

JOÃO GOMES

AVALIAÇÃO DA FLORAÇÃO DA CIANOBACTÉRIA *Cylindrospermopsis raciborskii* NA REPRESA DE ALAGADOS, PONTA GROSSA, PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alvaro Luiz Mathias

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Me. Sandra Mara P. Queiroz

CURITIBA

2011

---

G633a

Gomes, João

Avaliação da floração da *cianobactéria cylindrospermopsis raciborskii* na represa de Alagados, Ponta Grossa, Paraná. [manuscrito] / João Gomes. – Curitiba, 2011.

104f. . : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Impresso.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia; Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano, SENAI-PR, Universität Stuttgart (Alemanha), 2011.

Orientador: Álvaro Luiz Mathias -- Co-orientadora: Sandra Mara P. Queiroz.

1. Água - Bacteriologia. 2. *Cianobactérias*. 3. Represa de Alagados (Paraná). I. Universidade Federal do Paraná. II. Mathias, Álvaro Luiz, -. III. Queiroz, Sandra Mara P.. IV. Título.

CDD: 628.16

---

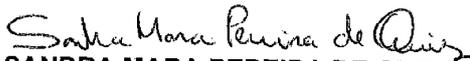
**TERMO DE APROVAÇÃO**

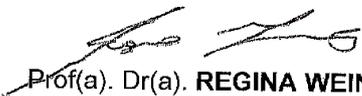
**JOÃO GOMES**

**AVALIAÇÃO DA FLORAÇÃO DA CIANOBACTÉRIA *Cylindrospermopsis raciborskii* NA REPRESA DE ALAGADOS, PONTA GROSSA, PARANÁ**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

  
Orientador(a): Prof(a). Dr(a). **ALVARO LUIZ MATHIAS**  
UFPR-PR

  
Prof(a). Me. **SANDRA MARA PEREIRA DE QUEIROZ**  
SENAI-PR

  
Prof(a). Dr(a). **REGINA WEINSCHUTZ**  
UFPR-PR

  
Prof(a). Dr(a). **ROSEMARY HOFFMANN RIBANI**  
UFPR-PR





**Prof. Dr. ALVARO LUIZ MATHIAS 09409-9**  
Coordenador do TC/MAUI-UFPR

Curitiba, 27 de outubro de 2011.

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à Marcos Vinício Batista, (*im memoriam*)

O eterno *Tori tionteri*

## AGRADECIMENTOS

Nesse momento tenho tantos a agradecer, que temo esquecer de alguém. Mas se esquecê-los, saibam que não o fiz por mal, e também fazem parte de minha história.

Iniciando por Ponta Grossa, quero agradecer a Andressa Belo, Química dedicada, que trabalha no laboratório da SANEPAR em Ponta Grossa, pelas muitas informações e esclarecimentos que me prestou. Também à Geraldo Luiz Mikowski, amigo e companheiro de trabalho em Ponta Grossa, que muito me ajudou nas coletas mensais, me mostrou os locais de coleta e o acesso a esses locais. Agradeço a Fabiano Icker Oroski, pelo apoio e envio de informações. À Carlos, o barqueiro, pelo seu bom humor e prestatividade.

Na SANEPAR de Curitiba agradeço, inicialmente, a Charles Carneiro, da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, pela ideia inicial, pelas orientações e envio de informações. A Cláudia Vítola, Bióloga da Unidade de Serviço de Recursos Hídricos - USHI, pelas dicas e sugestões que muito me influenciaram. Com ela agradeço a todos os companheiros e companheiras de trabalho da USHI, pelo convívio e aprendizado durante os anos em que lá estive. Na Unidade de Avaliações – USAV, agradeço ao químico André Luiz Faria e a Bióloga Sônia Maria S. S. De Faria, pelas explicações, pelo interesse na pesquisa, pelo empréstimo de livros e pelo envio das fotos.

Ao curso MAUI tenho muito a agradecer a todos os professores que por lá passaram e nos deixaram um pouco de si, de seu tempo, de sua vida e de seus conhecimentos. Um agradecimento especial ao professor Álvaro Luiz Mathias, dedicado orientador, por sua orientação, acompanhamento, correções, dicas, sugestões e ensinamentos. Obrigado por ser um bom amigo e um bom companheiro de viagem. Agradeço a professora Sandra Mara Pereira Queiroz, coorientadora desse trabalho e a professora Patrícia Chavert, pelas correções feitas ao trabalho e sugestões de melhoria. Aos professores do módulo Alemão, que nos receberam com tanto carinho e dedicação em seu país natal, uma experiência que jamais esquecerei.

Agradeço também a minha família, meus pais e irmãos, que mesmo distantes, e sem saber exatamente o que faço, me amam incondicionalmente.

À minha amiga, namorada e esposa, Lenita, pela compreensão, carinho, amor e paciência, durante esse longo período.

Agradeço também a Deus, o criador da vida. Agradeço-lhe por ter criado o universo, a terra, a água, as montanhas, as árvores. Criou também o Homem, os animais e as cianobactérias.

## RESUMO

Essa represa se localiza entre os municípios de Castro, Ponta Grossa e Carambeí, no estado do Paraná, Brasil. A atividade predominante na região é agro-silvo-pastoril. Apresenta ocupações irregulares em suas margens e, em alguns pontos, ausência de mata ciliar. Florações de cianobactérias têm sido observadas nos últimos anos. A inter-relação entre essas condições, bem com a morfometria da represa e condições climáticas, são descritas como propícias para essas florações. As cianobactérias apresentam organização celular e fisiologia simples, mas apresentam várias adaptações evolutivas. Elas são capazes de fazer fotossíntese, fixar o nitrogênio atmosférico e se mover na coluna d'água em busca de melhores condições de luminosidade e nutrientes. Algumas cianobactérias tem a capacidade de produzir cianotoxinas; por exemplo hepatotóxicas ou neurotóxicas, como é o caso da *Cilindrospermopsis raciborskii*. A *C. raciborskii* apresenta endotoxinas com grande capacidade de provocar danos a saúde de homens e animais. Sua floração tem sido cada vez mais descrita em ambientes lênticos na região sub-tropical e dos trópicos. Esse estudo procurou correlacionar os parâmetros físico-químicos e biológicos com as constantes florações na represa de Alagados, bem como com algumas das condições de ocupação desta bacia. A floração observada foi cíclica e predominantemente causada pela *C. raciborskii*. A correlação direta entre a floração e os parâmetros físico-químicos e biológicos não foi evidente, apesar das proposições relatadas na literatura técnico-científica. O aumento da temperatura da água e da insolação foram importantes, mas com um atraso de dois meses na floração; o que sugere uma fase de adaptação. Outros fatores, bem como sua interação com esses dois, não podem ser descartados devido a complexidade do sistema. A inter-relação antrópica também não ficou evidente. Assim, a captação de água deve ser realizada com o acompanhamento cuidadoso da evolução da temperatura da água e do nível de insolação, de modo a preparar o sistema de tratamento para que seja eliminada a cianobactéria na água de consumo de modo a evitar intoxicação. Alternativamente, a água pode ser captada em poços à margem da represa; o que propicia uma operação de filtração natural da água.

Palavras-chave: Cianobactéria. *Cilindrospermopsis raciborskii*. Cianotoxina. Represa de Alagados.

## ABSTRACT

The Alagados dam is located between the cities of Castro, Ponta Grossa and Carambeí, in the state of Parana, Brazil. The major activity in the region is agriculture, forestry and pasture. Displays illegal occupations in their margins and in some areas, lack of riparian forest. Blooms of cyanobacteria have been observed in recent years. The interrelationship between these conditions and the morphometry of the reservoir and weather conditions are described as conducive to these blooms. The cyanobacteria have simple cellular organization and physiology, but have several evolutionary adaptations. They are capable of photosynthesis, fix atmospheric nitrogen and move in the water column in search of better conditions of light and nutrients. Some cyanobacteria have the ability to produce cyanotoxins, for example hepatotoxic or neurotoxic, as is the case of *Cilindrospermopsis raciborskii*. A *C. raciborskii* has endotoxin with great ability to damage the health of humans and animals. Its flowering has been increasingly described in lentic habitats in sub-tropics and tropics. This study sought to correlate the physico-chemical and biological processes with constant blooms in the dam of flooding, as well as some of the conditions of occupation of the basin. Flowering was observed cyclical and predominantly caused by *C. raciborskii*. The direct correlation between flowering and the physico-chemical and biological parameters was not evident, despite the proposals reported in the scientific and technical literature. The increase in water temperature and solar radiation were important, but with a delay of two months in flowering; which suggests an adaptation phase. Other factors, as well as its interaction with these two, can not be discarded because of the complexity of the system. The interrelationship anthropogenic also not evident. Thus, water harvesting must be done with careful monitoring of the evolution of water temperature and insolation level in order to prepare the treatment system for the elimination of the cyanobacteria in drinking water to prevent intoxication. Alternatively, water can be abstracted from wells outside of the dam, which provides an operation of natural water filtration.

Keywords: Cyanobacteria. *Cilindrospermopsis raciborskii*. Cyanotoxins. Alagados Dam.

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| QUADRO 1 - CATEGORIA DE TAMANHO DE RESERVATÓRIOS.....  | 20 |
| QUADRO 2 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA EM PONTA GROSSA – 2008.....                | 25 |
| QUADRO 3 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA EM CASTRO – 2008.....                      | 25 |
| QUADRO 4 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA EM CARAMBEÍ – 2008.....                    | 26 |
| QUADRO 5 - EFETIVO DE PECUÁRIA E AVES EM PONTA GROSSA – 2008.....  | 26 |
| QUADRO 6 - EFETIVO DE PECUÁRIA E AVES CASTRO – 2008.....   | 26 |
| QUADRO 7 - EFETIVO DE PECUÁRIA E AVES EM CARAMBEÍ – 2008.....  | 26 |
| QUADRO 8 - PRINCIPAIS INSUMOS UTILIZADOS NA CULTURA DE SOJA.....   | 27 |
| QUADRO 9 - TIPOS DE ANÁLISES REALIZADAS POR CULTURA E POR REGIÃO.....  | 28 |
| QUADRO 10 ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS NA ZONA EUFÓTICA E AFÓTICA DO RESERVATÓRIO DE ALAGADOS NA PRIMAVERA DE 2007..... | 31 |
| QUADRO 11 - ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS NA ZONA EUFÓTICA DO RESERVATÓRIO DE ALAGADOS NO VERÃO DE 2008.....             | 31 |
| QUADRO 12 - ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS NA ZONA EUFÓTICA DO RESERVATÓRIO DE ALAGADOS NO OUTONO DE 2008.....            | 32 |
| QUADRO 13 - TOTAL DE CIANOBACTÉRIAS E DE C. RACIBORSKII NA REPRESA DE ALAGADOS, DE 2005 A 2010.....                  | 32 |
| QUADRO 14 - COORDENADAS UTM E ÁREA DA BACIA DOS PONTOS DE COLETA NA REPRESA DE ALAGADOS.....                         | 44 |
| QUADRO 15 - COMPRIMENTOS DE ONDA PARA DETERMINAÇÃO DE DQO.....   | 48 |
| QUADRO 16 - VOLUME DE AMOSTRA PARA ANÁLISE DE DQO EM FUNÇÃO DO TUBO DE DIGESTÃO.....                                 | 48 |

|  |    |
|--|----|
| QUADRO 17 - DILUIÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE DBO EM BALÃO VOLUMÉTRICO DE 1000 ML..... | 49 |
| QUADRO 18 - QUADRO PARA AUXILIAR NA DILUIÇÃO DE AMOSTRAS BACTERIOLÓGICAS.....              | 50 |
| QUADRO 19 - FATORES/RETÍCULOS / MICROSCÓPIO CK.....  | 53 |
| QUADRO 20 - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PRÓXIMAS A ÁREA DE ESTUDO.....                         | 54 |
| QUADRO 21 - PLUVIOSIDADE NA BACIA DE ALAGADOS 2008.....                                    | 54 |
| QUADRO 22 - PLUVIOSIDADE NA BACIA DE ALAGADOS 2009.....                                    | 54 |
| QUADRO 23 - PLUVIOSIDADE NA BACIA DE ALAGADOS 2010.....                                    | 54 |
| QUADRO 24 - ÁREAS E PERCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....         | 55 |
| QUADRO 25 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E SEUS RESPECTIVOS PESOS .....                 | 56 |
| QUADRO 26 - CLASSIFICAÇÃO DO IQA EM FUNÇÃO DA FAIXA DE VALORES.....                        | 58 |
| QUADRO 27 - VALORES DE CIANOBACTÉRIAS NA REPRESA DE ALAGADOS, DE 2008 A 2010.....          | 59 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DOCE SUPERFICIAL DE FÁCIL ACESSO.....  | 18 |
| FIGURA 2 - ÁREA DA BACIA DA REPRESA DE ALAGADOS.....   | 22 |
| FIGURA 3 - USO DO SOLO NA REPRESA DE ALAGADADOS.....   | 24 |
| FIGURA 4 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM PARA ANÁLISE DE AGROTÓXICOS NA SANEPAR.....  | 27 |
| FIGURA 5 - CONTAGEM DE CIANOBACTÉRIAS NA REPRESA DE ALAGADOS ENTRE 2003 E 2010.....  | 31 |
| FIGURA 6 - <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> .....   | 34 |
| FIGURA 7 - ESTRUTURA QUÍMICA DA CILINDROSPERMOPSINA.....   | 36 |
| FIGURA 8 - ESTRUTURA QUÍMICA DA SAXOTOXINA PSP (PARALYTIC SHELLFISH POISONS).....  | 36 |
| FIGURA 9 - PONTOS DE COLETA NA REPRESA DE ALAGADOS.....  | 43 |
| FIGURA 10 - COLETA DE AMOSTRA NO PONTO P2 (RIO PITANGUI), EM 27/08/2009.....   | 45 |
| FIGURA 11 - PONTO DE COLETA R4 (CAPTAÇÃO), PARA AMOSTRA DE CIANOBACTÉRIAS, NA REPRESA DE ALAGADOS.....                       | 52 |
| FIGURA 12 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO, SEGUNDO MÉTODO DE THIESEN..... | 55 |
| FIGURA 13 - TABELAS PARA ESTABELECIMENTO DO VALOR $q_i$ DO IQA.....  | 57 |
| FIGURA 14 - CIANOBACTÉRIAS NA REPRESA DE ALAGADOS ENTRE 2008 E 2010 .....  | 60 |
| FIGURA 15 - MÉDIA DA TEMPERATURA DO AR E DA ÁGUA NOS PONTOS DE COLETA.....   | 60 |
| FIGURA 16 - MÉDIA DO pH NOS PONTOS DE COLETA.....  | 61 |
| FIGURA 17 - MÉDIA DE CONDUTIVIDADE NOS PONTOS DE COLETA.....   | 62 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 18 - MÉDIA DE TURBIDEZ NOS PONTOS DE COLETA.....   | 63 |
| FIGURA 19 - MÉDIA DE AMÔNIA, NITRITO E NITRATO NOS PONTOS DE COLETA.....                                  | 63 |
| FIGURA 20 - MÉDIA DE FÓSFORO TOTAL E REATIVO NOS PONTOS DE COLETA.....                                    | 64 |
| FIGURA 21 - MÉDIA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO, DQO E DBO NOS PONTOS DE COLETA .....                            | 65 |
| FIGURA 22 - MÉDIA DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS DE COLETA.....                        | 66 |
| FIGURA 23 - ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA OS PONTOS DE COLETA.....                                     | 67 |
| FIGURA 24 - INSOLAÇÃO LOCAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BACIA DE ALAGADOS ENTRE OS ANOS DE 2008 E 2010 ..... | 68 |
| FIGURA 25 - CHUVAS TOTAIS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BACIA DE ALAGADOS ENTRE OS ANOS DE 2008 E 2010.....    | 68 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| GRÁFICO 1 -  | CORRELAÇÃO pH E CIANOBACTÉRIAS .....   | 69 |
| GRÁFICO 2 -  | CORRELAÇÃO TURBIDEZ E CIANOBACTÉRIAS .....   | 70 |
| GRÁFICO 3 -  | CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E CIANOBACTÉRIAS...                                     | 71 |
| GRÁFICO 4 -  | CORRELAÇÃO ENTRE AMÔNIA E CIANOBACTÉRIAS.....  | 72 |
| GRÁFICO 5 -  | CORRELAÇÃO ENTRE NITRITO E CIANOBACTÉRIAS.....   | 73 |
| GRÁFICO 6 -  | CORRELAÇÃO ENTRE NITRATO E CIANOBACTÉRIAS.....   | 73 |
| GRÁFICO 7 -  | CORRELAÇÃO ENTRE FÓSFORO TOTAL E CIANOBACTÉRIAS..                                      | 75 |
| GRÁFICO 8 -  | CORRELAÇÃO ENTRE FÓSFORO REATIVO E<br>CIANOBACTÉRIAS .....                             | 75 |
| GRÁFICO 9 -  | CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E TEMPERATURA DO AR.....                                     | 77 |
| GRÁFICO 10 - | CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E TEMPERATURA DA<br>ÁGUA.....                                | 77 |
| GRÁFICO 11 - | CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DA ÁGUA E<br>CIANOBACTÉRIAS COM 2 MESES DE DEFASAGEM..... | 79 |
| GRÁFICO 12 - | CORRELAÇÃO ENTRE INSOLAÇÃO E CIANOBACTÉRIAS.....                                       | 80 |
| GRÁFICO 13 - | CORRELAÇÃO ENTRE INSOLAÇÃO E CIANOBACTÉRIAS, COM<br>2 MESES DE DEFASAGEM.....          | 81 |
| GRÁFICO 14 - | CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E PLUVIOSIDADE.....  | 82 |
| GRÁFICO 15 - | CORRELAÇÃO ENTRE OXIGÊNIO DISSOLVIDO E<br>CIANOBACTÉRIAS .....                         | 83 |
| GRÁFICO 16 - | CORRELAÇÃO ENTRE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO E<br>CIANOBACTÉRIAS .....                 | 83 |
| GRÁFICO 17 - | CORRELAÇÃO ENTRE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO E<br>CIANOBACTÉRIAS.....               | 84 |
| GRÁFICO 18 - | CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E OS COLIFORMES TOTAIS..                                     | 85 |
| GRÁFICO 19 - | CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E OS COLIFORMES<br>TERMOTOLERANTES .....                     | 85 |

