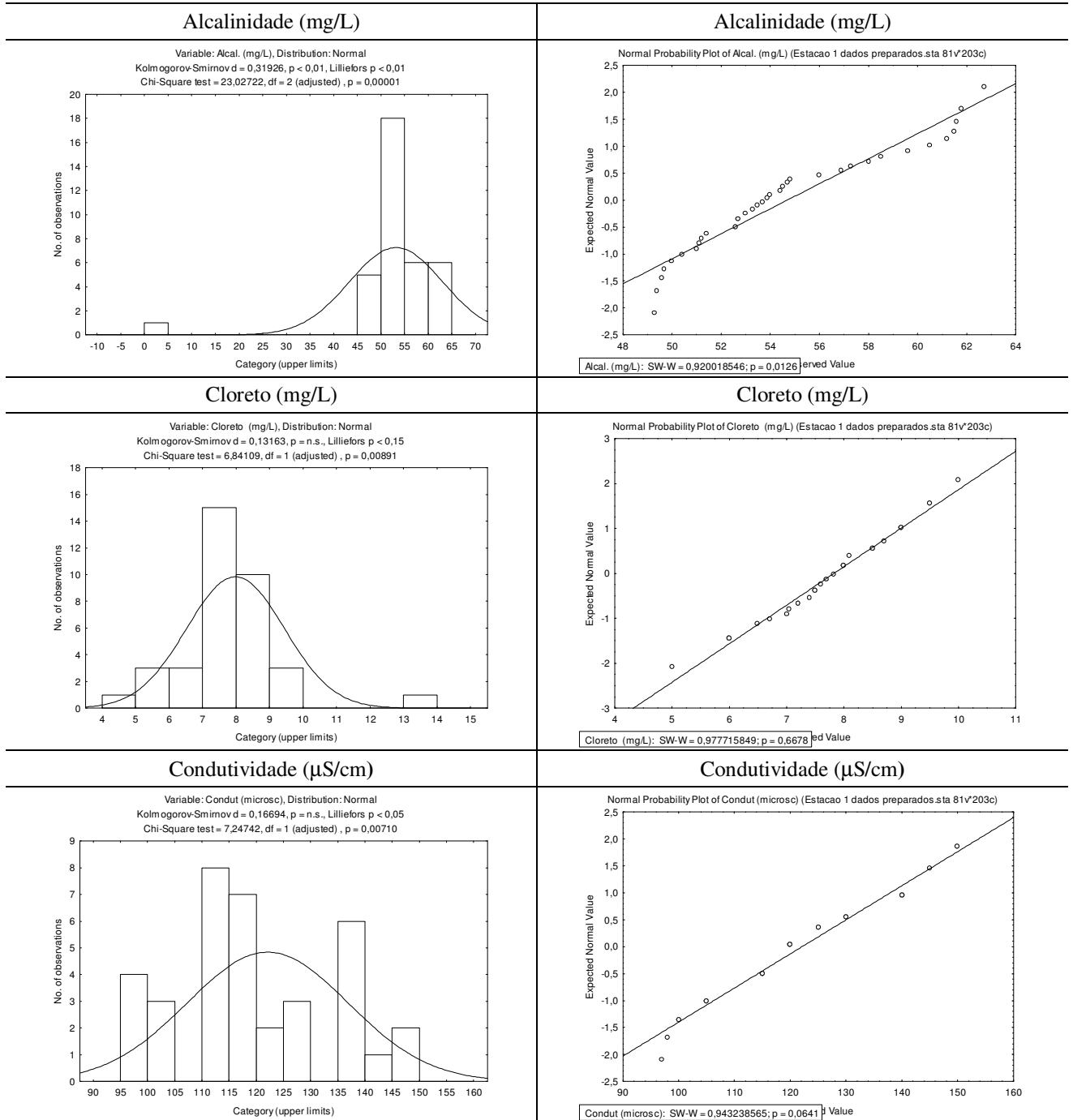


Figura A4 – Testes de normalidade dos dados de alcalinidade, cloreto e condutividade, da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

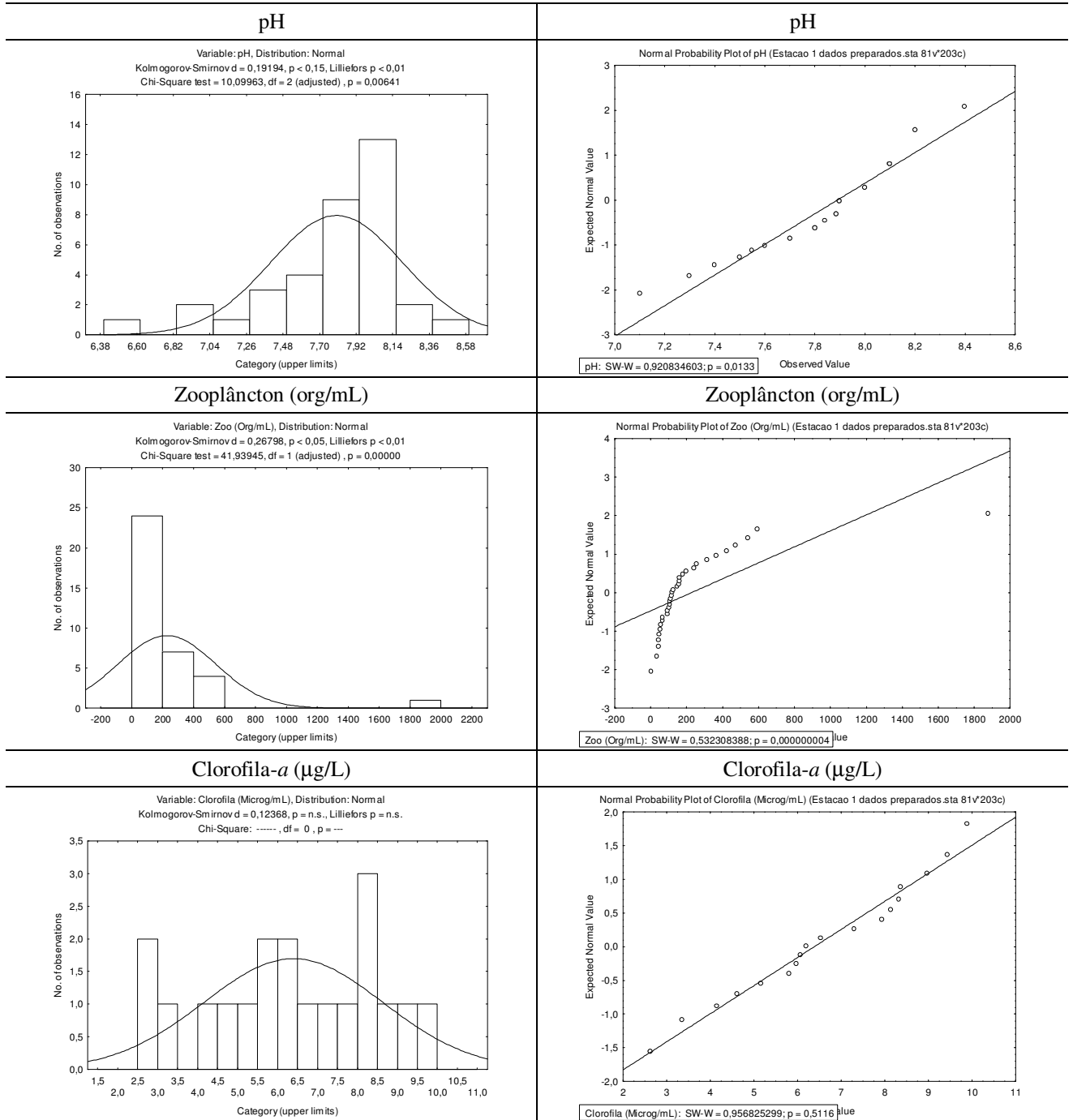


Figura A5 – Testes de normalidade dos dados de pH, zooplâncton e clorofila-a da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