## LISTA DE SIGLAS

|         |  |
|---------|--|
| ALL     | – América Latina Logística                                     |
| ANA     | – Agência Nacional de Águas                                    |
| ANEEL   | – Agência Nacional de Energia Elétrica                         |
| CERH    | – Conselho Estadual de Recursos Hídricos                       |
| CONAMA  | – Conselho Nacional de Meio Ambiente                           |
| COPEL   | – Companhia Paranaense de Energia                              |
| CYN     | – Cilindrospermopsina  |
| DIP     | – Dissolved Inorganic Phosphorus                               |
| EMATER  | – Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural |
| GPS     | – Global Position System                                       |
| GTX     | – Goniautoxinas  |
| IAP     | – Instituto Ambiental do Paraná                                |
| ILEC    | – International Lake Environment Committee Foundation          |
| IPARDES | – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social   |
| IT      | – Instrução de Trabalho  |
| LAB     | – Laboratório  |
| LACTEC  | – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento               |
| NEO     | – Neosaxitoxina  |
| NMP     | – Número Mais Provável   |
| NUCLEAM | – Núcleo de Estudos em Meio Ambiente                           |
| SANEPAR | – Companhia de Saneamento do Paraná                            |
| SEMA    | – Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Paraná               |
| STX     | – Saxitoxina   |
| UNESP   | – Universidade Estadual Paulista                               |
| UTM     | – Universal Transverse Mercator                                |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 15 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL .....   | 17 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 17 |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....   | 18 |
| 2.1 O ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM LAGOS E REPRESAS .....                                    | 18 |
| 2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - A REPRESA DE ALAGADOS .....                       | 20 |
| 2.3 USO DO SOLO .....  | 23 |
| 2.4 RELAÇÃO COM A AGRICULTURA E PECUÁRIA.....  | 25 |
| 2.5 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E USOS MÚLTIPLOS DA REPRESA .....                    | 28 |
| 2.6 PRESENÇA DE CIANOBACTÉRIAS NA REPRESA DE ALAGADOS.....                               | 30 |
| 2.7 O IMPACTO AMBIENTAL DAS CIANOBACTÉRIAS.....  | 32 |
| 2.8 <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> .....  | 34 |
| 2.9 A INFLUÊNCIA DA LUZ E DA TEMPERATURA NA FISIOLOGIA DE CIANOBACTÉRIAS .....           | 40 |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | 42 |
| 3.1 COLETA DE AMOSTRAS NA REPRESA E TRIBUTÁRIOS .....                                    | 42 |
| 3.2 METODOLOGIA DE PESQUISA .....  | 46 |
| 3.2.1 Aspectos gerais para as análises de nitrito, nitrato, fósforo total e reativo..... | 46 |
| 3.2.2 Análise de nitrato .....   | 46 |
| 3.2.3 Análise de nitrato .....   | 46 |
| 3.2.4 Análise do fósforo total .....   | 47 |
| 3.2.5 Análise do fósforo reativo .....   | 47 |
| 3.2.6 Análise da Demanda Química de Oxigênio – DQO .....                                 | 47 |
| 3.2.7 Análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO <sub>5</sub> .....                 | 48 |
| 3.2.8 Análise de Oxigênio Dissolvido – OD .....  | 49 |
| 3.2.9 Análise da turbidez .....  | 49 |
| 3.2.10 Análise de coliformes totais e coliformes termotolerantes .....                   | 50 |
| 3.2.11 Análise de cianobactérias .....   | 51 |
| 3.2.12 Dados de pluviosidade.....  | 53 |
| 3.2.13 Índice de Qualidade de Água – IQA .....   | 56 |
| 3.2.14 Dados de insolação .....  | 58 |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 59 |
| 4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS NOS TRIBUTÁRIOS E NA REPRESA .....                            | 59 |
| 4.1.1 Contagem de cianobactérias .....   | 59 |
| 4.1.2 Temperatura do ar e da água .....  | 60 |
| 4.1.3 Potencial Hidrogênico – pH .....   | 61 |
| 4.1.4 Condutividade .....  | 62 |
| 4.1.5 Turbidez .....   | 63 |
| 4.1.6 Amônia, nitrito e nitrato .....  | 63 |
| 4.1.7 Fósforo total e reativo .....  | 64 |
| 4.1.8 Oxigênio dissolvido, DQO e DBO .....   | 65 |
| 4.1.9 Coliformes totais e termotolerantes .....  | 66 |
| 4.1.10 Índice de Qualidade de Água .....   | 67 |
| 4.1.11 Insolação .....   | 67 |
| 4.1.12 Pluviosidade .....  | 68 |
| 4.2 CORRELAÇÕES DAS ANÁLISES E FLORAÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS .....                          | 69 |
| 4.2.1 Correlação entre pH e floração de cianobactérias .....                             | 69 |
| 4.2.2 Correlação de turbidez .....   | 70 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.2.3    | Correlação da condutividade .....                       | 71         |
| 4.2.4    | Correlação de amônia, nitrito e nitrato .....           | 72         |
| 4.2.5    | Correlações de fósforo total e reativo .....            | 75         |
| 4.2.6    | Correlação de temperatura do ar e da água .....         | 76         |
| 4.2.7    | Correlação de insolação .....                           | 79         |
| 4.2.8    | Correlação de pluviosidade .....                        | 81         |
| 4.2.9    | Correlação de Oxigênio Dissolvido, DQO e DBO .....      | 82         |
| 4.2.10   | Correlação de coliformes totais e termotolerantes ..... | 84         |
| 4.3      | ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES .....                           | 86         |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....                                 | <b>89</b>  |
| <b>6</b> | <b>PERSPECTIVAS FUTURAS</b> .....                       | <b>91</b>  |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                | <b>92</b>  |
|          | <b>APENCIDE</b> .....                                   | <b>102</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As cianobactérias estão entre os organismos procariotos mais antigos que habitam o planeta. Estima-se que estes organismos fotossintetizantes tenham surgido há 2,7 bilhões de anos atrás (HOEK, MANN e JAHNS, 1995). As cianobactérias liberam oxigênio como produto final da fotossíntese. Assim, admite-se que tenham contribuído para o aumento nos níveis de oxigênio da atmosfera Proterozóica, o que permitiu a evolução de organismos aeróbios eucariotos (LEE, 2008).

Em consequência de sua longa história evolutiva, as cianobactérias acumularam adaptações morfológicas, fisiológicas, ecológicas e bioquímicas que permitiram a colonização de diferentes tipos de habitat (HOEK, MANN e JAHNS, 1995; LEE, 2008). As cianobactérias possuem organização celular simples muito semelhante as bactérias Gram-negativas; mas, apresentam clorofila-a como todos os organismos fotossintetizantes, e pigmentos acessórios nos tilacóides (RAVEN, EVERT e EICHHORN, 2007).

Uma adaptação fisiológica ecologicamente vantajosa para as espécies planctônicas de cianobactérias é a presença de aerótopos, sistema de vesículas de gás que controlam a flutuabilidade e, conseqüentemente, a posição na coluna de água. Esta habilidade permite que estes organismos busquem melhores condições de luz e concentração de nutrientes (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007). Além desse fato, as cianobactérias com aerótopos frequentemente formam florações em ecossistemas aquáticos eutróficos, as quais se caracterizam por um crescimento populacional excessivo na superfície da água, provocando gosto e odor desagradáveis ao homem (PADISÁCK, 1997).

Algumas cianobactérias também são capazes de produzir diversas toxinas (cianotoxinas). As cianotoxinas são metabólitos secundários com efeitos nocivos para outros organismos, cuja função ainda não foi totalmente esclarecida. Acredita-se, no entanto, que estes compostos possam evitar a herbivoria e serem vantajosos na competição com outras microalgas. A ingestão de água contaminada por cianotoxinas tem sido atribuída como causa de envenenamento e morte de gado, animais de estimação e selvagens em diversos lugares do mundo (CARMICHAEL, 1992).

A represa de Alagados foi construída em 1929 com o objetivo de gerar energia elétrica para abastecer a região de Ponta Grossa. No entanto, ela também foi paulatinamente sendo utilizada para lazer, para irrigação, para dessedentação de animais e, por fim, para abastecimento público. Com o passar dos anos, o lago formado pela represa tornou-se eutrófico. No início do ano 2000, surgiram os primeiros casos de cianobactérias em suas águas (NUCLEAN, 2002).

Entre as cianobactérias presentes, a que melhor se adaptou ao ambiente foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*, que possui a particularidade de produzir cianotoxinas (MORO *et al.*, 2003). As principais cianotoxinas produzidas por essa espécie são cilindropermopsina, que é hepatotóxica, e saxitoxina, que é neurotóxica. Ambas podem prejudicar animais domésticos, selvagens e seres humanos. (SHAW *et al.*, 1999; FASTNER *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2011)

Após a identificação dessa cianobactéria na represa de Alagados e de outros problemas, como ocupação desordenada da margens da represa, falta de mata ciliar, aporte de nutrientes no reservatório, entre outros, as empresas responsáveis pelo gerenciamento da represa, COPEL e SANEPAR, resolveram associar-se a comunidade local, empresas e universidades, para formar um grupo gestor da represa de Alagados, em busca de soluções práticas para harmonizar os diversos usos com a preservação da qualidade de suas águas.

Desse modo surgiu um grupo de pesquisa, que já produziu diversos relatórios e artigos que ilustram a situação atual da represa de Alagados (NUCLEAN, 2002; IAP, 2008). Entre esses trabalhos realizados, o de análise físico-química e o de contagem de cianobactérias na água da represa mostrou-se importante para verificar a qualidade da água utilizada para abastecimento público, geração de energia, irrigação e lazer na represa .

A partir desse grupo de estudos, surgiu a idéia de utilizar esses dados físico-químicos e de contagem de cianobactérias para investigar as causas da floração de *C. raciborskii* em Alagados, e com isso buscar soluções práticas para manter controlada a população de cianobactérias em níveis aceitáveis pelos órgãos de saúde pública.

Desse modo, uma campanha foi desenvolvida e os resultados são discutidos com o intuito de contribuir para a melhoria da qualidade da água na represa de Alagados.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a floração da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* na represa de Alagados, Ponta Grossa, Paraná.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar as condições físico-químicas dos rios Jotuba e Pitangui, principais afluentes da represa de Alagados, ao longo de seu curso.
- b) Investigar alguns fatores não relacionados as análises físico-químicas, como agricultura e pecuária, que podem interferir na qualidade das águas da represa e, conseqüentemente na floração de *C. raciborskii*.
- c) Fazer a correlação entre os parâmetros físico-químicos com a floração de *C. raciborskii* na represa de Alagados.
- d) Propor medidas mitigadoras para colaborar com o controle da floração de *C. raciborskii* na represa de Alagados e contribuir para a melhoria da qualidade da água.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A importância da preservação da água está diretamente ligada a sua escassez e distribuição irregular no mundo. O armazenamento de água em represas procura amenizar a questão de escassez e da dependência das chuvas, porém, o adensamento populacional, a ocupação irregular e agricultora extencionista sem visão da multifuncionalidade da água, vem causando forte pressão sobre esse recurso (TUNDISI, 2000; NASCIMENTO, 2005). A revisão de literatura aqui apresentada procura dar uma visão breve da situação atualmente encontrada no mundo em relação a esse tema, introduz à questão da preservação de lagos e represas e relaciona a questão do impacto das cianobactérias sobre esse sistema. Uma ênfase maior é dada a cianobactéria *C. raciborskii*, a qual tem apresentado frequentes florações na represa de Alagados (SANEPAR, 2010a).

### 2.1 O ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM LAGOS E REPRESAS

A Figura 1 mostra que a maior parte da água doce de fácil acesso no mundo, encontra-se armazenada em lagos naturais ou represas construídas pelo homem.

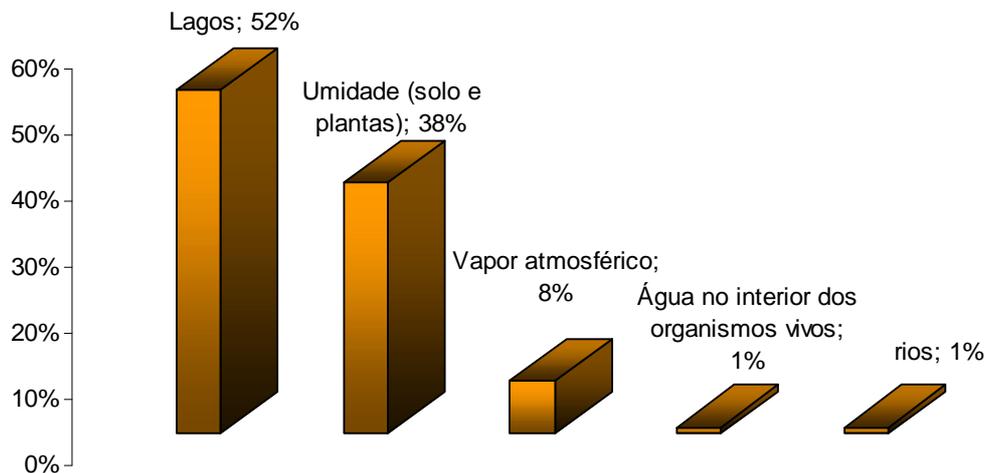


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DOCE SUPERFICIAL DE FÁCIL ACESSO  
 FONTE: ADAPTADO DE UNESP (2001).

A *World Commission on Dams - WCD* (2000) cita que durante o século passado, inúmeras represas foram construídas visando satisfazer a crescente demanda por água. A construção da represa é considerada como símbolo de modernização e da habilidade humana em controlar e utilizar recursos da natureza.

Assim, a construção de grandes represas cresceu consideravelmente entre as décadas de 30 e 70.

Essa tendência foi mantida até seu apogeu na década de 70. Desde então têm diminuído o número de construções, em particular nos Estados Unidos e na Europa. Os cinco países com o maior número de represas somam cerca de três quartas partes de todas as grandes represas do mundo e praticamente dois terços encontram-se nos países emergentes, como no Brasil (WCD, 2000).

São normalmente usos prioritários para o reservatório a geração de energia elétrica, acumulação de água para abastecimento público e projetos de irrigação. As represas de armazenamento têm como finalidade alterar a distribuição e a periodicidade natural da vazão dos rios. A energia hidroelétrica representa mais de 90% da energia utilizada em países em desenvolvimento. Cerca de metade das represas construídas tem a finalidade de acumular água para projetos de irrigação e acredita-se que estas contribuam com 12 a 16% da produção mundial de alimentos. Além disso, ao menos 75 países têm construído grandes represas para controlar inundações. É recomendável que, além dessas finalidades o reservatório apresente outros usos como recreação, pesca esportiva, esportes náuticos e fins paisagísticos (POMPEO, 2004).

Segundo Ballatore e Muhandiki (2002), os lagos e reservatórios são imensamente importantes. Eles são uma fonte de água potável e industrial, pesca, energia hidrelétrica e também atuam como importantes rotas de transporte. Os lagos também proporcionam beleza estética e têm valores culturais e religiosos. Além desse fato, são importantes ecossistemas que suportam uma grande proporção da biodiversidade mundial.

Apesar destes valores, globalmente os ambientes lacustres estão mostrando uma tendência de degradação como relatado pelo *International Lake Environment Committee Foundation* - ILEC (2007). Isto exige esforços globais concentrados para proteger a qualidade dos lagos através da implementação de medidas de gestão adequadas (ILEC, 2007).

Von Sperling (2006) lembra que, ao contrário do que prega o senso comum, existe muito mais água acumulada em lagos do que em rios. As represas, que têm uma aparência externa e um comportamento ecológico aproximadamente semelhantes ao dos lagos, distinguem-se destes por terem origem artificial, ou seja, são criados mediante barramentos de rios. Algumas estatísticas sobre os estoques

hídricos do planeta consideram o volume de água acumulado conjuntamente em lagos e represas, denominados ambientes lênticos. Já outros autores, de forma mais conveniente separam os dois compartimentos. O Quadro 1, apresenta as categorias dos lagos e represas em relação ao seu volume ou área.

| <b>Categoria</b> | <b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>       | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b>      |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| pequeno          | 10 <sup>6</sup> a 10 <sup>8</sup>   | 1 a 10 <sup>2</sup>               |
| médio            | 10 <sup>8</sup> a 10 <sup>10</sup>  | 10 <sup>2</sup> a 10 <sup>4</sup> |
| grande           | 10 <sup>10</sup> a 10 <sup>11</sup> | 10 <sup>4</sup> a 10 <sup>6</sup> |

QUADRO 1 - CATEGORIA DE TAMANHO DE RESERVATÓRIOS  
 FONTE: TUNDISI (2000)

Segundo Brigante e Espíndola (2003), existem vários níveis tróficos relacionados a lagos e represas:

a) Oligotrófico: bordas escarpadas; águas claras; baixo enriquecimento com nutrientes; pouco desenvolvimento planctônico; baixa produtividade; poucas plantas aquáticas; areia ou rochas ao longo da maior parte da costa; peixes de água fria; e elevado teor de oxigênio dissolvido.

b) Mesotrófico: moderado enriquecimento com nutrientes; moderado crescimento planctônico; alguma acumulação de sedimentos na maior parte do fundo; e, em geral, suporta espécies de peixes de águas mais quentes.

c) Eutrófico: elevado enriquecimento de nutrientes; muito crescimento planctônico (alta produtividade); extensa área coberta com plantas aquáticas; muita acumulação de sedimentos no fundo; baixos níveis de oxigênio dissolvido no fundo; e contém apenas espécies de peixes de águas quentes.

d) Hipereutrófico: enriquecimento máximo de nutrientes; número excessivo de algas e plantas aquáticas (ao ponto de impedir ou dificultar a navegação). Exige intervenção do homem.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS - A REPRESA DE ALAGADOS

Alagados é a designação utilizada para nomear a área inundada pelo represamento das águas do rio Pitangui, pertencente a bacia do rio Tibagi (CERH, 2006) por ocasião da construção de uma barragem em 1929 pela Companhia Prada de Eletricidade S/A, com a finalidade de controlar a vazão do rio, possibilitando o aumento da capacidade de geração de energia elétrica pela usina Pitangui.