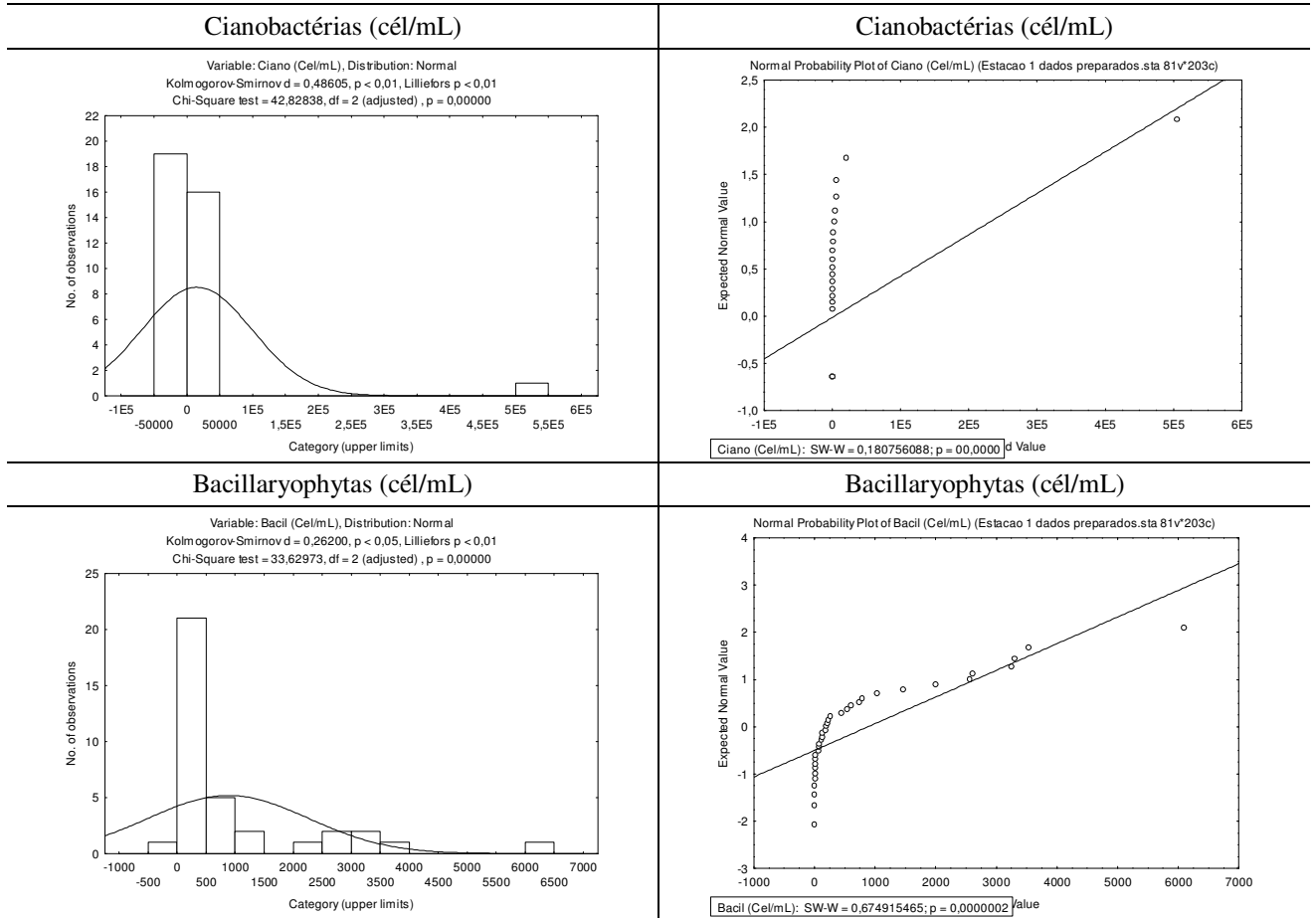


Figura A6 – Testes de normalidade dos dados de cianobactérias e bacillaryophytas da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

Testes: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors

Gráficos “Normal probability plot”