Posteriormente, para suprir a demanda, essa barragem teve sua altura elevada para 12 metros (NUCLEAN, 2002).

A área da lâmina de água da represa em abril de 2001 era de 7,31 km<sup>2</sup> na altitude 918,60 metros, sendo obtida através de processamento digital das ortofotos na escala 1:10.000. Ela apresenta uma extensão de 10,7 km no trecho compreendido entre a barragem e a foz do Rio Pitanguí e de 9,0 km da mesma barragem até a foz do rio Jotuba. As irregularidades do relevo e a sinuosidade das margens determinam larguras que variam de 200 a 800 metros (NUCLEAN, 2002).

A profundidade máxima da represa é de 14 metros e acumula cerca de 27,7 milhões de m<sup>3</sup> de água. Apresenta uma vazão máxima de 13 m<sup>3</sup>/s e a vazão mínima de 6 m<sup>3</sup>/s, resultando em aproximadamente 9,4 m<sup>3</sup>/s de média, segundo dados fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR (GOULART, 2001). Baseado nesses dados, o tempo de residência da represa seria de cerca de 43 dias (IAP, 2009).

Além do Rio Pitanguí, que foi represado, vários outros deságuam nesse lago, destacando-se o Rio Jotuba e, de menor extensão, o Rio Catanduva, que no conjunto formam uma rede de drenagem, banhando uma área com aproximadamente 375,5 km<sup>2</sup> (SANEPAR, 2007).

A bacia hidrográfica de Alagados situa-se no quadrante sudeste do Estado do Paraná, tendo por limites as coordenadas geográficas 24°52' a 25°05' de latitude S e 49°46' a 50°06' de longitude W de Greenwich, e pelas coordenadas UTM - Projeção Universal Transversa de Mercator 592.000 a 624.000 e 7.226.300 a 7.249.800. Envolve a área espacial de três municípios do estado do Paraná, sendo distribuída em 13,9% no município de Ponta Grossa, 36,4% no município de Carambeí e 49,7% no município de Castro. Tem como cursos principais os rios Jotuba e o Pitanguí, além de inúmeros tributários, todos afluentes da margem esquerda do rio Tibagi, que drenam, a montante da represa, uma área que, excetuando-se a lâmina de água, atinge 368,4 km<sup>2</sup>, assim distribuídos: Bacia do rio Jotuba até sua foz, com 133,8 km<sup>2</sup>; Bacia do Rio Pitanguí, com 170,0 73 km<sup>2</sup>; Orla da represa, com 64,6 km<sup>2</sup> (WIECHETECK *et al.*, 2004). Somente o município de Ponta Grossa é abastecido pela água da represa de Alagados, sendo dessa forma o Município mais atingido pela qualidade de suas águas (SANEPAR, 2010a).

A Figura 2 ilustra a área da represa de Alagados.

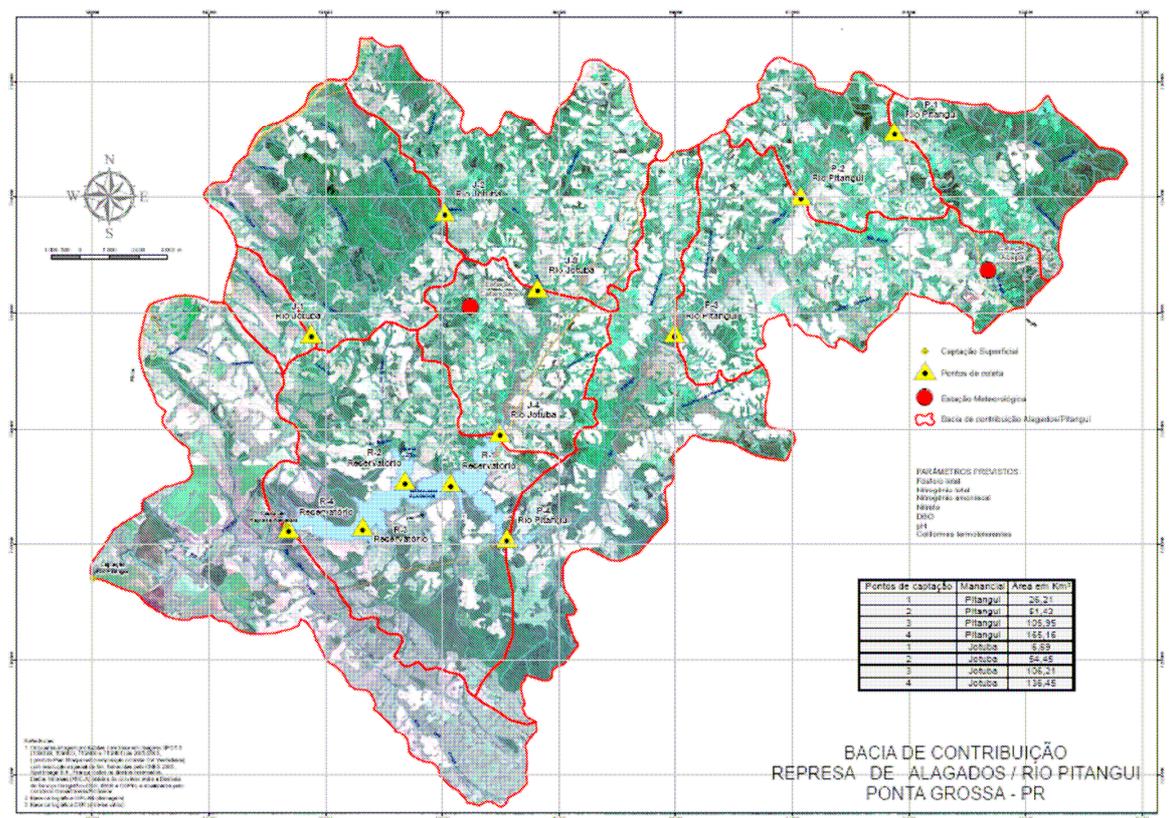


FIGURA 2 - ÁREA DA BACIA DA REPRESA DE ALAGADOS. FONTE: SANEPAR (2007)

Em 1967, o Serviço de Água e Saneamento de Ponta Grossa iniciou o “Projeto Alagados”, que tinha por objetivo implantar o novo sistema de abastecimento de água para a cidade, aproveitando as águas dessa represa. No ano de 1972 a Empresa Paranaense de Energia – COPEL incorporou a Companhia Prada de Eletricidade S/A, assumindo todo o complexo de geração de energia elétrica instalado na região da represa e suas respectivas usinas (NUCLEAM, 2002).

A porção noroeste da bacia é cortada, em uma extensão de aproximadamente 4,0 km, pela rodovia PR-151, pista dupla, com revestimento asfáltico, ligando as cidades de Ponta Grossa a Carambeí e Castro. A leste numa extensão de aproximadamente 9,5 km, pela rodovia PR-090, também denominada de Estrada do Cerne, que apresenta-se em leito natural revestido apenas com cascalho. Existem inúmeras estradas vicinais com revestimentos primários, que servem as propriedades rurais como vias de escoamento da produção. A bacia é seccionada numa extensão de 20,4 km, por uma ferrovia cuja concessionária é a América Latina Logística - ALL, que em determinados trechos situa-se em área de preservação permanente, segundo o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965), chegando em alguns pontos a menos de 20 metros da margem sul da represa e por

vezes passando por sobre aterros construídos dentro da própria represa, constituindo um sério risco de poluição em caso de eventual acidente (PILLATI *et al.*, 2002).

Na porção oeste da bacia, a ferrovia também está presente em um trecho de dois quilômetros. Partindo de Ponta Grossa, o acesso à represa é realizado através de estradas vicinais em leito natural, com revestimento primário de cascalho, distando aproximadamente 20 km de centro da cidade (PILLATI *et al.*, 2002).

### 2.3 USO DO SOLO

Em um estudo realizado pela SANEPAR em 2010, notou-se que 40% da bacia hidrográfica da represa de Alagados é utilizada para agricultura anual, enquanto 20% da região é ocupada por floresta em estágio avançado, 5% por florestas em estágio inicial e 22% da área é destinada a pastagens e campos, remetendo à pecuária local. Para finalizar, 11% da bacia é constituída por mata ciliar. As regiões ao centro e na cabeceira da bacia apresentam uma boa cobertura de mata ciliar ao redor dos córregos de água, assim como a noroeste da bacia. Existem, porém, algumas regiões de corpos hídricos que estão com carência de mata ciliar ou outras irregularidades, como ocupação urbana das margens (SANEPAR, 2010b).

A Figura 3 ilustra essas áreas ocupadas. A parte ausente na análise de uso e ocupação do solo refere-se a uma imagem não obtida pela SANEPAR junto a Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Paraná.



## 2.4 RELAÇÃO COM A AGRICULTURA E A PECUÁRIA

A agricultura implica a seleção e melhoramento de espécies vegetais de interesse para a humanidade. O campo cultivado não tem a diversidade nem a exuberância da vegetação natural, nem tampouco o uso dos recursos ambientais disponíveis alcança ali o nível de otimização observado nos ecossistemas naturais. Por outro lado, o homem consegue canalizar esses mesmos recursos através da agricultura para a produção do que mais lhe interessa, a comida. (MERCADANTE e ARAUJO, 1999).

O IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, publica anualmente os Cadernos Municipais, com os principais dados sócio-econômicos dos municípios do Paraná. Os Cadernos Municipais do IPARDES, apresentam as principais culturas existentes nos Municípios que abrangem bacia da represa de Alagados, bem como a produtividade por hectare em 2008 (Quadros 2-4). Também foi possível apurar o tamanho do rebanho de bovino, suínos e ovinos existentes em 2008 (Quadros 5-7).

| <b>Produtos</b> | <b>Produção (ton)</b> | <b>Área colhida (ha)</b> | <b>Rendimento médio (Kg/ha)</b> |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Soja            | 201.600               | 63.000                   | 3.200                           |
| Milho           | 148.750               | 17.500                   | 8.500                           |
| Trigo           | 27.200                | 8.000                    | 3.400                           |
| Feijão          | 7.680                 | 3.200                    | 2.400                           |
| Cevada          | 3.840                 | 1.200                    | 3.200                           |

QUADRO 2 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA EM PONTA GROSSA – 2008. FONTE: IPARDES, 2010

| <b>Produtos</b> | <b>Produção (ton)</b> | <b>Área colhida (ha)</b> | <b>Rendimento médio (Kg/ha)</b> |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Milho           | 30.861                | 281.942                  | 9.135                           |
| Soja            | 72.300                | 226.080                  | 3.126                           |
| Trigo           | 15.000                | 52.042                   | 3.469                           |
| Batata-inglesa  | 1.400                 | 43.600                   | 31.142                          |
| Feijão          | 17.000                | 41.700                   | 2.452                           |

QUADRO 3 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA EM CASTRO – 2008.FONTE: IPARDES, 2010

| <b>Produtos</b> | <b>Produção (ton)</b> | <b>Área colhida (ha)</b> | <b>Rendimento médio (Kg/ha)</b> |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Milho           | 10.000                | 87.000                   | 8.700                           |
| Soja            | 16.500                | 51.975                   | 3.150                           |
| Trigo           | 7.000                 | 23.100                   | 3.300                           |
| Feijão          | 3.800                 | 9.260                    | 2,436                           |
| Aveia           | 1.500                 | 2.700                    | 1.800                           |

QUADRO 4 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA EM CARAMBEÍ – 2008.FONTE: IPARDES, 2010

| <b>Rebanhos</b> | <b>Número</b> |
|-----------------|---------------|
| Galináceos      | 245.984       |
| Suínos          | 45.260        |
| Bovinos         | 39.381        |
| Vacas leiteiras | 5.900         |

QUADRO 5 - EFETIVO DE PECUÁRIA E AVES EM PONTA GROSSA – 2008  
 FONTE: IPARDES, 2010

| <b>Rebanhos</b> | <b>Número</b> |
|-----------------|---------------|
| Galináceos      | 588.019       |
| Suínos          | 135.566       |
| Bovinos         | 93.701        |
| Vacas leiteiras | 21.063        |

QUADRO 6 - EFETIVO DE PECUÁRIA E AVES EM CASTRO – 2008  
 FONTE: IPARDES, 2010

| <b>Rebanhos</b> | <b>Número</b> |
|-----------------|---------------|
| Galináceos      | 860.000       |
| Suínos          | 40.660        |
| Bovinos         | 29.182        |
| Vacas leiteiras | 16.972        |

QUADRO 7 - EFETIVO DE PECUÁRIA E AVES EM CARAMBEI- 2008  
 FONTE: IPARDES, 2010

Na região de estudo, pode ser observado que as condições antrópicas na busca de alimentos e fibras podem comprometer a qualidade e a quantidade de recursos hídricos destinados ao abastecimento público, aos animais domésticos e silvestres. A maior parte da bacia hidrográfica de Alagados é utilizada em atividades agrícolas, predominando o sistema de plantio direto (NUCLEAN, 2002).

A região é caracterizada por agricultura mecanizada e com utilização de insumos agrícolas modernos, como a adubação química, sementes melhoradas, agrotóxicos e colheitadeiras. Os insumos são adquiridos pelos agricultores, cerca de 70%, através de cooperativas e o restante, 30%, através das revendas. As

adubações químicas são realizadas de acordo com a recomendação da análise do solo (NUCLEAM, 2002).

Os principais insumos utilizados na cultura de soja, são apresentados no Quadro 8.

| CULTURA | ADUBAÇÃO                        | HERBICIDAS                             | INSETCIDAS                  | FUNGICIDAS                              |
|---------|---------------------------------|--|-----------------------------|---|
| SOJA    | N-P-K                           | ROUD-UP                                | DIMILIN                     | DEROSOL                                 |
|         | 00-20-20                        | PIVOT                                  | NUVACRON                    | BENLATE                                 |
|         | 00-26-26<br>MÉDIA:<br>250 KG/ha | BASAGRAN<br>CLASSIC<br>COBRA<br>SELECT | TAMARON<br>DECIS<br>LORBSAN | FOLICUR<br>ACORES<br>SPECTRO<br>VENTRAM |

QUADRO 8 - PRINCIPAIS INSUMOS UTILIZADOS NA CULTURA DE SOJA  
FONTE: EMATER (2009)

A Figura 4 ilustra as regiões onde são feitas análises para detectar agrotóxicos e fertilizantes nos corpos hídricos. A área VII abrange os municípios de Ponta Grossa, Castro e Carambeí, onde se encontra a represa de Alagados.

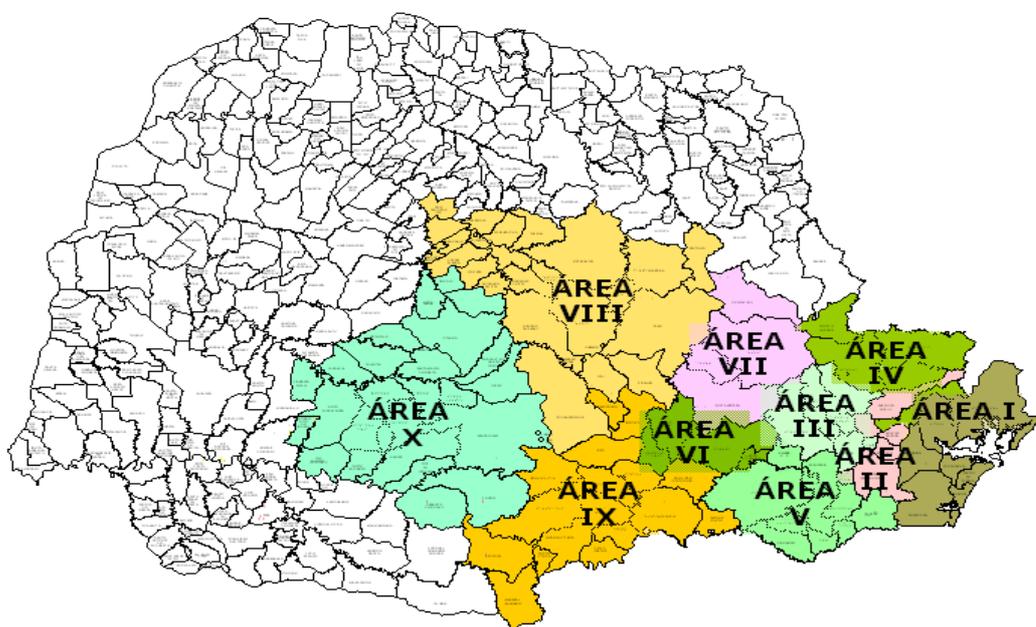


FIGURA 4 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM PARA ANÁLISE DE AGROTÓXICOS NA SANEPAR  
FONTE: SANEPAR (2011b)

O Quadro 9 mostra os princípios ativos dos defensivos analisados, bem como as culturas mais importantes e os meses de aplicação nessa área:

| REGIONAL         | ÁREAS | CULTURAS COM MAIORES ÁREAS DE PLANTIO | MESES DE APLICAÇÃO                    | GRUPOS APLICADOS E ANALISADOS NA ÁGUA: PORTARIA 518MS E CONAMA 357 |
|------------------|-------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| SANEPAR CURITIBA | VII   | SOJA, MILHO                           | AGOSTO À MAIO<br>NOVEMBRO À FEVEREIRO | FOSFORADO,<br>ATRAZINAS,<br>CARBAMATOS,<br>GLIFOSATO               |

QUADRO 9 - TIPOS DE ANÁLISES REALIZADAS POR CULTURA E POR REGIÃO. FONTE: SANEPAR (2011b)

O estudo realizado pelo Núcleo de Estudos Ambientais da Universidade de Ponta Grossa – NUCLEAM, apontou um fato importante observado em campo, que os agricultores terceirizam com pessoas desinformadas a lavagem das sacarias de adubo químico em arroios que deságuam no reservatório, ocasionando eutrofização dos corpos hídricos (NUCLEAM, 2002).

## 2.5 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E USOS MÚLTIPLOS DA REPRESA

Na área da bacia da represa de Alagados, as áreas de preservação permanente estão, em parte, comprometidas com o avanço da agricultura próxima às nascentes, corpos hídricos e as margens do reservatório. Observa-se também o plantio de culturas anuais em áreas com declividade acima de 45° (graus) e expansão de áreas agrícolas em áreas de Savana Gramíneo Lenhosa. (MORO *et al.*, 2005).

Os impactos erosivos são baixos em relação ao uso do solo agrícola na grande maioria das propriedades da região de estudo, uma vez que a maioria utiliza o sistema de plantio direto. Observou-se, porém, a condução da água pluvial de estradas vicinais em direção às propriedades, ocasionando processos erosivos e inclusive de voçorocas (WIECHETECK *et al.*, 2004).

Em relação a pecuária, os pastos observados na região de estudo da bacia de Alagados são utilizados no pastoreio de gado leiteiro e de corte tendo como características:

- a) Campos naturais (pastos nativos) de formação do segundo planalto paranaense. São utilizados para pecuária de corte, em manejo extensivo, os quais são queimados anualmente (agosto) para sua rebrota.
- b) Pastagens cultivadas permanentes. São constituídas de espécies exóticas introduzidas na região. São exemplos braquiárias, hermatrias, capim quicuío, trevo branco, pasto italiano e outros. Estas pastagens também são utilizadas para o gado de corte.
- c) Pastos anuais de inverno. São formados pelo plantio de aveia, azevem anual, serradela e trevos. São usados para alimentação de gado leiteiro sob forma de pastoreio direto, fenos e silagens.
- d) Pastos anuais de verão. Por exemplo, o milho e o sorgo, são usados sob uma forma de pastejo de silagem para a alimentação de gado leiteiro (NUCLEAN, 2002).

Também os avanços das criações sobre áreas de preservação permanente como as nascentes e as margens do reservatório, com bebedouros naturais foram observados por Capri (2001). O acúmulo de dejetos de bovinos e equinos foram também relatados. Estes são conduzidos aos corpos hídricos, devido ao excessivo volume e falta de manejo da condução dos excrementos a um local adequado por parte do pecuarista (CAPRI, 2001). Fontes mais recentes, como EMATER (2009) comprovam que essas práticas ainda são utilizadas.

As área de pastagens, algumas vezes, estão em locais com declividade superior a 45°, ocasionando erosão laminar do solo. Na orla sul do lago, ocorre a existência de edificações e vários sanitários construídos em madeira, em precárias condições, todas na faixa de preservação permanente. Na orla norte, foram constatados edificações e garagens na área de propriedade do late Clube de Carambeí (CAPRI, 2001).

Estudos já realizados na represa de Alagados, apresentaram indicações da presença de coliformes fecais em quantidade elevada, bem como o desenvolvimento da eutrofização do lago. Esse crescimento excessivo de algas foi atribuído a expressiva quantidade de nutrientes, acelerada pela introdução dos esgotos domésticos e aqueles resultantes das atividades agropecuárias desenvolvidas nas bacias do rio Jotuba e Pitanguí, seus tributários e demais córregos que deságuam diretamente no lago (SALDANHA *et al.*, 1999).

## 2.6 PRESENÇA DE CIANOBACTÉRIAS NA REPRESA DE ALAGADOS

Desde 2002, ocorrem intensas e freqüentes florações de cianobactérias no Reservatório Alagados. Geralmente, inicia-se no final da primavera e perdura até meados do inverno (YUNES *et al.*, 2003). Assim, a pesca e banho neste reservatório estão proibidos pela Portaria IAP nº 29 de 16 de Fevereiro de 2006 para resguardar a saúde pública (IAP, 2006).

Segundo Moro *et al.* (2003), organismos da Classe Cyanophyceae são uns dos representantes fitoplanctônicos mais abundantes no reservatório de Alagados, sendo seu melhor desenvolvimento nos meses de verão. O exame hidrobiológico dos corpos de água, Alagados e Pitangui, indicou presença de floração persistente de *C. raciborskii* (YUNES *et al.*, 2003).

*Cylindrospermopsis raciborskii* é capaz de produzir diversas toxinas: cylindrospermopsina, saxitoxinas, anatoxina-a (CHORUS e BARTRAM, 1999). Análises de cianotoxinas em amostras de água da represa de Alagados e do rio Pitangui, revelaram a presença de Saxitoxina (STX), Neosaxitoxina (NEO) e (GTX) (YUNES *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2011).

A Figura 5 mostra a evolução do número de células de cianobactérias de 2003 a 2010. A contagem de cianobactérias nos meses de janeiro a junho de 2003 foi superior a 80.000 cels/mL, sendo o pico registrado no mês de janeiro (366.360 cels/mL) (BUCH, 2009).

Nos dois anos seguintes a 2003, o pico de contagem de cianobactérias ocorreu nos meses de março a junho, sempre com predomínio de *C. raciborskii*, porém, houve uma redução nos demais meses, com contagem abaixo do limite de 20.000 cels/mL estabelecido pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e com predomínio de organismos como *Aphanocapsa delicatissima*, *Asterionella formosa*, *Micractinium* ou *Merismopedia* spp. (BUCH, 2009).

No ano de 2006, entretanto, observou-se contagem superior a 83.000 cels/mL o ano inteiro, atingindo o máximo de 610.800 cels/mL em dezembro. Durante todo o ano, o organismo predominante foi a *C. raciborskii*. Essa contagem só retornou a níveis inferiores ao limite estabelecido pela portaria 518/04 do Ministério da Saúde, (20.000 cels/mL) em julho do ano seguinte, quando a contagem foi de 7.758 cels/mL, e o organismo predominante passou a ser uma alga verde (*Mougeotia* spp). Em novembro de 2007, porém, a contagem retornou a 46.508 cels/mL, com

predomínio novamente de *C. raciborskii*. A Figura 5 ilustra essa situação (BUCH, 2009).

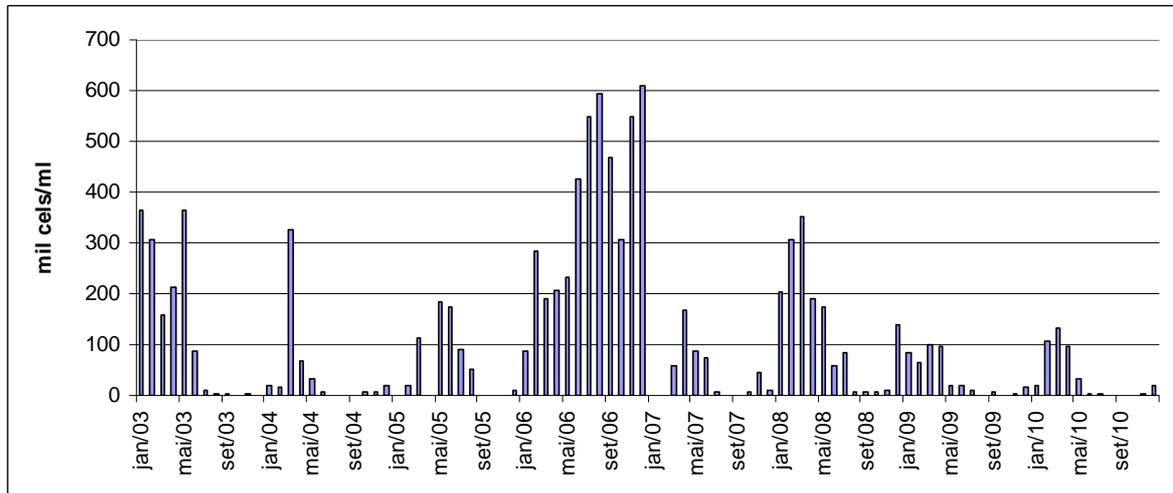


FIGURA 5 - CONTAGEM DE CIANOBACTÉRIAS NA REPRESA DE ALAGADOS ENTRE 2003 E 2010. FONTE: ADAPTADO DE BUSCH (2009) e SANEPAR (2011a).

Um estudo realizado por Clemente (2009), de monitoramento do reservatório de Alagados, traz informações a respeito das espécies de cianobactérias encontradas nos anos de 2007 e 2008. As coletas em 2007 foram realizadas na zona eufótica e zona afótica, em 2008 apenas na zona eufótica. Os resultados são apresentados nos Quadros 10, 11 e 12.

| Cianobactérias                        | Zona eufótica (Cel/mL) | %    | Zona afótica (Cel/mL) |      |
|---------------------------------------|------------------------|------|-----------------------|------|
| <i>Aphanizomenom sp.</i>              | 0                      | 0    | 2.567                 | 5,5  |
| <i>Choococcales não identificado</i>  | 151                    | 0,5  | 0                     | 0    |
| <i>Leptolyngbya SSP</i>               | 906                    | 3,2  | 1.359                 | 2,9  |
| <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> | 27.180                 | 96,3 | 42.582                | 91,6 |

QUADRO 10 - ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS NA ZONA EUFÓTICA E AFÓTICA DO RESERVATÓRIO DE ALAGADOS NA PRIMAVERA DE 2007. FONTE: ADAPTADO DE CLEMENTE (2009)

| Cianobactérias                        | Zona eufótica (Cel/mL) | %    |
|---------------------------------------|------------------------|------|
| <i>Aphanocapsa delicatissima</i>      | 5.436                  | 4,1  |
| <i>Planktolyngbya SSP</i>             | 9.060                  | 6,7  |
| <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> | 120.800                | 89,3 |

QUADRO 11 - ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS NA ZONA EUFÓTICA DO RESERVATÓRIO DE ALAGADOS NO VERÃO DE 2008. FONTE: ADAPTADO DE CLEMENTE (2009)

| Cianobactérias                        | Zona eufótica (Cel/mL) | %    |
|---------------------------------------|------------------------|------|
| <i>Planktolyngbya</i> SSP             | 3.171                  | 2,7  |
| <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> | 113.627                | 97,3 |

QUADRO 12 - ANÁLISE DE CIANOBACTÉRIAS NA ZONA EUFÓTICA DO RESERVATÓRIO DE ALAGADOS NO OUTONO DE 2008. FONTE: ADAPTADO DE CLEMENTE (2009).

O cálculo do valor percentual de *C. raciborski* revelou a predominância desta espécie. Esse preponderância se manteve acima de 90% no estudo de Clemente (2009), sendo que no outono de 2008 ultrapassou a 97% de predominância.

A contagem de cianobactérias realizada semestralmente pelo Instituto Ambiental do Paraná, revelou também o predomínio da espécie *C. raciborskii* na represa de Alagados, como mostra o Quadro 13.

| Data   | <i>C. raciborskii</i> | Cianobactérias | %     |
|--------|-----------------------|----------------|-------|
| mai/05 | 145.564               | 172.593        | 84,34 |
| jun/05 | 97.244                | 112.797        | 86,21 |
| jan/06 | 60.249                | 106.002        | 56,84 |
| ago/06 | 647.520               | 4.249.914      | 15,24 |
| mai/07 | 54.360                | 82.597         | 65,81 |
| nov/07 | 27.180                | 28.237         | 96,26 |
| jun/08 | 30.502                | 32.465         | 93,95 |
| fev/09 | 60.400                | 69.913         | 86,39 |
| mai/09 | 279.350               | 298.074        | 93,72 |
| ago/09 | 0                     | 0              | 0,00  |
| abr/10 | 9.815                 | 41.525         | 23,64 |

QUADRO 13: TOTAL DE CIANOBACTÉRIAS E DE *C. raciborskii* NA REPRESA DE ALAGADOS, DE 2005 A 2010. FONTE: IAP, 2011.

## 2.7 O IMPACTO AMBIENTAL DAS CIANOBACTÉRIAS

A poluição presente nas bacias hidrográficas decorrentes de fontes antropogênicas tem restringido a qualidade e, conseqüentemente, a utilização das águas para abastecimento das populações humanas, ocasionando sérios problemas de saúde pública e ao meio ambiente. Um dos eventos ocorrentes nos ambientes aquáticos mais comumente associados a estas cargas poluidoras formadas, principalmente, por compostos polifosfatados e nitrogenados, são as florações de cianobactérias.

As cianobactérias reproduzem-se assexuadamente, através de divisões da célula ou formação de esporos e células de resistência. Algumas também podem atuar secundariamente na reprodução, já que podem formar novos indivíduos ou resistir à condições ambientais desfavoráveis, germinando posteriormente, como é o caso dos heterócitos e acinetos. O heterócito é uma célula de parede espessada, conteúdo claro, e responsável pela assimilação do nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>) e sua conversão em formas iônicas assimiláveis pelas outras células vegetativas. O acineto armazena substâncias de reserva, apresentando conteúdo escuro e, freqüentemente ornamentações na parede espessa (FERNANDES *et al.*, 2005).

As florações de cianobactérias podem causar gosto e odor desagradáveis na água, além de alterar o equilíbrio ecológico do ecossistema aquático. O maior problema, entretanto, está no fato de produzirem toxinas (cianotoxinas) extremamente potentes atingindo um conjunto de organismos muito além daqueles presentes nas comunidades aquáticas. As cianotoxinas podem ser acumuladas na rede trófica, ocasionando diferentes sintomas de intoxicação e efeitos crônicos, muitas vezes difíceis de serem diagnosticados. Mortandades de peixes e animais silvestres e domésticos já foram registrados em diversas partes do mundo (MATTHIENSEN; YUNES e CODD, 1999; METCALF; BARAKATE; CODD, 2004).

As cianobactérias produzem diferentes metabólitos secundários, sendo alguns deles possuidores de ação tóxica sobre diferentes organismos e tipos celulares. As neurotoxinas e hepatotoxinas, contudo, podem ser considerados os principais agentes tóxicos produzidos pelas cianobactérias, pois causam sérios danos a vida animal e à saúde humana, podendo até mesmo levar a morte (CARMICHAEL, 1992; OLIVEIRA e MOLICA, 2003).

Apesar de agirem de modo distinto, as neurotoxinas tem como ação final a paralisação da atividade muscular, levando o animal a morte por parada respiratória após poucos minutos de exposição (SHAW *et al.*, 1999, MEHNERT *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011).

As hepatotoxinas são as toxinas produzidas por cianobactérias mais comumente relacionadas com os casos de envenenamento animal e humano em todo o mundo. As principais hepatotoxinas são as microcistinas, nodularinas – de natureza peptídica, e a cylindrospermopsina, um alcalóide que também inibe a síntese de proteínas (ISTVÁNOVICS; SOMLYÓDY; CLEMENT, 2002, FASTNER *et al.*, 2007, STUKEN e JAKOBSEN, 2010).

## 2.8 *Cylindrospermopsis raciborskii*

Cordeiro-Araújo *et al.* (2010) descrevem sucintamente as características filogenéticas e morfológicas da *C. raciborskii* (Figura 6).

**Ordem** Nostocales

**Família** Nostocaceae

**Subfamília** Anabaenoideae

**Espécie** *Cylindrospermopsis raciborskii*

Descrição: Talo filamentososo; tricoma reto; células cilíndricas, 2,0 - 4,5 µm de diâmetro, 2,0 - 8,5µm de comprimento, aerótopos dispersos, heterócito nas extremidades, subcônico, 2,5 - 4,0 µm de diâmetro, 5,0 - 10, 0 µm de comprimento. Observou-se variação métrica 2,5 - 4,0 µm de diâmetro e 5,0 - 10,0 µm de comprimento nas células vegetativas (Cordeiro-Araújo *et al*, 2010).

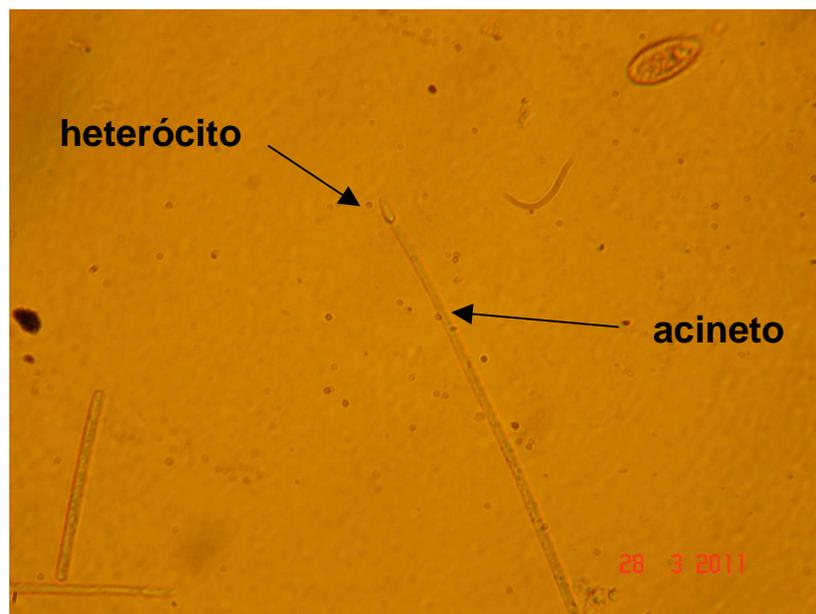


FIGURA 6 - *Cylindrospermopsis raciborskii*. FONTE: SANEPAR, 2011

*Cylindrospermopsis raciborskii* é uma espécie formadora de florações potencialmente tóxicas em sistemas aquáticos eutrofizados, inclusive naqueles utilizados para abastecimento público, podendo trazer riscos a saúde humana (PADISÁK, 1997; SPRÖBER *et al*, 2003; NEILAN *et al.*, 2003). Esta espécie apresenta morfologia do tricoma reto, sigmóide e espiralado, sendo que as razões para esta variação ainda não foram claramente definidas. Estudos comparativos de sequências genéticas tem demonstrado que a morfologia não está relacionada a

filogenia do gênero *Cylindrospermopsis* e que os diferentes morfotipos representam uma única espécie (BUSH, 2009).