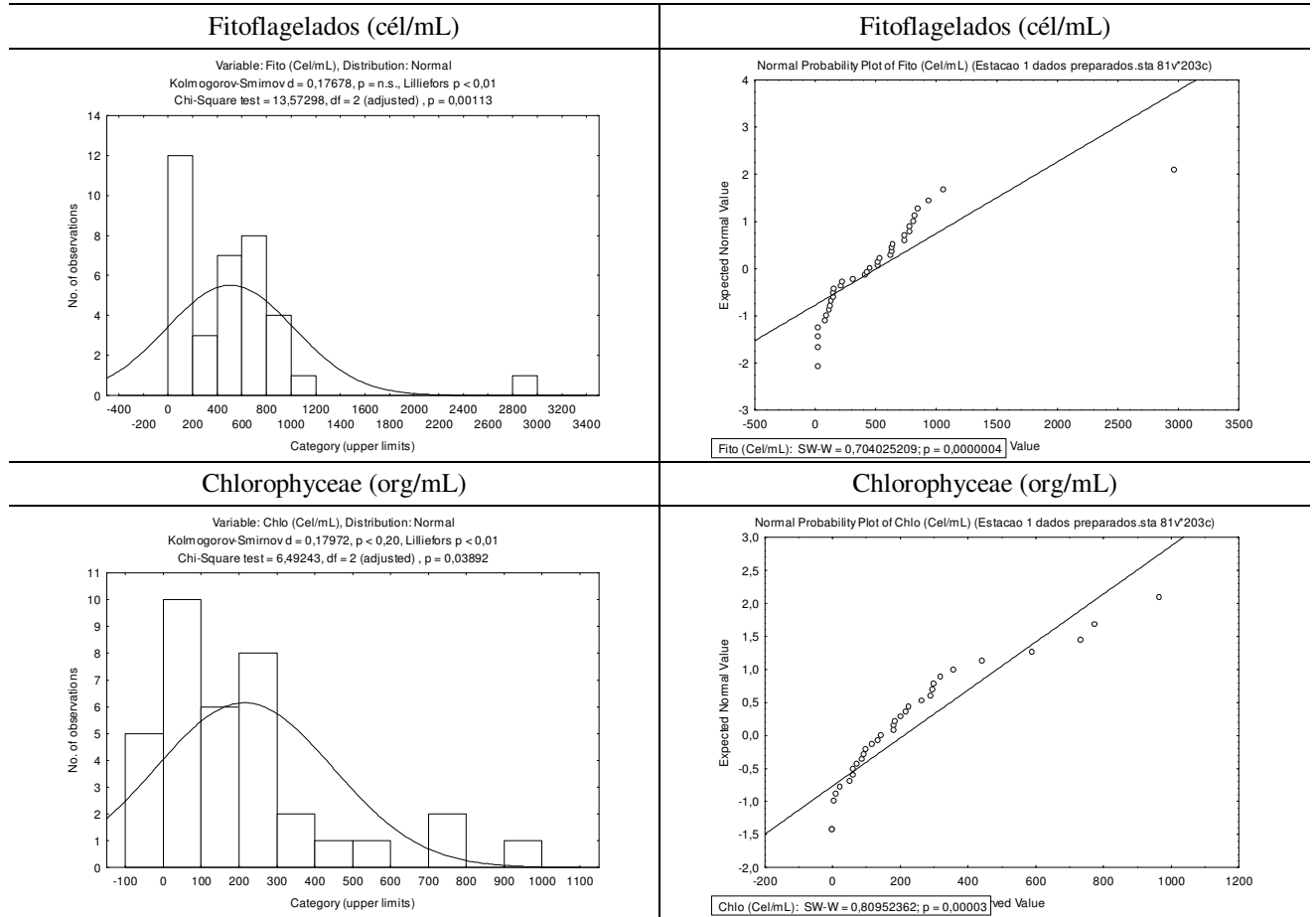


Figura A7 – Testes de normalidade dos dados de fitoflagelados, e chlorophyceas da **Estação 1** do reservatório de Vargem das Flores/MG, referentes ao período de outubro/2004 a outubro/2007

APÊNDICE B

Coeficientes de correlação para postos de Spearman

Tabela B1 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados nas quatro estações de monitoramento nas quatro profundidades do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período chuvoso (Outubro a março)

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	0,10	-0,09	-0,15	0,10	0,26	-0,12	-0,10	-0,29	-0,20	0,01	0,08	0,04	-0,27	-0,33	-0,11	-0,14	-0,02	-0,16
OD	0,10	1,00	0,04	-0,07	-0,25	-0,24	-0,13	-0,11	0,14	0,22	-0,16	0,51	0,01	0,41	0,35	0,19	0,38	0,06	0,21
NH ₄	-0,09	0,04	1,00	-0,17	-0,19	-0,27	0,04	0,36	0,47	0,18	-0,10	0,16	0,01	0,19	0,14	-0,12	-0,01	0,29	0,10
NO ₃	-0,15	-0,07	-0,17	1,00	0,01	0,19	-0,09	-0,37	0,04	0,25	0,45	-0,14	-0,12	-0,11	-0,03	0,34	0,04	-0,01	-0,31
PO ₄	0,10	-0,25	-0,19	0,01	1,00	0,66	0,21	0,01	-0,33	-0,12	0,21	-0,34	0,12	-0,13	-0,17	0,10	-0,17	-0,18	0,19
PT	0,26	-0,24	-0,27	0,19	0,66	1,00	0,09	-0,08	-0,41	-0,10	0,19	-0,38	-0,10	-0,35	-0,19	0,30	0,04	-0,13	-0,14
Turb.	-0,12	-0,13	0,04	-0,09	0,21	0,09	1,00	0,16	-0,05	0,02	0,05	-0,14	0,08	0,04	0,00	-0,07	-0,08	-0,26	0,27
Cor	-0,10	-0,11	0,36	-0,37	0,01	-0,08	0,16	1,00	-0,05	-0,18	-0,41	0,04	0,08	-0,05	-0,28	-0,32	-0,34	0,08	0,16
Alc.	-0,29	0,14	0,47	0,04	-0,33	-0,41	-0,05	-0,05	1,00	0,28	0,10	0,30	0,11	0,39	0,40	-0,02	0,14	0,27	0,13
Cl	-0,20	0,22	0,18	0,25	-0,12	-0,10	0,02	-0,18	0,28	1,00	0,35	0,13	-0,05	0,31	0,37	0,24	0,35	-0,10	0,04
Cond	0,01	-0,16	-0,10	0,45	0,21	0,19	0,05	-0,41	0,10	0,35	1,00	-0,15	0,01	-0,02	0,16	0,25	0,12	-0,22	-0,09
pH	0,08	0,51	0,16	-0,14	-0,34	-0,38	-0,14	0,04	0,30	0,13	-0,15	1,00	-0,01	0,42	0,26	0,07	0,23	0,08	-0,03
SST	0,04	0,01	0,01	-0,12	0,12	-0,10	0,08	0,08	0,11	-0,05	0,01	-0,01	1,00	0,21	0,04	-0,16	-0,13	-0,03	0,16
Ciano	-0,27	0,41	0,19	-0,11	-0,13	-0,35	0,04	-0,05	0,39	0,31	-0,02	0,42	0,21	1,00	0,53	0,02	0,24	0,06	0,21
Bac	-0,33	0,35	0,14	-0,03	-0,17	-0,19	0,00	-0,28	0,40	0,37	0,16	0,26	0,04	0,53	1,00	0,33	0,59	0,14	-0,14
Fito	-0,11	0,19	-0,12	0,34	0,10	0,30	-0,07	-0,32	-0,02	0,24	0,25	0,07	-0,16	0,02	0,33	1,00	0,51	-0,02	-0,05
Chloro	-0,14	0,38	-0,01	0,04	-0,17	0,04	-0,08	-0,34	0,14	0,35	0,12	0,23	-0,13	0,24	0,59	0,51	1,00	-0,17	-0,05
Zoo	-0,02	0,06	0,29	-0,01	-0,18	-0,13	-0,26	0,08	0,27	-0,10	-0,22	0,08	-0,03	0,06	0,14	-0,02	-0,17	1,00	-0,22
Cl-a	-0,16	0,21	0,10	-0,31	0,19	-0,14	0,27	0,16	0,13	0,04	-0,09	-0,03	0,16	0,21	-0,14	-0,05	-0,05	-0,22	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B2 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados nas quatro estações de monitoramento nas quatro profundidades do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período seco (Abril a setembro)