Nishimura (2008) cita que *C. raciborskii* é uma cianobactéria (Ordem Nostocales) formadora de florações com alto potencial tóxico que vem recebendo atenção da comunidade científica devido ao seu comportamento invasivo em diversos ambientes límnicos do mundo.

Nos últimos anos a frequência de florações de *C. raciborskii* aumentou nos trópicos. Mais recentemente, a espécie tem sido observada em regiões subtropicais e temperadas (BRANCO e SENNA, 1994; VIDAL e KRUK, 2008). Atualmente, sua distribuição alcança regiões ao norte da Europa (Alemanha), Nova Zelândia, África do Sul e América do Norte (WIEDNER *et al.*, 2007, VIDAL e KRUK, 2008, RYAN *et al.*, 2003). Na América do Sul, *C. raciborskii* é muito conhecida nas águas tropicais brasileiras e subtropicais uruguaias, sendo que na Argentina, foi encontrada apenas como não dominante (TEZANOS-PINTO; ALLENDE; O'FARRELL, 2007; VIDAL e KRUK, 2008).

O primeiro relato da ocorrência de *C. raciborskii* no Brasil foi feito por Palmer (1969) para o Lago Paranoá, Brasília (BRANCO e SENNA, 1994). Na década de 80, passou-se a verificar a ocorrência desta cianobactéria em outras regiões brasileiras (SANT'ANNA; XAVIER; SORMUS, 1988; TORGAN e GARCIA, 1989). A partir da década de 90, observou-se grande expansão na distribuição de *C. raciborskii*, devido ao aumento da eutrofização dos sistemas aquáticos nas mais diversas regiões do País (BRANCO e SENNA, 1994).

As principais características de comportamento da cianobactéria *C. raciborskii* são as seguintes: presença de aerótopos, que permitem o posicionamento na coluna de água; fixação de nitrogênio atmosférico, que permite o crescimento em ambientes pobres em nutrientes nitrogenados; formação de acineto, que permite a formação de células de resistência em condições ambientais não ideais; produção de toxinas: apesar de função das toxinas ainda não ser clara, pode estar relacionada com defesa contra predadores e/ou alelopatia; tolerância a temperaturas altas e estratificação da coluna de água (ALSTER *et al.*, 2010; NISHIMURA, 2008; SILVA *et al.*, 2011)

As toxinas produzidas por *C. raciborskii* são cilindrospermopsina (CYN) e PSP (*Paralytic Shellfish Poisons*). A cilindrospermopsina é um alcalóide com ação hepática e renal (Figura 7) e a PSP é uma potente toxina paralisante que age no

sistema neuromuscular (APELDOORN *et al.*, 2007) (Figura 8). As florações e a produção de toxinas comprometem a qualidade da água para abastecimento, além de aumentarem consideravelmente os seus custos de tratamento (CARMICHAEL, 1992). Devido à alta competitividade em ambientes eutrofizados e à capacidade de formar florações tóxicas, esta cianobactéria é uma espécie de grande interesse para o estudo tanto do ponto de vista ecológico quanto de saúde pública.

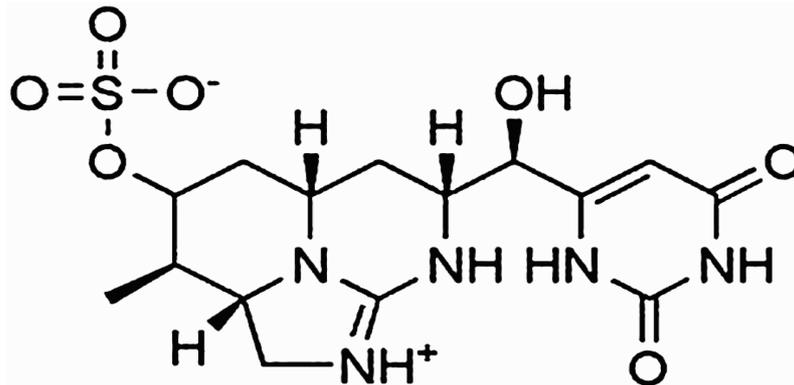


FIGURA 7 - ESTRUTURA QUÍMICA DA CILINDROSPERMOPSINA  
 FONTE: (FALCONER e HUMPAGE, 2006)

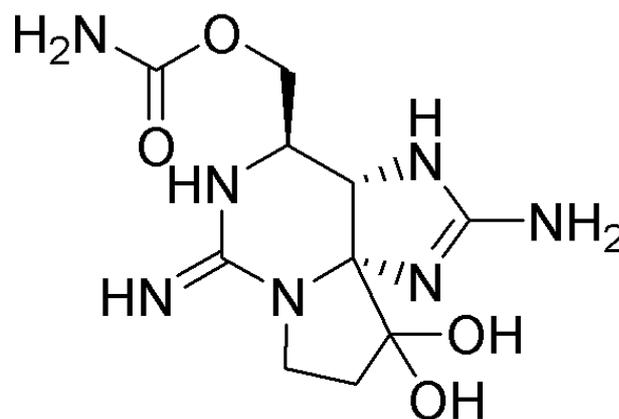


FIGURA 8 - ESTRUTURA QUÍMICA DA SAXITOXINA PSP (PARALYTIC SHELLFISH POISONS) (FALCONER e HUMPAGE, 2006)

Mehnert *et al.* (2010) relatam que a cianobactéria *C. raciborskii* pode causar problemas de pele, como irritações e queimaduras, quando em contato direto com pessoas que utilizam as águas contaminadas para banho e recreação.

Stewart *et al.* (2006) concluíram em seus estudos que as propriedades irritantes da cilindrospermopsina e sua potencialidade de sensibilização da pele

devem ser consideradas pelos gestores de saúde pública e pelos gestores de reservatórios ao definirem diretrizes para uso de recreação dessas águas.

*Cylindrospermopsis raciborskii* é um excelente exemplo de uma espécie de cianobactérias que apresenta propagação em mais de um clima subtropical e temperado de diversas latitudes do hemisfério norte e sul, nas últimas décadas. Esta cianobactéria é capaz de fixar nitrogênio molecular com o uso de heterócito, assim pode sobreviver em condições desfavoráveis, e captação de fósforo com o uso de acinetos. Em águas doces de clima temperado, essa espécie invasora é mais abundante em lagos rasos e pode coexistir com uma variedade de outras espécies nativas, como a *Anabaena*, *Aphanizomenon*, e *Aphanizomenon gracile* (MEHNERT *et al.*, 2010).

Figueiredo e Giani (2007) sugerem que a dominância ecológica da cianobactéria *C. raciborskii* pode ser explicada pela interação antagônica com outras espécies que compõe o fitoplâncton, devido à sua produção de metabólitos alelopáticos. Seus estudos fornecem evidência de que a alelopatia pode oferecer vantagem competitiva para *C. raciborskii* e contribuir para o seu domínio estável em ambientes propícios. Uma vantagem do potencial aleopático poderia também ajudar a explicar a expansão geográfica da espécie em latitudes médias.

Análise de parâmetros físicos e químicos da água constitui importante ferramenta utilizada no monitoramento de qualidade das águas. Alguns deles, como temperatura, cor, turbidez, transparência, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, nutrientes e outros, podem interferir na dinâmica de populações aquáticas (MATSUZAKI; MUCCI; ROCHA, 2004; WIEDNER; RUCKER; FASTNER, 2008).

Segundo Wetzel (1990), o desenvolvimento sazonal e espacial e a sucessão das populações fitoplanctônicas sofrem influência de vários fatores ambientais como a luz, temperatura, regulação da impulsão, nutrientes orgânicos e inorgânicos, competição e herbivoria, além das propriedades fisiológicas de cada espécie.

As cianofíceas são eficientes no deslocamento na coluna de água por possuírem vacúolos gasosos ou pseudovacúolos que permitem a otimização da absorção da luminosidade. Esses vacúolos gasosos diminuem a densidade das cianobactérias para um valor inferior ao da água. Assim, são impelidas para a superfície, não dependendo apenas da turbulência para se manterem na zona fótica. São também eficientes na obtenção de gás carbônico e na competição por sombrear as demais algas, aproveitando-se dos nutrientes liberados pela degeneração das

mesmas (MATSUZAKI; MUCCI; ROCHA, 2004; WIEDNER; RUCKER; FASTNER, 2008).

Branco (1991), em um estudo sobre a comunidade planctônica e a qualidade de água no Lago Paranoá, observou a dominância de *C. raciborskii* e sugeriu que a espécie tivesse sido favorecida devido a um conjunto de fatores, como: período prolongado de estratificação na época chuvosa provocando a depleção de nutrientes no epilímnio, maiores valores de pH e temperatura, ausência de herbivoria pelo zooplâncton, capacidade de migração na coluna de água e fixação de nitrogênio e longo tempo de retenção da massa de água. A cianofíceia *C. raciborskii* foi classificada como espécie comum, ocorrendo principalmente no período de altas temperaturas.

Conte *et al.* (2000) em um estudo realizado nas bacias hidrográficas dos rios do Sinos e Caí, concluíram que a permanência de *C. raciborskii* como espécie dominante s foi favorecida pelas condições ambientais existentes como: temperatura elevada da água (acima de 25°C) e constante por longo período, águas represadas, concentração de nutrientes e pH em torno de 7,0.

Para Burford *et al.* (2006) o nitrogênio tem um papel importante na dominância de *C. raciborskii* nos diversos tipos de reservatórios em regiões subtropicais. Segundo seus estudos, a fixação de nitrogênio atmosférico não é a principal fonte de nitrogênio da cianobactéria, que utiliza principalmente amônia, seguido de nitrato.

Wetzel (1993) cita que a entrada de nutrientes em águas pouco férteis aumenta as taxas de produção primária. Os teores de nitrogênio e fósforo são, frequentemente, relacionados como os principais fatores no crescimento e estrutura da comunidade fitoplanctônica e ligados à acumulação da biomassa. A baixa relação N:P parece favorecer as cianofíceas por essas terem a capacidade de fixar nitrogênio diretamente da atmosfera, fator que promove certa vantagem na competitividade em ambientes onde existe deficiência de nitrogênio.

Para Matsuzaki, Mucci e Rocha (2004), baixas concentrações de fósforo levam a supor que não há outra entrada do nutriente no sistema a não ser por precipitação atmosférica e escoamento superficial. A sedimentação tem como resultado a perda contínua de fósforo da zona trofotônica (onde há incidência de luz). Para que o ecossistema mantenha ou aumente a produtividade primária seria necessário o aporte contínuo do nutriente nesse ambiente. Uma das principais

fontes de fósforo no ambiente aquático seria a entrada por escoamento superficial da bacia de drenagem cujo solo é utilizado para a agricultura ou por meio de fontes de compostos dos detergentes organofosfatados.

Testes realizados por Panosso e Lurning (2010), com cultura em laboratório de *C. raciborskii*, indicaram que os filamentos maiores são produzidos a uma temperatura entre 17°C e 22°C. Os filamentos menores formam-se com temperatura entre 27°C e 33°C, o que indica a influência da temperatura no desenvolvimento da cianobactéria. O mesmo estudo porém, não mostrou diferença na produção de cianotoxina cylindrospermopsina para ambas temperaturas.

Kinnear, Fabro e Duivenvoorden (2008), utilizando a planta aquática *Hydrilla verticillata*, comprovaram que a *C. raciborskii* é capaz de crescer em ambientes com presença da cianotoxina cylindrospermopsina (CYN) e diminuir a toxicidade desta em ambientes aquáticos. Segundo o estudo, quanto maior a concentração de CYN na água, maior o crescimento da raiz dessa planta.

CYN é uma molécula altamente solúvel em água (SHAW *et al.*, 2000), e assim como muitas outras cianotoxinas, estão frequentemente presentes na forma extracelular (SAKER; NEILAN; GRIFFITHS 1999; METCALF; BARAKATE; CODD, 2004). Este é o fator mais crítico, porque a fração extracelular é a mais biodisponível para macrófitas aquáticas. Com elevados valores de pH são comuns ocorrerem florações de *C. raciborskii* (KINNEAR; FABBRO; DUIVENVOORDEN, 2008).

A densidade populacional da *C. raciborskii* é basicamente determinada por fatores ambientais (condições de luz, temperatura e suprimento de nutrientes) e a diminuição depende da abundância de acinetos (SPROBER *et al.*, 2003).

Sprober *et al.* (2003) concluíram em seus estudos que o ambiente com baixa concentração de amônia e nitrato não inibe a fixação de nitrogênio da *C. raciborskii*. A quantidade suficiente de fósforo supre a deficiência de nitrogênio e não resulta em diferença de biomassa desse organismo. Somente a redução do suprimento de fósforo acarretará num benefício para a qualidade da água do lago.

Kenesi *et al.* (2009) descrevem o surgimento de *C. raciborskii* no lago Balaton, na Europa Central, em 1980.

Estudos de Istvánovics *et al.* (2000), apontaram que a dominância dessa cianobactéria está ligada a habilidade da *C. raciborskii* em armazenar fósforo (P). Essa característica foi considerada importante para seu sucesso no ecossistema.

Briand *et al.* (2004) sugerem que a presença de *C. raciborskii* em latitudes de clima temperado resulta de sua alta tolerância fisiológica, adaptação a baixas temperaturas e os efeitos do aquecimento global. Apesar dos muitos estudos existentes, é difícil prever a formação de floração de *C. raciborskii*, principalmente devido a dependência da interação de diversos fatores estocásticos (PADISÁK e REYNOLDS, 1998).

Kenesi *et al.* (2009) concluíram que *C. raciborskii* é capaz de crescer rápido e manter uma alta biomassa mesmo com limitação de fósforo, mas com presença de íon amônio ou amônia. Sugerem ainda que para melhorar a qualidade da água de um lago, é mais importante reduzir o aporte de fósforo que de nitrogênio.

Segundo Mehnert *et al.* (2010) a temperatura parece ser o principal fator do aparecimento e desenvolvimento de *C. raciborskii*. Esse fato é compatível com os estudos de Fastner *et al.* (2007), os quais concluíram que o aumento na temperatura da água pode promover o desenvolvimento de vários tipos de cianobactérias (Nostocales) e de espécies invasivas em particular, como *C. raciborskii*.

## 2.9 A INFLUÊNCIA DA LUZ E DA TEMPERATURA NA FISIOLOGIA DE CIANOBACTÉRIAS

As cianobactérias desenvolveram várias adaptações ecofisiológicas e morfológicas que permitiram o melhor aproveitamento da luz e da temperatura nos sistemas aquáticos. Assim, esses parâmetros físicos são de extrema importância ao seu desenvolvimento, possibilitando vantagens competitivas em relação aos demais componentes do fitoplâncton. A formação de florações está relacionada com a habilidade superior de captura da luz mesmo quando o auto-sombreamento é grande. A capacidade de regular a posição na coluna d'água em busca de áreas mais ricas em nutrientes e/ou luz, graças a flutuabilidade proporcionada pelos aerótopos é outra grande vantagem (BUCH, 2009). Populações de *C. raciborskii* geralmente se desenvolvem em águas quentes (> 25°C), independente da latitude. Mantém populações densas durante todo o ano nas regiões tropicais, mas se restringe a períodos curtos nas regiões temperadas durante o verão. A necessidade de altas temperaturas está relacionada, em parte, a temperatura ótima de

germinação dos acinetos e seus mecanismos, que varia entre 22-23,5 °C (PADISAK e REYNOLDS, 1998)

As causas da invasão de *C. raciborskii* são causa de debates e ainda não foram resolvidos definitivamente. Estudos tem mostrado que nos trópicos, populações de *C. raciborskii* germinam a uma temperatura abaixo de 22°C. Altas concentrações de biomassa tem sido observadas sob temperatura da água entre 27°C e 30°C, alto pH, estabilidade na coluna de água, água com longo tempo de residência e condições altas de radiação (luminosidade) (WIDNER *et al.*,2007),

Bouvy *et al.* (1999, 2000) relatam que a dominância de *C. raciborskii* em represas no semi-árido brasileiro, está relacionada com suas adaptações morfológicas aliadas as condições climáticas locais, principalmente a temperatura e a luminosidade.

Estudos realizados por Wiedner *et al.* (2007), na Alemanha, concluíram que há uma relação entre a intensidade luminosa e a temperatura com a floração de *C. raciborskii*, porém não há uma correlação significativa entre a taxa de crescimento e o teor de fósforo dissolvido ou nitrogênio dissolvido.

Rücker (2007) concluiu que não há uma correlação significativa entre a presença de CYN e as variáveis morfométricas de *C. raciborskii*, com a área do lago, volume ou máxima profundidade. Conseqüentemente, não se pode definir com certeza que tipo de lago está predestinado a ocorrência da cianobactéria. Ele também observou que existe uma correlação positiva entre a presença de CYN com o fósforo total, clorofila-a e o biolovume de plâncton. Isso sugere que há mais probabilidade de ocorrer CYN em lagos com nível trófico alto ao invés de lagos com baixo nível trófico.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 COLETA DE AMOSTRAS NA REPRESA DE ALAGADOS E TRIBUTÁRIOS

Inicialmente, foram definidos, entre os participantes da pesquisa, que constituem o Grupo Gestor de Alagados, quais seriam os pontos de coleta na represa. O monitoramento da represa de Alagados foi realizado uma vez ao mês e as análises foram realizadas no laboratório da SANEPAR em Ponta Grossa, para: pH, turbidez, OD, amônia, nitrato, nitrito, condutividade, fósforo total, fósforo reativo, DBO, DQO, coliformes totais, coliformes termotolerantes. A medição da temperatura do ar e da água foi realizada no momento da coleta (*in situ*) com uso de um termômetro digital portátil.

No geral, foram realizadas 15 amostras em cada um dos 12 pontos de coleta, durante 33 meses de pesquisa, de março de 2008 a novembro de 2010, totalizando quase 5.900 análises durante esse período. Durante as campanhas, houve pontos que não puderam ser coletados, devido ao baixo nível da represa que dificultava o acesso por barco, e em alguns meses do ano, como dezembro e janeiro, por dificuldades operacionais;

Nessas amostras não eram realizadas contagem de cianobactérias. Essa contagem era realizada por outra equipe, semanalmente ou mensalmente, dependendo do número de cels/mL, conforme define a portaria 518/04 do Ministério da Saúde. As amostras para contagem de cianobactérias eram enviadas ao laboratório da SANEPAR em Curitiba.