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	-0,46	-0,18	-0,62	0,30	0,32	0,26	0,17	-0,03	-0,05	0,19	-0,38	0,15	0,01	-0,53	-0,46	-0,43	0,00	-0,05
OD	-0,46	1,00	-0,18	0,37	-0,26	-0,18	-0,36	-0,33	-0,10	0,13	0,01	0,47	0,00	0,09	0,49	0,44	0,43	0,09	0,40
NH ₄	-0,18	-0,18	1,00	-0,34	0,03	-0,33	0,09	0,43	0,15	-0,39	-0,56	-0,34	-0,09	-0,22	-0,33	-0,34	-0,24	0,17	-0,37
NO ₃	-0,62	0,37	-0,34	1,00	-0,10	0,03	-0,40	-0,53	-0,22	0,35	0,30	0,48	-0,18	0,10	0,52	0,39	0,31	-0,02	0,27
PO ₄	0,30	-0,26	0,03	-0,10	1,00	0,30	0,21	0,15	-0,13	0,01	0,14	-0,15	0,23	0,05	-0,19	-0,33	-0,29	0,20	-0,05
PT	0,32	-0,18	-0,33	0,03	0,30	1,00	0,17	-0,17	-0,11	0,25	0,57	-0,13	0,14	0,11	-0,01	0,12	-0,07	-0,12	-0,10
Turb.	0,26	-0,36	0,09	-0,40	0,21	0,17	1,00	0,53	0,30	-0,13	0,04	-0,31	0,21	0,02	-0,40	-0,36	-0,29	0,50	-0,24
Cor	0,17	-0,33	0,43	-0,53	0,15	-0,17	0,53	1,00	0,34	-0,36	-0,23	-0,44	0,15	-0,16	-0,56	-0,42	-0,35	0,48	-0,51
Alc.	-0,03	-0,10	0,15	-0,22	-0,13	-0,11	0,30	0,34	1,00	0,17	0,14	-0,10	-0,11	0,01	-0,18	0,02	0,12	0,43	-0,31
Cl	-0,05	0,13	-0,39	0,35	0,01	0,25	-0,13	-0,36	0,17	1,00	0,55	0,30	-0,17	0,21	0,24	0,34	0,33	0,09	-0,02
Cond	0,19	0,01	-0,56	0,30	0,14	0,57	0,04	-0,23	0,14	0,55	1,00	0,10	-0,06	0,24	0,23	0,42	0,19	-0,01	0,10
pH	-0,38	0,47	-0,34	0,48	-0,15	-0,13	-0,31	-0,44	-0,10	0,30	0,10	1,00	-0,07	0,37	0,58	0,35	0,52	-0,20	0,49
SST	0,15	0,00	-0,09	-0,18	0,23	0,14	0,21	0,15	-0,11	-0,17	-0,06	-0,07	1,00	0,00	0,02	-0,14	-0,01	0,12	0,08
Ciano	0,01	0,09	-0,22	0,10	0,05	0,11	0,02	-0,16	0,01	0,21	0,24	0,37	0,00	1,00	0,40	0,16	0,27	0,07	0,44
Bac	-0,53	0,49	-0,33	0,52	-0,19	-0,01	-0,40	-0,56	-0,18	0,24	0,23	0,58	0,02	0,40	1,00	0,58	0,64	-0,23	0,64
Fito	-0,46	0,44	-0,34	0,39	-0,33	0,12	-0,36	-0,42	0,02	0,34	0,42	0,35	-0,14	0,16	0,58	1,00	0,61	-0,18	0,25
Chloro	-0,43	0,43	-0,24	0,31	-0,29	-0,07	-0,29	-0,35	0,12	0,33	0,19	0,52	-0,01	0,27	0,64	0,61	1,00	0,12	0,37
Zoo	0,00	0,09	0,17	-0,02	0,20	-0,12	0,50	0,48	0,43	0,09	-0,01	-0,20	0,12	0,07	-0,23	-0,18	0,12	1,00	-0,13
Cl-a	-0,05	0,40	-0,37	0,27	-0,05	-0,10	-0,24	-0,51	-0,31	-0,02	0,10	0,49	0,08	0,44	0,64	0,25	0,37	-0,13	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B3 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na **superfície** nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	0,25	-0,08	-0,20	0,01	0,12	-0,28	-0,21	-0,28	-0,24	0,00	0,33	-0,07	-0,18	-0,28	-0,16	-0,13	0,00	-0,19
OD	0,25	1,00	0,14	-0,01	-0,18	-0,18	-0,15	-0,02	0,11	0,19	-0,15	0,53	0,20	0,40	0,24	0,18	0,27	0,03	0,18
NH ₄	-0,08	0,14	1,00	-0,21	-0,11	-0,22	0,03	0,40	0,43	0,29	-0,19	0,14	-0,02	0,21	0,21	-0,10	0,11	0,29	0,11
NO ₃	-0,20	-0,01	-0,21	1,00	-0,19	0,04	-0,09	-0,40	0,14	0,35	0,50	-0,10	-0,10	-0,15	0,02	0,35	-0,02	-0,01	-0,31
PO ₄	0,01	-0,18	-0,11	-0,19	1,00	0,62	0,22	0,01	-0,22	-0,09	0,23	-0,34	0,08	0,00	-0,05	0,11	-0,09	-0,18	0,19
PT	0,12	-0,18	-0,22	0,04	0,62	1,00	0,04	-0,05	-0,32	-0,07	0,21	-0,31	-0,16	-0,26	-0,06	0,31	0,13	-0,13	-0,14
Turb.	-0,28	-0,15	0,03	-0,09	0,22	0,04	1,00	0,07	-0,06	-0,02	-0,02	-0,23	0,02	0,09	0,08	-0,01	-0,05	-0,26	0,27
Cor	-0,21	-0,02	0,40	-0,40	0,01	-0,05	0,07	1,00	-0,10	-0,16	-0,50	0,01	0,06	0,02	-0,18	-0,22	-0,20	0,08	0,16
Alc.	-0,28	0,11	0,43	0,14	-0,22	-0,32	-0,06	-0,10	1,00	0,33	0,17	0,25	0,12	0,35	0,40	0,07	0,19	0,27	0,13
Cl	-0,24	0,19	0,29	0,35	-0,09	-0,07	-0,02	-0,16	0,33	1,00	0,31	0,04	-0,06	0,28	0,30	0,24	0,27	-0,10	0,04
Cond	0,00	-0,15	-0,19	0,50	0,23	0,21	-0,02	-0,50	0,17	0,31	1,00	-0,07	-0,08	-0,04	0,15	0,31	0,15	-0,22	-0,09
pH	0,33	0,53	0,14	-0,10	-0,34	-0,31	-0,23	0,01	0,25	0,04	-0,07	1,00	0,03	0,27	0,06	0,07	0,16	0,08	-0,03
SST	-0,07	0,20	-0,02	-0,10	0,08	-0,16	0,02	0,06	0,12	-0,06	-0,08	0,03	1,00	0,41	0,10	-0,10	-0,10	-0,03	0,16
Ciano	-0,18	0,40	0,21	-0,15	0,00	-0,26	0,09	0,02	0,35	0,28	-0,04	0,27	0,41	1,00	0,43	-0,01	0,10	0,06	0,21
Bac	-0,28	0,24	0,21	0,02	-0,05	-0,06	0,08	-0,18	0,40	0,30	0,15	0,06	0,10	0,43	1,00	0,28	0,53	0,14	-0,14
Fito	-0,16	0,18	-0,10	0,35	0,11	0,31	-0,01	-0,22	0,07	0,24	0,31	0,07	-0,10	-0,01	0,28	1,00	0,46	-0,02	-0,05
Chloro	-0,13	0,27	0,11	-0,02	-0,09	0,13	-0,05	-0,20	0,19	0,27	0,15	0,16	-0,10	0,10	0,53	0,46	1,00	-0,17	-0,05
Zoo	0,00	0,03	0,29	-0,01	-0,18	-0,13	-0,26	0,08	0,27	-0,10	-0,22	0,08	-0,03	0,06	0,14	-0,02	-0,17	1,00	-0,22
Cl-a	-0,19	0,18	0,11	-0,31	0,19	-0,14	0,27	0,16	0,13	0,04	-0,09	-0,03	0,16	0,21	-0,14	-0,05	-0,05	-0,22	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B4 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na **superfície** nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	-0,28	-0,22	-0,59	0,20	0,07	0,09	0,22	0,02	-0,12	0,07	-0,27	0,19	0,03	-0,58	-0,41	-0,26	0,01	-0,35
OD	-0,28	1,00	-0,20	0,20	-0,20	-0,27	-0,29	-0,23	0,02	0,27	0,04	0,48	-0,02	0,09	0,47	0,24	0,41	0,15	0,64
NH ₄	-0,22	-0,20	1,00	-0,26	0,03	-0,28	0,14	0,39	0,00	-0,43	-0,61	-0,29	0,07	-0,28	-0,37	-0,36	-0,29	0,21	-0,58
NO ₃	-0,59	0,20	-0,26	1,00	-0,11	0,08	-0,31	-0,52	-0,28	0,41	0,32	0,28	-0,27	-0,10	0,43	0,21	0,06	-0,08	0,26
PO ₄	0,20	-0,20	0,03	-0,11	1,00	0,11	0,18	0,17	-0,28	-0,18	-0,10	-0,03	0,37	0,19	0,00	-0,29	-0,08	0,24	0,04
PT	0,07	-0,27	-0,28	0,08	0,11	1,00	0,21	-0,02	-0,19	0,16	0,46	-0,04	0,13	0,13	0,12	0,07	-0,27	-0,15	-0,26
Turb.	0,09	-0,29	0,14	-0,31	0,18	0,21	1,00	0,61	0,25	-0,09	-0,01	-0,22	0,09	0,15	-0,31	-0,19	-0,11	0,53	-0,32
Cor	0,22	-0,23	0,39	-0,52	0,17	-0,02	0,61	1,00	0,30	-0,41	-0,18	-0,55	0,31	-0,25	-0,54	-0,29	-0,24	0,46	-0,77
Alc.	0,02	0,02	0,00	-0,28	-0,28	-0,19	0,25	0,30	1,00	0,05	0,17	-0,25	-0,09	0,04	-0,10	0,24	0,26	0,30	-0,20
Cl	-0,12	0,27	-0,43	0,41	-0,18	0,16	-0,09	-0,41	0,05	1,00	0,58	0,24	-0,15	0,18	0,28	0,49	0,30	0,11	0,30
Cond	0,07	0,04	-0,61	0,32	-0,10	0,46	-0,01	-0,18	0,17	0,58	1,00	0,18	-0,20	0,16	0,35	0,54	0,14	-0,01	0,38
pH	-0,27	0,48	-0,29	0,28	-0,03	-0,04	-0,22	-0,55	-0,25	0,24	0,18	1,00	-0,18	0,37	0,59	0,28	0,46	-0,22	0,70
SST	0,19	-0,02	0,07	-0,27	0,37	0,13	0,09	0,31	-0,09	-0,15	-0,20	-0,18	1,00	-0,11	-0,08	-0,25	0,12	0,17	-0,22
Ciano	0,03	0,09	-0,28	-0,10	0,19	0,13	0,15	-0,25	0,04	0,18	0,16	0,37	-0,11	1,00	0,48	0,25	0,24	-0,07	0,50
Bac	-0,58	0,47	-0,37	0,43	0,00	0,12	-0,31	-0,54	-0,10	0,28	0,35	0,59	-0,08	0,48	1,00	0,53	0,58	-0,12	0,77
Fito	-0,41	0,24	-0,36	0,21	-0,29	0,07	-0,19	-0,29	0,24	0,49	0,54	0,28	-0,25	0,25	0,53	1,00	0,46	-0,02	0,30
Chloro	-0,26	0,41	-0,29	0,06	-0,08	-0,27	-0,11	-0,24	0,26	0,30	0,14	0,46	0,12	0,24	0,58	0,46	1,00	0,20	0,50
Zoo	0,01	0,15	0,21	-0,08	0,24	-0,15	0,53	0,46	0,30	0,11	-0,01	-0,22	0,17	-0,07	-0,12	-0,02	0,20	1,00	-0,08
Cl-a	-0,35	0,64	-0,58	0,26	0,04	-0,26	-0,32	-0,77	-0,20	0,30	0,38	0,70	-0,22	0,50	0,77	0,30	0,50	-0,08	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B5 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na profundidade de secchi nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	0,34	-0,15	-0,24	0,08	0,13	-0,24	-0,25	-0,30	-0,18	0,02	0,36	-0,02	-0,08	-0,30	-0,15	-0,07	-0,06	-0,12
OD	0,34	1,00	0,18	-0,11	-0,10	-0,20	-0,16	0,04	0,15	0,16	-0,23	0,49	0,29	0,48	0,16	0,05	0,21	0,08	0,22
NH4	-0,15	0,18	1,00	-0,20	-0,10	-0,23	0,04	0,40	0,46	0,32	-0,17	0,16	-0,06	0,22	0,22	-0,08	0,09	0,29	0,11
NO3	-0,24	-0,11	-0,20	1,00	-0,19	0,04	-0,09	-0,40	0,14	0,35	0,50	-0,10	-0,10	-0,15	0,02	0,35	-0,02	-0,01	-0,31
PO4	0,08	-0,10	-0,10	-0,19	1,00	0,62	0,22	0,01	-0,22	-0,09	0,23	-0,34	0,08	0,00	-0,05	0,11	-0,09	-0,18	0,19
PT	0,13	-0,20	-0,23	0,04	0,62	1,00	0,04	-0,05	-0,32	-0,07	0,21	-0,31	-0,16	-0,26	-0,06	0,31	0,13	-0,13	-0,14
Turb.	-0,24	-0,16	0,04	-0,09	0,22	0,04	1,00	0,07	-0,06	-0,02	-0,02	-0,23	0,02	0,09	0,08	-0,01	-0,05	-0,26	0,27
Cor	-0,25	0,04	0,40	-0,40	0,01	-0,05	0,07	1,00	-0,10	-0,16	-0,50	0,01	0,06	0,02	-0,18	-0,22	-0,20	0,08	0,16
Alc.	-0,30	0,15	0,46	0,14	-0,22	-0,32	-0,06	-0,10	1,00	0,33	0,17	0,25	0,12	0,35	0,40	0,07	0,19	0,27	0,13
Cl	-0,18	0,16	0,32	0,35	-0,09	-0,07	-0,02	-0,16	0,33	1,00	0,31	0,04	-0,06	0,28	0,30	0,24	0,27	-0,10	0,04
Cond	0,02	-0,23	-0,17	0,50	0,23	0,21	-0,02	-0,50	0,17	0,31	1,00	-0,07	-0,08	-0,04	0,15	0,31	0,15	-0,22	-0,09
pH	0,36	0,49	0,16	-0,10	-0,34	-0,31	-0,23	0,01	0,25	0,04	-0,07	1,00	0,03	0,27	0,06	0,07	0,16	0,08	-0,03
SST	-0,02	0,29	-0,06	-0,10	0,08	-0,16	0,02	0,06	0,12	-0,06	-0,08	0,03	1,00	0,41	0,10	-0,10	-0,10	-0,03	0,16
Ciano	-0,08	0,48	0,22	-0,15	0,00	-0,26	0,09	0,02	0,35	0,28	-0,04	0,27	0,41	1,00	0,43	-0,01	0,10	0,06	0,21
Bac	-0,30	0,16	0,22	0,02	-0,05	-0,06	0,08	-0,18	0,40	0,30	0,15	0,06	0,10	0,43	1,00	0,28	0,53	0,14	-0,14
Fito	-0,15	0,05	-0,08	0,35	0,11	0,31	-0,01	-0,22	0,07	0,24	0,31	0,07	-0,10	-0,01	0,28	1,00	0,46	-0,02	-0,05
Chloro	-0,07	0,21	0,09	-0,02	-0,09	0,13	-0,05	-0,20	0,19	0,27	0,15	0,16	-0,10	0,10	0,53	0,46	1,00	-0,17	-0,05
Zoo	-0,06	0,08	0,29	-0,01	-0,18	-0,13	-0,26	0,08	0,27	-0,10	-0,22	0,08	-0,03	0,06	0,14	-0,02	-0,17	1,00	-0,22
Cl-a	-0,12	0,22	0,11	-0,31	0,19	-0,14	0,27	0,16	0,13	0,04	-0,09	-0,03	0,16	0,21	-0,14	-0,05	-0,05	-0,22	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B6 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados na profundidade de secchi nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro	Zoo	Cl-a
T	1,00	-0,45	-0,24	-0,65	0,31	0,32	0,22	0,10	-0,23	-0,22	0,08	-0,39	0,23	0,02	-0,42	-0,32	-0,36	-0,02	0,09
OD	-0,45	1,00	-0,05	0,53	-0,30	0,00	-0,34	-0,28	-0,19	0,18	-0,02	0,42	0,06	0,12	0,33	0,37	0,31	0,03	0,25
NH4	-0,24	-0,05	1,00	-0,31	-0,05	-0,41	0,03	0,31	0,14	-0,38	-0,60	-0,37	-0,32	-0,32	-0,17	-0,20	0,00	0,15	-0,29
NO3	-0,65	0,53	-0,31	1,00	-0,18	-0,05	-0,51	-0,57	-0,06	0,58	0,51	0,52	-0,08	0,23	0,61	0,50	0,31	0,01	0,26
PO4	0,31	-0,30	-0,05	-0,18	1,00	0,20	0,20	0,23	-0,04	0,06	0,13	-0,21	0,03	0,07	-0,15	-0,24	-0,31	0,17	-0,10
PT	0,32	0,00	-0,41	-0,05	0,20	1,00	0,06	-0,23	-0,23	0,32	0,52	-0,01	0,23	0,31	0,05	0,26	0,04	-0,09	0,00
Turb.	0,22	-0,34	0,03	-0,51	0,20	0,06	1,00	0,61	0,22	-0,28	0,01	-0,36	0,13	0,07	-0,41	-0,33	-0,32	0,45	-0,18
Cor	0,10	-0,28	0,31	-0,57	0,23	-0,23	0,61	1,00	0,49	-0,43	-0,19	-0,52	0,01	-0,17	-0,53	-0,45	-0,27	0,49	-0,39
Alc.	-0,23	-0,19	0,14	-0,06	-0,04	-0,23	0,22	0,49	1,00	0,22	0,13	-0,12	-0,15	0,00	-0,15	-0,09	0,11	0,56	-0,38