Devido ao grande volume de amostras mensais, a partir de 2009, o laboratório da SANEPAR em Ponta Grossa, passou a terceirizar algumas análises físico-químicas. Após licitação, para o laboratório escolhido foram encaminhadas as análises de condutividade, fósforo total, fósforo reativo, DBO, DQO, coliformes totais e coliformes termotolerantes. As demais análises continuaram a ser realizadas pelo laboratório da SANEPAR.

Os pontos de coleta foram definidos em três regiões na bacia hidrográfica da represa de Alagados, pois a represa é formada pelo represamento das águas do rio Pitangui (P), e seu principal afluente é o rio Jotuba (J). Foram definidos 4 pontos de coleta no rio Pitangui, contando-os de montante a jusante, 4 pontos no rio Jotuba, contando-os também de montante a jusante, e, finalmente, 4 pontos de coleta na

represa de Alagados (R), em áreas mais propícias a floração de cianobactérias. Esses pontos foram definidos sobre uma imagem de satélite da região e marcados com os seguintes códigos: P1, P2, P3 e P4 o rio Pitanguí; J1, J2, J3 e J4, para o rio Jotuba; R1, R2, R3 e R4 a represa de Alagados (Figura 9).

Um GPS foi usado para a confirmação das coordenadas dos pontos de amostragem, no sistema UTM. Uma máquina fotográfica também foi utilizada para a verificação do acesso a esses locais.

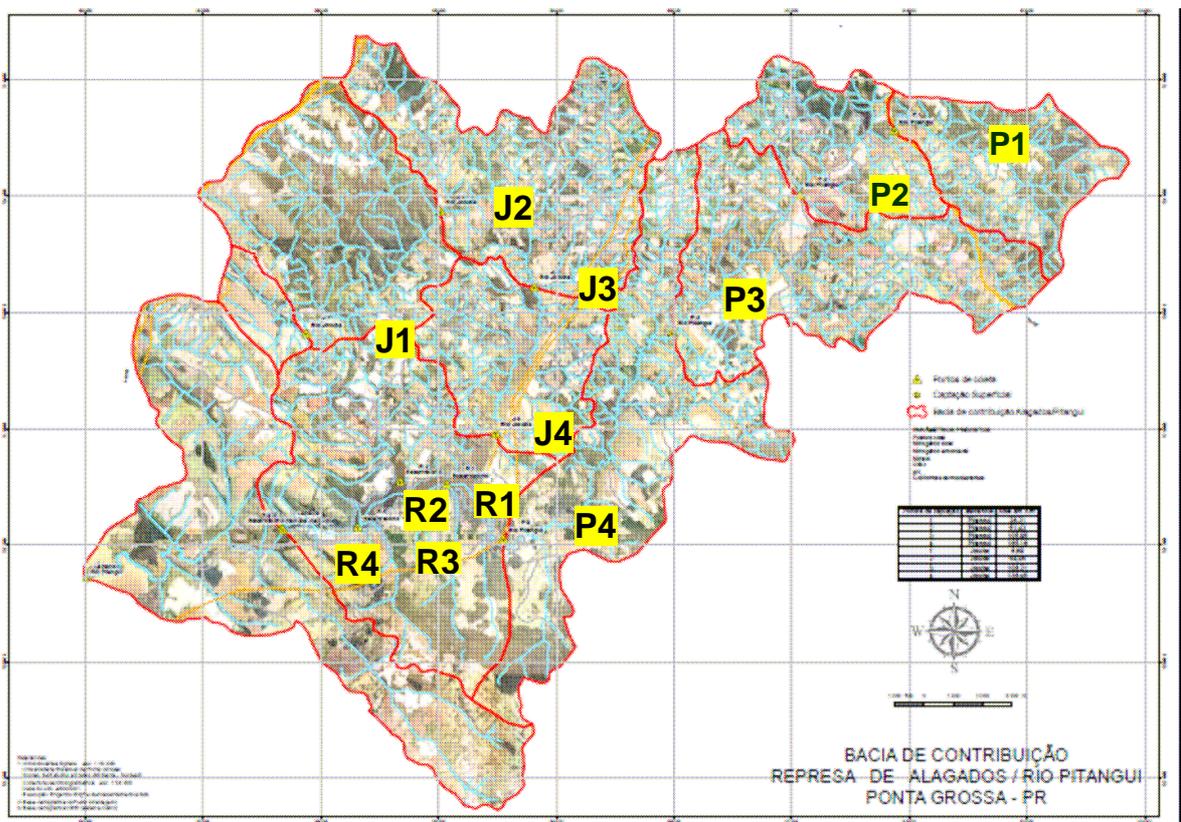


FIGURA 9 - PONTOS DE COLETA NA REPRESA DE ALAGADOS. FONTE SANEPAR, 2008

As coordenadas UTM e a bacia de contribuição de cada ponto de coleta são apresentados no Quadro 14.

| <b>Código do ponto</b> | <b>Coordenada UTM</b> | <b>Área em Km<sup>2</sup></b> |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| P1 (rio Pitangui)      | 615.531               | 26,21                         |
|                        | 7.427.225             |                               |
| P2 (rio Pitangui)      | 612.342               | 51,43                         |
|                        | 7.244.032             |                               |
| P3 (rio Pitangui)      | 607.974               | 105,95                        |
|                        | 7.239.228             |                               |
| P4 (rio Pitangui)      | 602.387               | 165,16                        |
|                        | 7.232.205             |                               |
| J1 (rio Jotuba)        | 595.516               | 6,69                          |
|                        | 7.239.381             |                               |
| J2 (rio Jotuba)        | 600.098               | 54,45                         |
|                        | 7.243.544             |                               |
| J3 (rio Jotuba)        | 603.337               | 106,21                        |
|                        | 7.240.814             |                               |
| J4 (rio Jotuba)        | 602.023               | 138,45                        |
|                        | 7.235.872             |                               |
| R1 (represa Alagados)  | 600.259               | Total = 75,75                 |
|                        | 7.234.083             |                               |
| R2 (represa Alagados)  | 598.691               |                               |
|                        | 7.234.167             |                               |
| R3 (represa Alagados)  | 597.288               |                               |
|                        | 7.232.545             |                               |
| R4 (represa Alagados)  | 594.721               |                               |
|                        | 7.232.517             |                               |

QUADRO 14 - COORDENADAS UTM E ÁREA DA BACIA DOS PONTOS DE COLETA NA REPRESA DE ALAGADOS. FONTE: SANEPAR, 2008.

A metodologia adotada para amostragem foi de realizar a coleta uma vez ao mês, na última quarta-feira de cada mês. Duas equipes de coleta foram criadas, sendo uma por terra, utilizando-se veículo para acessar os pontos P1, P2, P3, P4, J1, J2, J3 e J4, e outra equipe utilizando barco, para fazer a coleta nos pontos dentro da represa (R1, R2, R3 e R4).

Para padronizar o horário da coleta, as equipes partiam sempre as 8:30 h e as coletas eram realizadas na seqüência da numeração, partindo sempre da montante para a jusante dos rios e do reservatório. Dessa forma, os mesmos pontos eram coletados todos os meses, quase no mesmo horário, que se estendia até 12:00 h, aproximadamente (Figura 10). Ao fim das coletas, as amostras eram encaminhadas imediatamente ao laboratório, a fim de iniciar as análises.



FIGURA 10 - COLETA DE AMOSTRA NO PONTO P2 (RIO PITANGUI), EM 27/08/2009. FONTE: O AUTOR (2009)

Cada equipe levava uma caixa térmica, para manter a temperatura original das amostras e evitar a luz solar. Os frascos de coleta eram de polietileno, que são mais resistentes a quebra, devido as condições adversas dos caminhos de acesso aos pontos de coleta e as oscilações na lâmina de água da represa. Em cada ponto eram coletadas 4 amostras, sendo uma de 1 L para as análises físico-químicas do laboratório terceirizado, outra de 500 mL para análises físico-químicas do laboratório da SANEPAR em Ponta Grossa e outra de 100 mL para análise microbiológicas do laboratório terceirizado. Essas amostras não eram utilizadas para a contagem de cianobactérias, portanto não havia preocupação em coletar amostras de diferentes profundidades, coletando-se, geralmente, próximo a superfície.

## 3.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Os métodos utilizados nas análises físico-químicas e bacteriológicas, seguiram os procedimentos descritos nas Instruções de Trabalho de Laboratório (IT/LAB) da SANEPAR (SANEPAR, 2008), as quais foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Para cada procedimento existe uma Instrução de Trabalho relacionada, a qual é revista periodicamente e atualizada, se necessário.

### 3.2.1 Aspectos gerais para as análises de nitrito, nitrato, fósforo total e reativo

Um espectrofotômetro, modelo HACH DR/2010, foi calibrado com uma curva de valor mínimo 0,015 mg/L. Em relação a análise do nitrato e nitrito, foi necessário fazer um pré-tratamento das amostras. Se as amostras apresentassem sólidos em suspensão, filtrava-se 200 mL de amostra através de membrana filtrante 0,45 µm. Se a amostra apresentasse cor e/ou turbidez, adicionava-se 6 mL de suspensão de hidróxido de alumínio em 200 mL de amostra. As amostras foram agitadas rapidamente por 1 minuto e lentamente por 5 minutos, posteriormente foram decantadas e filtradas, desprezando-se a primeira porção filtrada. Quando necessário a operação era repetida.

### 3.2.2 Análise de nitrato

Segundo a IT/LAB/1465-007 (SANEPAR, 2008), 50 mL de amostra foram filtradas e o pH foi ajustado próximo de 7 com solução de hidróxido de sódio 0,1N ou ácido clorídrico 0,1N. Após, uma cubeta de 25 mL com água deionizada foi enchida e outra cubeta com a amostra. A cubeta com água deionizada foi inserida no equipamento, o qual foi zerado. Logo após, a cubeta com a amostra foi inserida seu valor lido.

### 3.2.3 Análise do nitrito

Conforme IT/LAB/0020-012 (SANEPAR, 2008), 50 mL da amostra filtrada ou clarificada foi transferida para um erlenmeyer de 300 mL. Ajustou-se o pH próximo

de 7 com solução de hidróxido de sódio 0,1N ou ácido clorídrico 0,1N. 1 mL de solução de dicloreto N-1naftil-etilenediamina, foi adicionada. Ela foi agitada e deixada em repouso por 2 a 8 minutos. Em seguida, 1 mL da solução de sulfanilamida foi adicionado, aguardando-se entre 10 e 120 minutos para leitura no equipamento.

#### 3.2.4 Análise do fósforo total

A IT/LAB/0136-014 (SANEPAR, 2008) estabeleceu que 100 mL de amostra foi adicionada a um erlenmeyer e 0,05 mL de solução indicadora fenolftaleína foi adicionada a essa amostra. Se a amostra ficasse rósea, adicionava-se solução de ácido forte (HCl), gota a gota, até o desaparecimento da cor. Um excesso de 1 mL de solução de ácido era adicionada a amostra. Após, a amostra era fervida por 90 minutos (brandamente) em chapa aquecedora, adicionando-se água deionizada para manter o volume entre 25 mL e 50 mL. Após esse tempo esfriou-se a amostra a temperatura ambiente. Hidróxido de sódio foi adicionado até aparecimento da cor rósea, retornando-se ao volume a 100 mL com água deionizada e acrescentando mais 1 mL de ácido forte. Para o desenvolvimento da cor, foi adicionado 4 mL do reagente I de molibdato de amônio e 0,5 mL do reagente II de cloreto estanhoso. Um branco com água deionizada ou água de osmose reversa também foi preparado. Uma porção do volume da amostra foi transferida para a cubeta, para se fazer a leitura no equipamento.

#### 3.2.5 Análise do fósforo reativo

O procedimento foi o mesmo do anterior, seguindo a mesma IT/LAB/0136-014, sendo que o tempo de reação com o cloreto estanhoso deveria ficar entre 10 e 12 minutos.

#### 3.2.6 Análise da Demanda Química de Oxigênio – DQO

Foi realizada conforme o Método Colorimétrico no Refluxo Fechado para águas naturais, descrito na IT/LAB/0615-012 (SANEPAR, 2008). Nesse caso,

primeiramente foi escolhido o comprimento de onda para análise, conforme expectativa de concentração de DQO na amostra, ilustrada no Quadro 15.

| Valores de DQO (mg/L) | Solução Digestora | Comprimento de onda (nm) |
|-----------------------|-------------------|--------------------------|
| < 90,0                | Faixa baixa       | 420                      |
| 100 a 900             | Faixa alta        | 600                      |

QUADRO 15 - COMPRIMENTOS DE ONDA PARA DETERMINAÇÃO DE DQO  
FONTE: SANEPAR 2008

O volume da amostra a ser analisado também pode ser definido em relação ao tubo de digestão disponível (Quadro 16).

| Tubos de digestão     | Amostra(mL) | Solução digestora (mL) | Reagente de Ácido Sulfúrico (mL) | Volume total final(mL) |
|-----------------------|-------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 16 x 100mm            | 2,5         | 1,5                    | 3,5                              | 7,5                    |
| 20 x 150mm            | 5,0         | 3,0                    | 7,0                              | 15,0                   |
| 25 x 150mm            | 10,0        | 6,0                    | 14,0                             | 30,0                   |
| Ampola padrão de 10mL | 2,5         | 1,5                    | 3,5                              | 7,5                    |

QUADRO 16 - VOLUME DE AMOSTRA PARA ANÁLISE DE DQO EM FUNÇÃO DO TUBO DE DIGESTÃO. FONTE: SANEPAR 2008

O tubo de digestão utilizado foi o de 16x100 mm e a faixa de comprimento de onda alta (600 nm). Para esse caso, 2,5 mL da amostra foi homogeneizada e transferida para o tubo de digestão. Em seguida foi adicionado 1,5mL da solução digestora aplicável (faixa alta) e 3,5mL de ácido sulfúrico. Em sequência, o tubo de digestão foi agitado e levado ao bloco digestor (pré-aquecido a 150 °C) por 2 horas. Após esse tempo o tubo foi retirado do equipamento, esfriado a temperatura ambiente (para evitar formação de precipitado). Em seguida, o tubo de digestão foi agitado para combinar a água condensada e retirada a matéria insolúvel da parede do tubo. A leitura foi realizada no espectrofotômetro de acordo com a faixa aplicável.

### 3.2.7 Análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5</sub>

A DBO<sub>5</sub> foi realizada conforme IT/LAB/0616-009 (SANEPAR, 2008). Os volumes das amostras foram diluídos em um balão volumétrico de 1000 mL (Quadro 17).

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| 1ª diluição | $V1 = 10 \times F^*$ |
| 2ª diluição | $V2 = 2 \times V1$   |
| 3ª diluição | $V3 = V / 2$         |
| 4ª diluição | $V4 = V / 4$         |

QUADRO 17 - DILUIÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE DBO EM BALÃO VOLUMÉTRICO DE 1000 ML. FONTE: SANEPAR 2008 \*FATOR DE DILUIÇÃO

500 mL de água de diluição foram adicionados num balão volumétrico de 1000 mL, evitando bolhas de ar no interior. As amostras foram adicionadas de acordo com os volumes obtidos com a diluição, completando com água de diluição a 1000 mL. Cada amostra diluída e homogeneizada foi transferida por sifonamento para 2 frascos de DBO identificados, os quais foram enchidos até transbordar e tampou-se firmemente, formando o selo de água, tomando-se cuidado para não deixar bolhas de ar no interior. O outro frasco foi incubado por 5 dias a 20 °C, em ambiente escuro. Após 5 dias determinou-se a concentração de oxigênio dissolvido final.

### 3.2.8 Análise de Oxigênio Dissolvido – OD

Conforme IT/LAB/1233-007 (SANEPAR, 2008), 200 mL da amostra foi transferida para um erlenmeyer de 250mL com o auxílio de uma pipeta volumétrica. Após, a solução foi titulada com a solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,025 M até uma cor amarelo palha claro. Algumas gotas de amido foram adicionadas à solução e a titulação prosseguiu até primeiro desaparecimento da cor azul. Se o ponto final fosse ultrapassado, voltava-se a titular com solução 0,0021 mol/l de bi-iodato, adicionando-se gota a gota, ou se adicionava uma medida de volume de amostra tratada. Desconsiderava-se “recoloração” devido ao efeito catalítico de nitrito ou de vestígios de sais de ferro que não foram complexados com flúor. Feita a preparação da amostra, a mesma foi levada para a leitura no oxímetro

### 3.2.9 Análise da turbidez

Um turbidímetro modelo HACH 2100 foi utilizado conforme o procedimento descrito na IT/LAB/0027-020 (SANEPAR, 2008). Nesse equipamento, a cubeta foi completada com a amostra homogeneizada até a marca, em seguida tampada e

secada. A cubeta foi inserida no compartimento de modo que a marca de orientação ficasse alinhada com a marca no turbidímetro. Pressionou-se a tecla “ler” e procedeu-se a leitura do valor.

### 3.2.10 Análise de coliformes totais e coliformes termotolerantes

As análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes foram realizadas através do método da membrana filtrante, descrito na IT/LAB/0004-023 (SANEPAR, 2008). Primeiramente, a amostra é diluída, conforme o Quadro 18.

| <b>Tipo de amostra</b> | <b>Diluição</b>                         | <b>Qt. De amostra</b>                     |
|------------------------|---|---|
| Água potável           | SD*                                     | Calcular conforme fórmula descrita abaixo |
| Piscinas               | SD*                                     |   |
| Poços / Fontes         | SD*, 1:2 e/ou 1:10                      |   |
| Lagos / Represas       | SD*, 1:2 e/ou 1:10                      |   |
| Água de rio            | 1:100; 1:1.000; 1:10.000 e/ou 1:100.000 |   |

QUADRO 18 - QUADRO PARA AUXILIAR NA DILUIÇÃO DE AMOSTRAS BACTERIOLÓGICAS. SD\* - SEM DILUIÇÃO. FONTE: SANEPAR 2008.