Cl	-0,22	0,18	-0,38	0,58	0,06	0,32	-0,28	-0,43	0,22	1,00	0,61	0,36	-0,23	0,25	0,24	0,31	0,34	0,08	-0,22
Cond	0,08	-0,02	-0,60	0,51	0,13	0,52	0,01	-0,19	0,13	0,61	1,00	0,16	0,16	0,34	0,19	0,43	0,16	0,00	-0,04
pH	-0,39	0,42	-0,37	0,52	-0,21	-0,01	-0,36	-0,52	-0,12	0,36	0,16	1,00	0,12	0,45	0,67	0,33	0,56	-0,18	0,38
SST	0,23	0,06	-0,32	-0,08	0,03	0,23	0,13	0,01	-0,15	-0,23	0,16	0,12	1,00	0,13	0,06	0,06	-0,04	0,04	0,27
Ciano	0,02	0,12	-0,32	0,23	0,07	0,31	0,07	-0,17	0,00	0,25	0,34	0,45	0,13	1,00	0,53	0,16	0,37	0,14	0,43
Bac	-0,42	0,33	-0,17	0,61	-0,15	0,05	-0,41	-0,53	-0,15	0,24	0,19	0,67	0,06	0,53	1,00	0,58	0,61	-0,29	0,58
Fito	-0,32	0,37	-0,20	0,50	-0,24	0,26	-0,33	-0,45	-0,09	0,31	0,43	0,33	0,06	0,16	0,58	1,00	0,50	-0,30	0,21
Chloro	-0,36	0,31	0,00	0,31	-0,31	0,04	-0,32	-0,27	0,11	0,34	0,16	0,56	-0,04	0,37	0,61	0,50	1,00	0,05	0,28
Zoo	-0,02	0,03	0,15	0,01	0,17	-0,09	0,45	0,49	0,56	0,08	0,00	-0,18	0,04	0,14	-0,29	-0,30	0,05	1,00	-0,17
Cl-a	0,09	0,25	-0,29	0,26	-0,10	0,00	-0,18	-0,39	-0,38	-0,22	-0,04	0,38	0,27	0,43	0,58	0,21	0,28	-0,17	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B7 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados a cinco metros nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,03	-0,11	-0,19	0,07	0,26	-0,12	-0,06	-0,26	-0,24	-0,11	-0,01	-0,08	-0,34	-0,33	0,12	-0,22
OD	-0,03	1,00	0,15	-0,04	-0,34	-0,28	-0,07	0,00	0,18	0,27	-0,18	0,54	-0,08	0,32	0,33	-0,03	0,29
NH4	-0,11	0,15	1,00	-0,13	-0,26	-0,31	0,01	0,29	0,57	0,15	-0,15	0,31	0,16	0,30	0,24	-0,02	0,03
NO3	-0,19	-0,04	-0,13	1,00	0,19	0,38	-0,06	-0,46	0,02	0,15	0,42	-0,28	-0,17	-0,10	-0,02	0,37	0,22
PO4	0,07	-0,34	-0,26	0,19	1,00	0,67	0,22	-0,10	-0,32	-0,10	0,26	-0,38	0,07	-0,20	-0,23	0,17	-0,30
PT	0,26	-0,28	-0,31	0,38	0,67	1,00	0,01	-0,28	-0,40	-0,14	0,21	-0,41	-0,16	-0,38	-0,21	0,48	0,02
Turb.	-0,12	-0,07	0,01	-0,06	0,22	0,01	1,00	0,13	-0,02	0,21	0,19	-0,15	0,06	0,02	-0,09	-0,20	-0,13
Cor	-0,06	0,00	0,29	-0,46	-0,10	-0,28	0,13	1,00	-0,06	-0,22	-0,44	0,17	0,02	-0,11	-0,35	-0,28	-0,36
Alc.	-0,26	0,18	0,57	0,02	-0,32	-0,40	-0,02	-0,06	1,00	0,30	0,07	0,37	0,23	0,51	0,51	-0,17	0,24
Cl	-0,24	0,27	0,15	0,15	-0,10	-0,14	0,21	-0,22	0,30	1,00	0,26	0,26	0,11	0,49	0,47	0,09	0,50
Cond	-0,11	-0,18	-0,15	0,42	0,26	0,21	0,19	-0,44	0,07	0,26	1,00	-0,18	0,11	0,10	0,25	0,18	0,14
pH	-0,01	0,54	0,31	-0,28	-0,38	-0,41	-0,15	0,17	0,37	0,26	-0,18	1,00	0,13	0,48	0,35	-0,13	0,09
SST	-0,08	-0,08	0,16	-0,17	0,07	-0,16	0,06	0,02	0,23	0,11	0,11	0,13	1,00	0,22	0,24	0,00	0,10
Ciano	-0,34	0,32	0,30	-0,10	-0,20	-0,38	0,02	-0,11	0,51	0,49	0,10	0,48	0,22	1,00	0,62	-0,18	0,30
Bac	-0,33	0,33	0,24	-0,02	-0,23	-0,21	-0,09	-0,35	0,51	0,47	0,25	0,35	0,24	0,62	1,00	0,21	0,59
Fito	0,12	-0,03	-0,02	0,37	0,17	0,48	-0,20	-0,28	-0,17	0,09	0,18	-0,13	0,00	-0,18	0,21	1,00	0,43
Chloro	-0,22	0,29	0,03	0,22	-0,30	0,02	-0,13	-0,36	0,24	0,50	0,14	0,09	0,10	0,30	0,59	0,43	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B8 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados a cinco metros nas estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,43	-0,27	-0,59	0,13	0,32	0,28	0,02	0,03	0,06	0,16	-0,35	0,04	-0,04	-0,57	-0,51	-0,52
OD	-0,43	1,00	-0,19	0,21	-0,13	-0,12	-0,32	-0,26	-0,21	-0,01	0,12	0,38	0,21	0,15	0,64	0,49	0,49
NH4	-0,27	-0,19	1,00	-0,23	0,02	-0,47	0,08	0,49	0,10	-0,37	-0,61	-0,31	-0,14	-0,10	-0,34	-0,34	-0,28
NO3	-0,59	0,21	-0,23	1,00	0,13	0,40	-0,28	-0,43	-0,20	0,07	0,28	0,43	-0,17	0,03	0,38	0,35	0,30
PO4	0,13	-0,13	0,02	0,13	1,00	0,34	0,18	0,05	-0,16	-0,10	0,12	-0,08	0,26	-0,10	-0,14	-0,43	-0,48
PT	0,32	-0,12	-0,47	0,40	0,34	1,00	0,10	-0,44	-0,01	0,20	0,51	-0,05	0,13	-0,12	-0,01	0,10	-0,06
Turb.	0,28	-0,32	0,08	-0,28	0,18	0,10	1,00	0,35	0,45	-0,08	-0,01	-0,22	0,35	-0,15	-0,49	-0,43	-0,40
Cor	0,02	-0,26	0,49	-0,43	0,05	-0,44	0,35	1,00	0,26	-0,37	-0,43	-0,22	0,11	-0,04	-0,60	-0,35	-0,41
Alc.	0,03	-0,21	0,10	-0,20	-0,16	-0,01	0,45	0,26	1,00	0,33	0,25	-0,08	-0,07	-0,13	-0,22	0,17	0,05
Cl	0,06	-0,01	-0,37	0,07	-0,10	0,20	-0,08	-0,37	0,33	1,00	0,52	0,35	-0,13	0,13	0,30	0,29	0,32
Cond	0,16	0,12	-0,61	0,28	0,12	0,51	-0,01	-0,43	0,25	0,52	1,00	0,16	-0,04	0,11	0,34	0,56	0,26
pH	-0,35	0,38	-0,31	0,43	-0,08	-0,05	-0,22	-0,22	-0,08	0,35	0,16	1,00	-0,05	0,46	0,55	0,40	0,55
SST	0,04	0,21	-0,14	-0,17	0,26	0,13	0,35	0,11	-0,07	-0,13	-0,04	-0,05	1,00	-0,13	0,14	-0,12	0,00
Ciano	-0,04	0,15	-0,10	0,03	-0,10	-0,12	-0,15	-0,04	-0,13	0,13	0,11	0,46	-0,13	1,00	0,17	0,13	0,19
Bac	-0,57	0,64	-0,34	0,38	-0,14	-0,01	-0,49	-0,60	-0,22	0,30	0,34	0,55	0,14	0,17	1,00	0,59	0,75
Fito	-0,51	0,49	-0,34	0,35	-0,43	0,10	-0,43	-0,35	0,17	0,29	0,56	0,40	-0,12	0,13	0,59	1,00	0,71
Chloro	-0,52	0,49	-0,28	0,30	-0,48	-0,06	-0,40	-0,41	0,05	0,32	0,26	0,55	0,00	0,19	0,75	0,71	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B9 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados no **fundo** das estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período chuvoso (Outubro a março)

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,20	-0,02	0,08	0,25	0,48	0,27	0,11	-0,30	-0,11	0,16	-0,33	0,29	-0,38	-0,46	-0,32	-0,24
OD	-0,20	1,00	-0,24	-0,10	-0,27	-0,26	-0,08	-0,45	0,09	0,28	-0,02	0,46	-0,39	0,54	0,73	0,61	0,67
NH ₄	-0,02	-0,24	1,00	-0,08	-0,30	-0,27	0,04	0,33	0,45	0,05	0,07	0,10	-0,11	0,04	-0,08	-0,21	-0,19
NO ₃	0,08	-0,10	-0,08	1,00	0,29	0,31	-0,07	-0,32	-0,18	0,13	0,28	-0,07	-0,10	0,02	-0,05	0,35	0,08
PO ₄	0,25	-0,27	-0,30	0,29	1,00	0,68	0,26	0,12	-0,49	-0,21	0,16	-0,30	0,35	-0,27	-0,35	0,01	-0,21
PT	0,48	-0,26	-0,27	0,31	0,68	1,00	0,29	0,10	-0,57	-0,08	0,12	-0,47	0,09	-0,47	-0,46	0,05	-0,14
Turb.	0,27	-0,08	0,04	-0,07	0,26	0,29	1,00	0,35	-0,12	-0,11	0,04	-0,03	0,22	-0,07	-0,21	-0,01	-0,10
Cor	0,11	-0,45	0,33	-0,32	0,12	0,10	0,35	1,00	0,04	-0,21	-0,24	-0,04	0,17	-0,15	-0,43	-0,47	-0,55
Alc.	-0,30	0,09	0,45	-0,18	-0,49	-0,57	-0,12	0,04	1,00	0,20	-0,02	0,32	-0,07	0,36	0,27	-0,05	-0,01
Cl	-0,11	0,28	0,05	0,13	-0,21	-0,08	-0,11	-0,21	0,20	1,00	0,53	0,20	-0,23	0,28	0,39	0,39	0,33
Cond	0,16	-0,02	0,07	0,28	0,16	0,12	0,04	-0,24	-0,02	0,53	1,00	-0,21	0,12	-0,04	0,10	0,19	0,13
pH	-0,33	0,46	0,10	-0,07	-0,30	-0,47	-0,03	-0,04	0,32	0,20	-0,21	1,00	-0,26	0,59	0,62	0,33	0,44
SST	0,29	-0,39	-0,11	-0,10	0,35	0,09	0,22	0,17	-0,07	-0,23	0,12	-0,26	1,00	-0,20	-0,36	-0,41	-0,41
Ciano	-0,38	0,54	0,04	0,02	-0,27	-0,47	-0,07	-0,15	0,36	0,28	-0,04	0,59	-0,20	1,00	0,68	0,43	0,42
Bac	-0,46	0,73	-0,08	-0,05	-0,35	-0,46	-0,21	-0,43	0,27	0,39	0,10	0,62	-0,36	0,68	1,00	0,61	0,77
Fito	-0,32	0,61	-0,21	0,35	0,01	0,05	-0,01	-0,47	-0,05	0,39	0,19	0,33	-0,41	0,43	0,61	1,00	0,70
Chloro	-0,24	0,67	-0,19	0,08	-0,21	-0,14	-0,10	-0,55	-0,01	0,33	0,13	0,44	-0,41	0,42	0,77	0,70	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%