A fórmula abaixo foi utilizada para o cálculo de diluições bacteriológicas:

Fórmula:  $C_i \times V_i = C_f \times V_f$ ; onde:

$C_i$  – concentração inicial

$V_i$  – volume inicial

$C_f$  – concentração final

$V_f$  – volume final

100 mL de amostra, diluída ou não, foi cuidadosamente filtrada a vácuo em porta filtro adequado. Quando aplicável, as paredes internas do porta-filtro foi enxaguada com água de diluição estéril ou água quente. O vácuo foi desligado ao fim da operação, evitando a secagem excessiva da membrana. Na seqüência, foi removida a parte superior do porta-filtro, e com auxílio de uma pinça esterilizada. A membrana com a face quadriculada voltada para cima foi colocada sobre o meio de cultura Endo contido na placa de Petri.

Outra porção de 100 mL de amostra foi filtrada de modo similar e a membrana com a face quadriculada voltada para cima foi colocada sobre o meio de cultura m-FC contido na placa de Petri.

Logo após, foram incubadas as placas de Petri de meio Endo com amostra, em estufa, por 18 a 24 horas à 35 ° C. Após incubação, foi realizada a leitura do número de colônias típicas de coliformes totais.

As placas de Petri de meio m-FC com amostra, foram incubadas por aproximadamente 24 horas a 44,5 °C . Após incubação, fez-se a leitura do número de colônias típicas de coliformes termotolerantes.

Se, em amostras produzidas ou tratadas houvesse crescimento de coliformes totais, as colônias deviam ser submetidas à verificação de presença de coliformes termotolerantes. A contagem de colônias de placas com crescimento entre 20 e 80 colônias de coliformes e não mais que 200 colônias de todos os tipos, foram definidas como limite e calculadas pela equação:

$$\text{Coliformes/100mL} = \frac{\text{Colônias contadas de coliformes} \times 100}{\text{mL de amostra filtrada}}$$

### 3.2.11 Análise de cianobactérias

A contagem de cianobactérias na represa de Alagados foi realizada pela SANEPAR desde 2004, e sua frequência é mensal ou semanal, baseadas na portaria 518/04 do Ministério da Saúde. Tal portaria define em seu artigo 19 § 1 que o monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 20.000 células/mL (ou 2 mm<sup>3</sup>/L de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor (BRASIL, 2004).

No caso da represa de Alagados, o ponto de captação é definido como R4. A Figura 11 mostra o ponto de coleta.

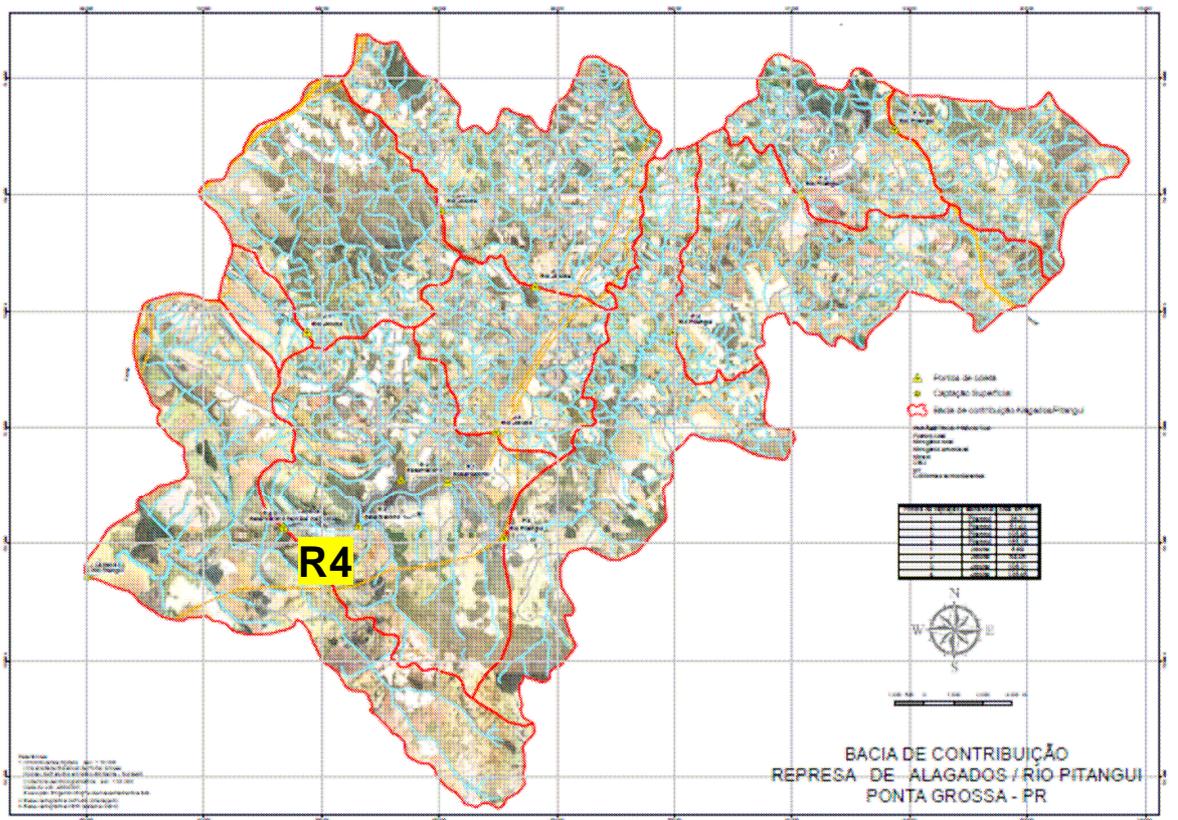


FIGURA 11: PONTO DE COLETA R4 (CAPTAÇÃO), PARA AMOSTRA DE CINOBACTÉRIAS, NA REPRESA DE ALAGADOS. FONTE: SANEPAR, 2008.

A análise das cianobactérias foi realizada segundo o método de Utermohl, conforme descrito na Instrução Normativa 5.303/2005 da SANEPAR (SANEPAR, 2008). Inicialmente, a amostra é lentamente agitada dentro do frasco a fim de homogeneizar. Após homogeneização, as amostras foram transferidas e conservadas na câmara de Utermohl, deixando-as completamente cheias. O excesso de amostra foi retirado deslizando a tampa que fecha a câmara. Foi necessário verificar que não tivesse ocorrido formação de bolhas de ar. Em seguida, as câmaras de Utermohl foram colocadas na câmara úmida e foram deixadas em repouso de um dia para outro, para que as cianobactérias decantem. No dia seguinte, as leituras das amostras foram realizadas utilizando um microscópio invertoscópio equipado com retículo de Whipple, calibrados. A câmara de Utermohl foi posicionada sobre a mesa do microscópio. Para a verificação do número de células de cianobactérias, como o valor de células varia muito, de um filamento ou colônia de mesma espécie, foi utilizado o quadrado do retículo como referência de medição, quantificando as células existentes em cada quadrado para facilitar a contagem. As leituras em dois transectos perpendiculares foram realizadas em uma

área do retículo de Whipple, o número de retículos a serem contados dependia da abundância de cianobactérias em cada um dos retículos. A identificação das cianobactérias foi realizada conforme literatura especializada.

A identificação foi realizada a partir das características morfológicas das cianobactérias, as quais eram visualizadas a partir de um microscópio, que permita aumentar de 100 a 400 vezes. A diferenciação de um gênero de alga para outro foi realizado a partir de chaves sistemáticas, que contêm pranchas com desenhos ou fotos.

O número de células de cianobactérias por mL foi obtido através da contagem número de células de uma determinada cianobactéria (Cb) x fator de correção (Fc) (retículos contados), conforme fórmula:  $Cb \times Fc = \text{celulas/ML}$  (Quadro 19).

| Número de retículos contados | Fator de correção do microscópio | Número de retículos contados | Fator de correção do microscópio |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1                            | 1476,1                           | 11                           | 135,6                            |
| 2                            | 738,0                            | 12                           | 123,0                            |
| 3                            | 492,0                            | 13                           | 113,5                            |
| 4                            | 369,0                            | 14                           | 105,4                            |
| 5                            | 295,2                            | 15                           | 98,4                             |
| 6                            | 246,0                            | 16                           | 92,2                             |
| 7                            | 197,3                            | 17                           | 86,8                             |
| 8                            | 184,5                            | 18                           | 82,0                             |
| 9                            | 153,4                            | 19                           | 76,6                             |
| 10                           | 147,6                            | 20                           | 73,8                             |

QUADRO 19 - FATORES/RETÍCULOS / MICROSCÓPIO CK . FONTE: SANEPAR 2008

### 3.2.12 Dados de pluviosidade

Os dados de pluviosidade foram obtidos com o Instituto das Águas do Paraná, o qual possui os dados das principais estações meteorológicas do Estado. Os valores obtidos referem-se aos anos de 2008, 2009 e 2010. As estações utilizadas nesse estudo são as que se encontravam mais próximas da área de estudo,

conforme localização apresentada na Figura 12. As estações escolhidas são apresentadas no Quadro 20.

| <b>Estação</b> | <b>Código</b> |
|----------------|---------------|
| Abapã          | 02449026      |
| Bocaína        | 02450021      |
| Catanduva      | 02450024      |
| Itaiacoca      | 02549052      |
| Santa Cruz     | 02550003      |

QUADRO 20 - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PRÓXIMAS A ÁREA DE ESTUDO. FONTE: INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – 2011

Os dados obtidos são apresentados nos Quadros 21, 22 e 23 e representam o total de chuvas, em mm, nos períodos representados:

| <b>Estação</b> | <b>jan</b> | <b>Fev</b> | <b>mar</b> | <b>abr</b> | <b>mai</b> | <b>jun</b> | <b>jul</b> | <b>ago</b> | <b>set</b> | <b>out</b> | <b>nov</b> | <b>dez</b> |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Abapã          | 234,6      | 97,5       | 92,8       | 184,0      | 87,7       | 129,6      | 38,0       | 181,7      | 45,1       | 193,4      | 128,6      | 45,3       |
| Bocaina        | 168,9      | 84,7       | 179,0      | 158,3      | 94,7       | 134,2      | 57,3       | 186,2      | 46,6       | 223,1      | 59,1       | 31,1       |
| Catanduva      | 121,9      | 74,9       | 142,1      | 183,2      | 80,4       | 119,7      | 49,8       | 170,8      | 54,5       | 201,8      | 87,5       | 80,6       |
| Itaiacoca      | 177,3      | 54,1       | 118,7      | 182,1      | 87,1       | 148,2      | 69,6       | 178,2      | 58,1       | 250,7      | 85,5       | 97,8       |
| Santa Cruz     | 140,2      | 145,1      | 130,1      | 158,8      | 80,1       | 141,5      | 53,7       | 183,1      | 53,0       | 266,1      | 92,9       | 23,0       |

QUADRO 21 - PLUVIOSIDADE NA BACIA DE ALAGADOS 2008. FONTE: INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – 2011

| <b>Estação</b> | <b>jan</b> | <b>Fev</b> | <b>mar</b> | <b>abr</b> | <b>mai</b> | <b>jun</b> | <b>jul</b> | <b>Ago</b> | <b>set</b> | <b>out</b> | <b>nov</b> | <b>dez</b> |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Abapã          | 172,3      | 150,1      | 52,1       | 32,4       | 58,1       | 94,8       | 295,8      | 66,7       | 246,9      | 194,2      | 185,5      | 120,9      |
| Bocaina        | 223        | 181,4      | 47,3       | 18,3       | 77,3       | 74,1       | 269,8      | 106,5      | 272,6      | 205,6      | 227,3      | 201,1      |
| Catanduva      | 182,4      | 134,7      | 46,1       | 8,1        | 51,5       | 83,3       | 235,9      | 76         | 257,2      | 224        | 202,9      | 161,9      |
| Itaiacoca      | 277,5      | 179,2      | 63,5       | 6,4        | 50,9       | 90,8       | 316        | 65         | 270,5      | 223,1      | 206,3      | 97,1       |
| Santa Cruz     | 258,8      | 205,2      | 99,9       | 12,3       | 81,3       | 97,2       | 339,6      | 99,6       | 269,1      | 171,3      | 200,6      | 183,1      |

QUADRO 22 - PLUVIOSIDADE NA BACIA DE ALAGADOS 2009. FONTE: INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – 2011

| <b>Estação</b> | <b>jan</b> | <b>Fev</b> | <b>mar</b> | <b>abr</b> | <b>mai</b> | <b>jun</b> | <b>jul</b> | <b>ago</b> | <b>set</b> | <b>out</b> | <b>nov</b> | <b>dez</b> |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Abapã          | 206,4      | 167,3      | 286,2      | 145,5      | 101,5      | 61,3       | 89,9       | 33,2       | 50,4       | 173,3      | 116        | 285,5      |
| Bocaina        | 159,8      | 186,7      | 278,2      | 175,6      | 71         | 60,6       | 99,9       | 32,9       | 56         | 211,2      | 100        | 184,4      |
| Catanduva      | 172,6      | 156,4      | 190,6      | 152,4      | 119,7      | 62,7       | 102,4      | 35,3       | 43,4       | 149,6      | 72,9       | 224,8      |
| Itaiacoca      | 331        | 254,8      | 286        | 172,7      | 101,8      | 70         | 123,5      | 45,1       | 94,7       | 185,6      | 96,6       | 276,2      |
| Santa Cruz     | 251,4      | 227,7      | 248,7      | 157,1      | 79         | 66,3       | 99,1       | 35,3       | 59,5       | 172,4      | 83,4       | 293,5      |

QUADRO 23 – PLUVIOSIDADE NA BACIA DE ALAGADOS 2010  
FONTE: INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – 2011

A distribuição do volume de chuvas na área de estudos obedeceu o critério desenvolvido pelo método de Thiesen (COMIG; LINDNER; KOBIYAMA, 2007), que determina a área de influência de cada estação pluviométrica e a percentagem de contribuição de cada um a delas em relação ao total.

A Figura 12 ilustra a área de influência de cada estação pluviométrica em relação a área de estudos.

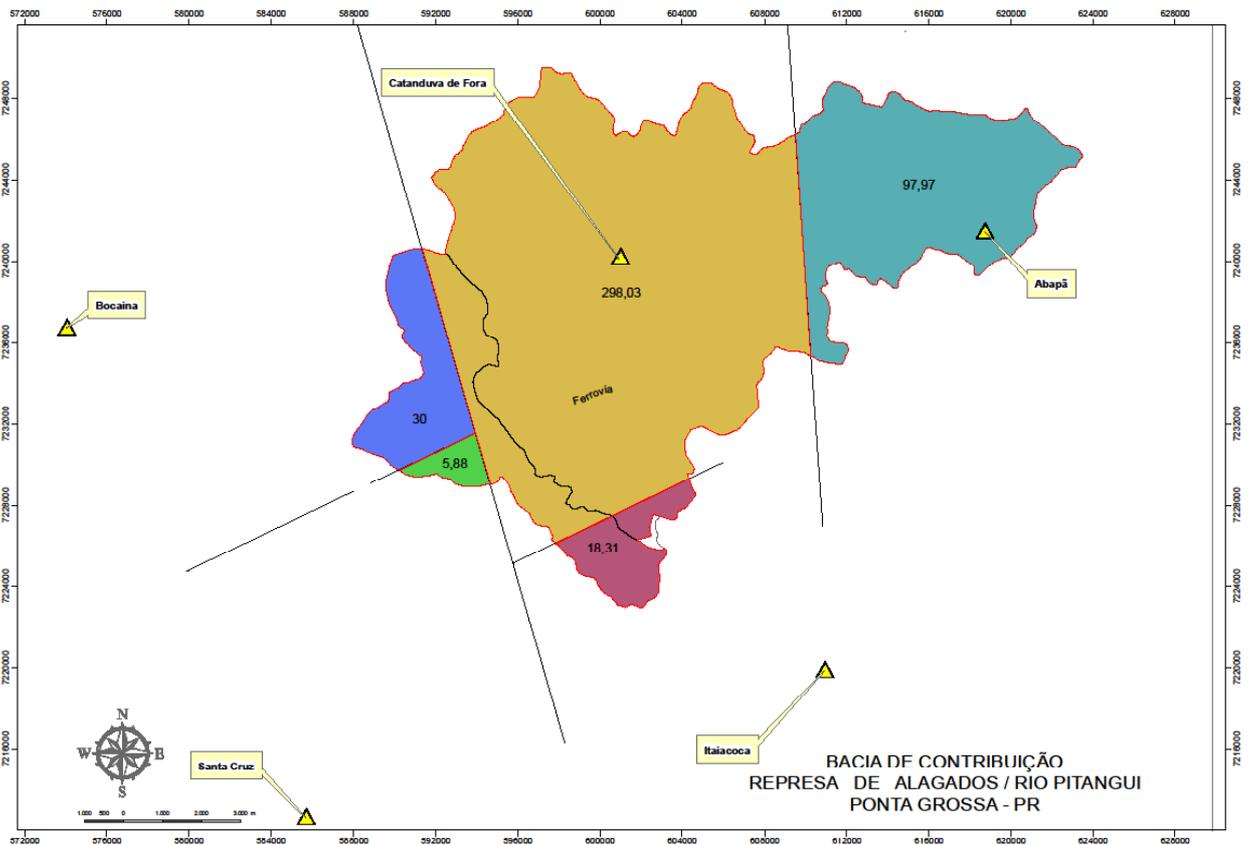


FIGURA 12 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO, SEGUNDO MÉTODO DE THIESEN. FONTE: O AUTOR

As áreas de contribuição de cada estação foram distribuídas conforme demonstrado no Quadro 24.

| Estação      | Área (km <sup>2</sup> ) | %          |
|--------------|-------------------------|------------|
| Catanduva    | 298,03                  | 66,20      |
| Abapã        | 97,97                   | 21,76      |
| Bocaina      | 30,00                   | 6,66       |
| Itaiacoca    | 18,32                   | 4,07       |
| Santa Cruz   | 5,88                    | 1,31       |
| <b>Total</b> | <b>450,2</b>            | <b>100</b> |

QUADRO 24 - ÁREAS E PERCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA. FONTE: O AUTOR

### 3.2.13 Índice de Qualidade de Água – IQA

Para análise do Índice de Qualidade de Água – IQA nos ponto de coleta, foi utilizado o método do *National Sanitation Foundation*, dos Estados Unidos, criado em 1970 e descrito no site da Agência Nacional de Águas.