Tabela B10 - Matriz de correlação de Spearman dos 19 parâmetros bióticos e abióticos coletados no **fundo** das estações de monitoramento do reservatório de Vargem das Flores – Betim/MG, no período seco (Abril a setembro)-

	T	OD	NH ₄	NO ₃	PO ₄	PT	Turb	Cor	Alc.	Cl	Cond	pH	SST	Ciano	Bac	Fito	Chloro
T	1,00	-0,68	0,04	-0,63	0,48	0,55	0,47	0,34	0,04	0,10	0,41	-0,56	0,15	-0,02	-0,68	-0,69	-0,72
OD	-0,68	1,00	-0,29	0,56	-0,34	-0,34	-0,38	-0,54	-0,07	0,04	-0,07	0,59	-0,28	-0,04	0,68	0,67	0,65
NH ₄	0,04	-0,29	1,00	-0,62	0,10	-0,17	0,13	0,60	0,37	-0,35	-0,46	-0,38	-0,01	-0,17	-0,61	-0,54	-0,48
NO ₃	-0,63	0,56	-0,62	1,00	-0,33	-0,31	-0,57	-0,67	-0,30	0,30	0,12	0,68	-0,26	0,22	0,64	0,56	0,72
PO ₄	0,48	-0,34	0,10	-0,33	1,00	0,53	0,21	0,11	-0,05	0,21	0,43	-0,34	0,19	0,12	-0,36	-0,29	-0,32
PT	0,55	-0,34	-0,17	-0,31	0,53	1,00	0,30	0,00	0,08	0,27	0,70	-0,39	0,02	0,15	-0,30	0,02	-0,04
Turb.	0,47	-0,38	0,13	-0,57	0,21	0,30	1,00	0,50	0,27	-0,15	0,15	-0,39	0,24	-0,01	-0,48	-0,49	-0,44
Cor	0,34	-0,54	0,60	-0,67	0,11	0,00	0,50	1,00	0,30	-0,34	-0,19	-0,46	0,23	-0,20	-0,67	-0,69	-0,62
Alc.	0,04	-0,07	0,37	-0,30	-0,05	0,08	0,27	0,30	1,00	0,11	0,07	0,05	-0,07	0,16	-0,35	-0,14	0,01
Cl	0,10	0,04	-0,35	0,30	0,21	0,27	-0,15	-0,34	0,11	1,00	0,45	0,24	-0,12	0,27	0,27	0,31	0,37
Cond	0,41	-0,07	-0,46	0,12	0,43	0,70	0,15	-0,19	0,07	0,45	1,00	-0,11	-0,16	0,29	0,04	0,18	0,20
pH	-0,56	0,59	-0,38	0,68	-0,34	-0,39	-0,39	-0,46	0,05	0,24	-0,11	1,00	-0,17	0,17	0,53	0,49	0,66
SST	0,15	-0,28	-0,01	-0,26	0,19	0,02	0,24	0,23	-0,07	-0,12	-0,16	-0,17	1,00	-0,09	-0,10	-0,28	-0,17
Ciano	-0,02	-0,04	-0,17	0,22	0,12	0,15	-0,01	-0,20	0,16	0,27	0,29	0,17	-0,09	1,00	0,06	0,14	0,17
Bac	-0,68	0,68	-0,61	0,64	-0,36	-0,30	-0,48	-0,67	-0,35	0,27	0,04	0,53	-0,10	0,06	1,00	0,72	0,73
Fito	-0,69	0,67	-0,54	0,56	-0,29	0,02	-0,49	-0,69	-0,14	0,31	0,18	0,49	-0,28	0,14	0,72	1,00	0,82
Chloro	-0,72	0,65	-0,48	0,72	-0,32	-0,04	-0,44	-0,62	0,01	0,37	0,20	0,66	-0,17	0,17	0,73	0,82	1,00

Nota: Coeficientes em negrito são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%