Este índice é composto por nove parâmetros com seus respectivos pesos ( $w$ ), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (ANA, 2009). O Quadro 25 mostra esses parâmetros e seus respectivos pesos.

| PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA                       | PESO ( $w$ ) |
|--|--------------|
| Oxigênio dissolvido                                  | 0,17         |
| Coliformes termotolerantes                           | 0,15         |
| potencial Hidrogênico – pH                           | 0,12         |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO <sub>5,20</sub> | 0,10         |
| Temperatura da Água                                  | 0,10         |
| Nitrogenio Total                                     | 0,10         |
| Fosforo Total  | 0,10         |
| Turbidez   | 0,08         |
| Resíduo Total  | 0,08         |

QUADRO 25 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E SEUS RESPECTIVOS PESOS. FONTE: ANA, 2009.

Além de seu peso ( $w$ ), cada parâmetro possui um valor de qualidade ( $q_i$ ), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida (ANA, 2009). A figura 13 trás esses gráficos.

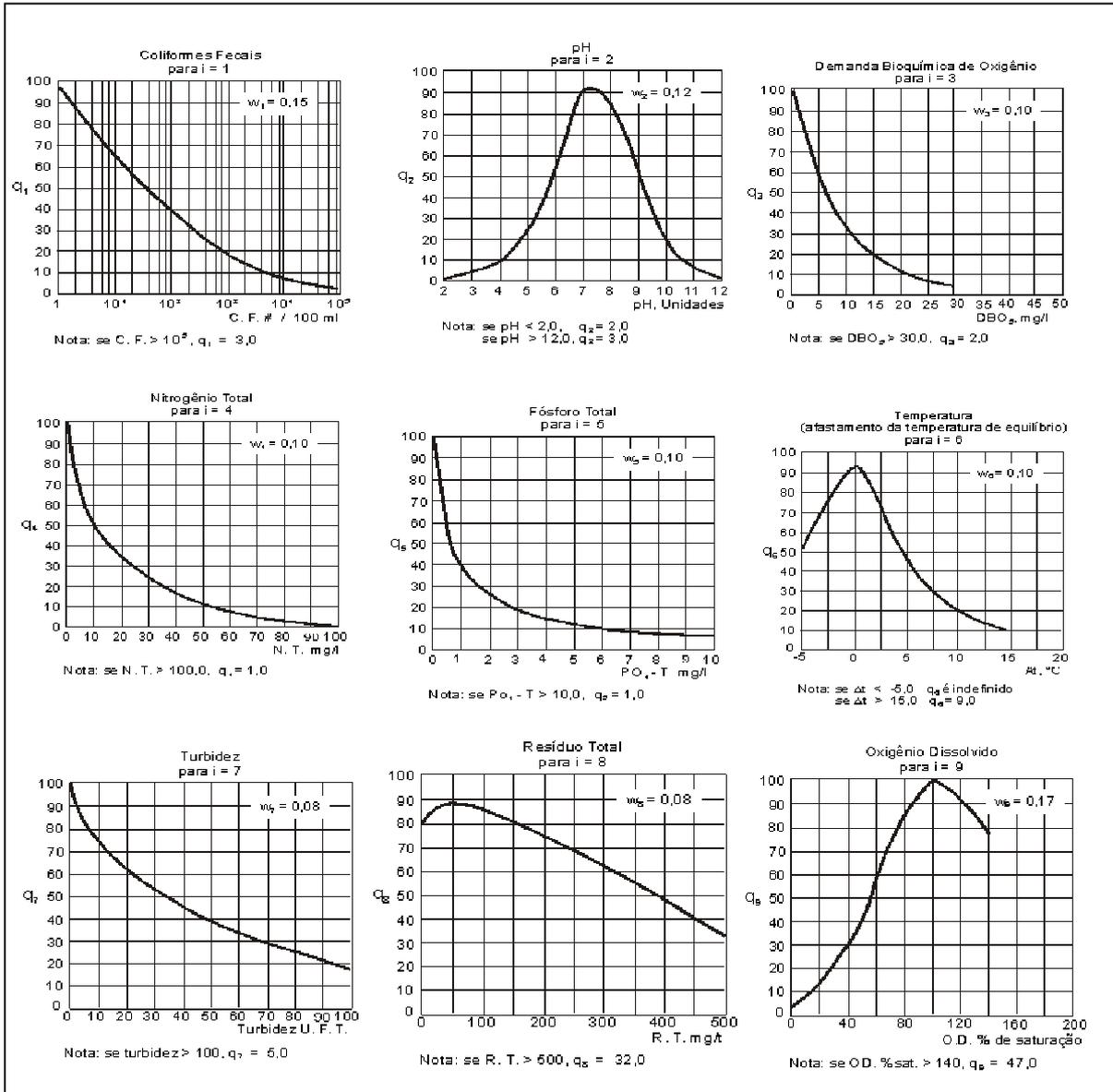


FIGURA 13 - TABELAS PARA ESTABELECIMENTO DO VALOR  $q_i$  DO IQA. FONTE: ANA (2009)

O cálculo do IQA é feito por meio de um somatório dos nove parâmetros, seguindo a seguinte fórmula:

$$IQA = \sum q_i \times w_i$$

onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

$q_i$  = qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

$w_i$  = peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade (ANA, 2009)

Os valores do IQA são classificados em faixas, que variam entre os estados brasileiros (Quadro 26).

| Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS | Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP | Avaliação da Qualidade da Água |
|--|--|--------------------------------|
| 91-100   | 80-100   | <b>Ótima</b>                   |
| 71-90  | 52-79  | <b>Boa</b>                     |
| 51-70  | 37-51  | <b>Razoável</b>                |
| 26-50  | 20-36  | <b>Ruim</b>                    |
| 0-25   | 0-19   | <b>Péssima</b>                 |

QUADRO 26 – CLASSIFICAÇÃO DO IQA EM FUNÇÃO DA FAIXA DE VALORES. FONTE: ANA (2009)

### 3.2.14 Dados de insolação

As informações referente a insolação diária sobre a bacia hidrográfica do manancial de Alagados, foi obtida diretamente do site do Observatório Nacional (2011), o qual disponibiliza as informações para todas as localidades do Brasil, necessitando apenas informar a coordenada geográfica.

Obtido os dados para os anos de 2008 a 2010, os mesmos foram tabulados em uma planilha eletrônica para calcular os valores mensais de insolação e fazer sua correlação com a floração de cianobactérias.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS NOS TRIBUTÁRIOS E NA REPRESA

As coletas feitas nos principais tributários da represa de Alagados, rios Pitanguí e Jotuba, teve por finalidade verificar qual ponto contribui com mais nutrientes ou outro parâmetro que pode influenciar a floração de cianobactérias na represa. A média dos valores obtidos de março de 2008 a novembro de 2010, são apresentados para 4 pontos no rio Pitanguí e Jotuba, bem como para a represa de Alagados. A principal cianobactéria observada foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*.

#### 4.1.1 Contagem de cianobactérias

A coleta e análise de cianobactérias foram realizadas somente no ponto R4 da represa de Alagados, por ser esse o ponto de captação, conforme determina a portaria 518/04 do Ministério da Saúde. A contagem foi realizada semanalmente, sempre que o valor superava 20.000 cels/mL e mensalmente quando era inferior a esse valor. As coletas foram realizadas no período da manhã, por volta de 10:00 h. O resultado dessa análise é ilustrado no Quadro 27. Os valores são uma média dos valores obtidos no ponto R4 e considerados em cels/mL.

| 2008      |         | 2009      |         | 2010      |         |
|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| Mês       | Valor   | Mês       | Valor   | Mês       | Valor   |
| janeiro   | 164.802 | janeiro   | 152.617 | janeiro   | 19.612  |
| fevereiro | 228.423 | fevereiro | 212.136 | fevereiro | 108.035 |
| março     | 231.378 | março     | 233.937 | março     | 133.247 |
| abril     | 245.010 | abril     | 299.128 | abril     | 97.310  |
| maio      | 148.574 | maio      | 260.301 | maio      | 33.619  |
| junho     | 84.039  | junho     | 194.095 | junho     | 2.504   |
| julho     | 27.768  | julho     | 72.963  | julho     | 2.372   |
| agosto    | 3.807   | agosto    | 71      | agosto    | 870     |
| setembro  | 2.987   | setembro  | 0       | setembro  | 839     |
| outubro   | 3.759   | outubro   | 1.140   | outubro   | 26      |
| novembro  | 6.783   | novembro  | 5.180   | novembro  | 2.816   |
| dezembro  | SI*     | dezembro  | 16.558  | dezembro  | 18.331  |

QUADRO 27 - VALORES DE CIANOBACTÉRIAS NA REPRESA DE ALAGADOS, DE 2008 A 2010.  
\* SEM INFORMAÇÃO



coleta na represa de Alagados (pontos R), realizadas de barco por outra equipe, também se iniciavam aproximadamente as 09:00 h, terminando próximo as 11:00 h.

A temperatura da água não apresentou grande variação ao longo do período estudado. As maiores temperaturas apresentadas na represa, podem estar relacionadas à sua maior lâmina de água, que absorve mais rapidamente o calor.

#### 4.1.3 Potencial Hidrogênico – pH

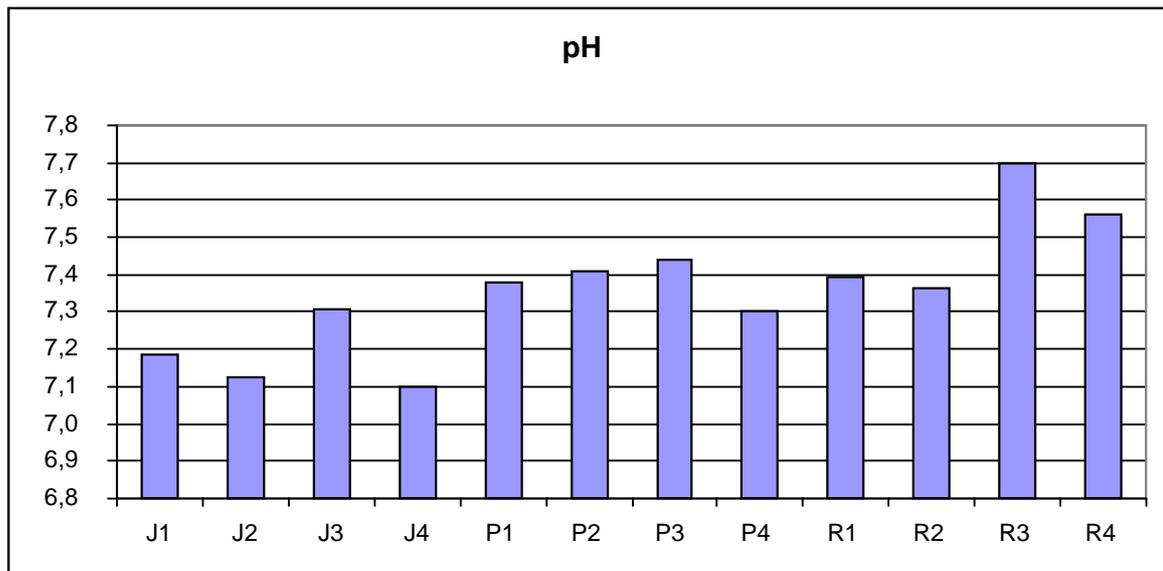


FIGURA 16 - MÉDIA DO pH NOS PONTOS DE COLETA.

O maior valor médio de pH foi observado nos ponto R3, seguido do R4, na represa de Alagados. Nos pontos de coleta do rio Pitangui os valores do pH aumentaram de jusante para montante, com exceção do ponto P4, quando o rio Pitangui se encontra com a represa. No rio Jotuba, não se observou um padrão previsível de pH, o mesmo ocorrendo nas águas da represa de Alagados. De modo geral, a variação do pH foi pequena, ficando entre 7,1 (Ponto J4) e 7,7 (ponto R3), o que é aceitável para o padrão de águas potáveis, segundo a portaria 518/04 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).

#### 4.1.4 Condutividade

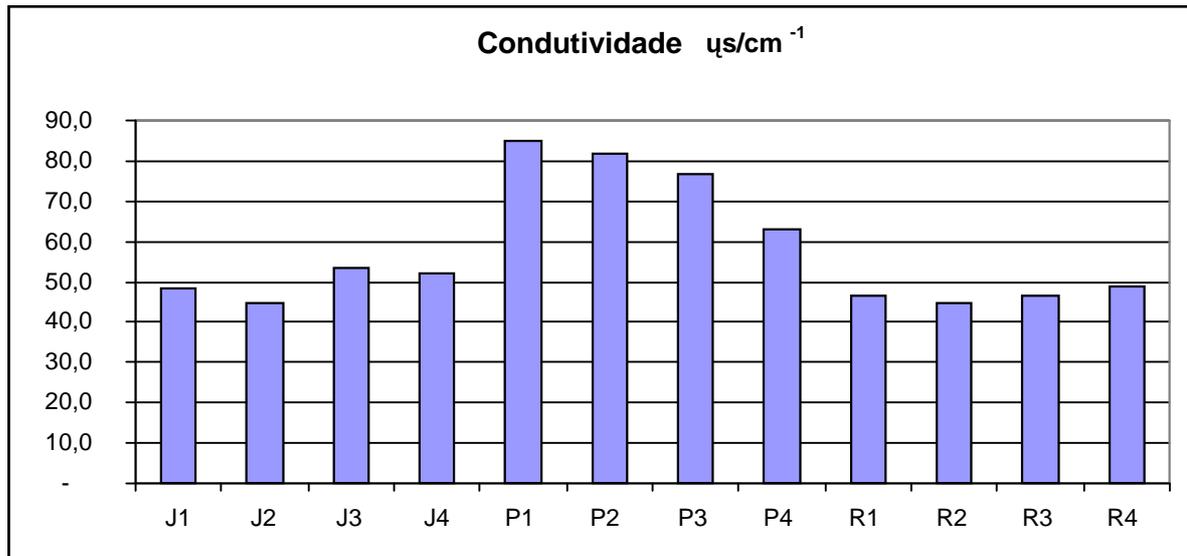


FIGURA 17 - MÉDIA DE CONDUTIVIDADE NOS PONTOS DE COLETA.

Os pontos relacionados ao rio Pitangui, apresentaram os maiores valores de condutividade. A condutividade está relacionada com os íons livres, geralmente relacionados com sais (TELES e COSTA, 2007). As margens do rio Pitangui são áreas densamente agricultadas (EMATER, 2009), logo, os altos valores de condutividade podem ser atribuídos aos agroquímicos, os quais foram carreados para essas águas por lixiviação. O nível de condutividade é decrescente no rio Pitangui, o que sugere contaminação maior no ponto P1 e variação por diluição nos demais pontos. As condutividades no rio Jotuba e na represa não apresentam um padrão previsível de comportamento.

#### 4.1.5 Turbidez

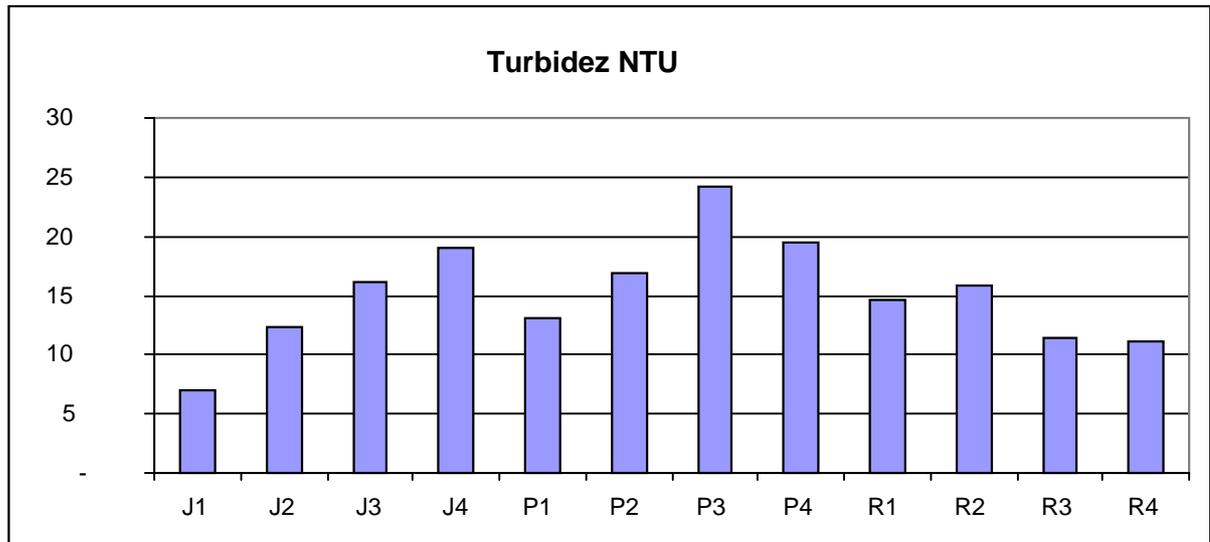


FIGURA 18 - MÉDIA DE TURBIDEZ NOS PONTOS DE COLETA.

O ponto P3 apresentou o maior valor médio de turbidez. Os valores observados são crescentes de J1 a J4 e de P1 a P3, sendo que o ponto P4 foi levemente inferior a P3, sugerindo que há um acúmulo de sedimentos nesses pontos, quando o ambiente lótico dos rios encontra-se com o ambiente lêntico da represa (TUNDISI, 2008). A turbidez diminui de R1 para R4, o que revela que a opção de captação, que ocorre junto ao ponto R4, é adequada.

#### 4.1.6 Amônia, nitrito e nitrato

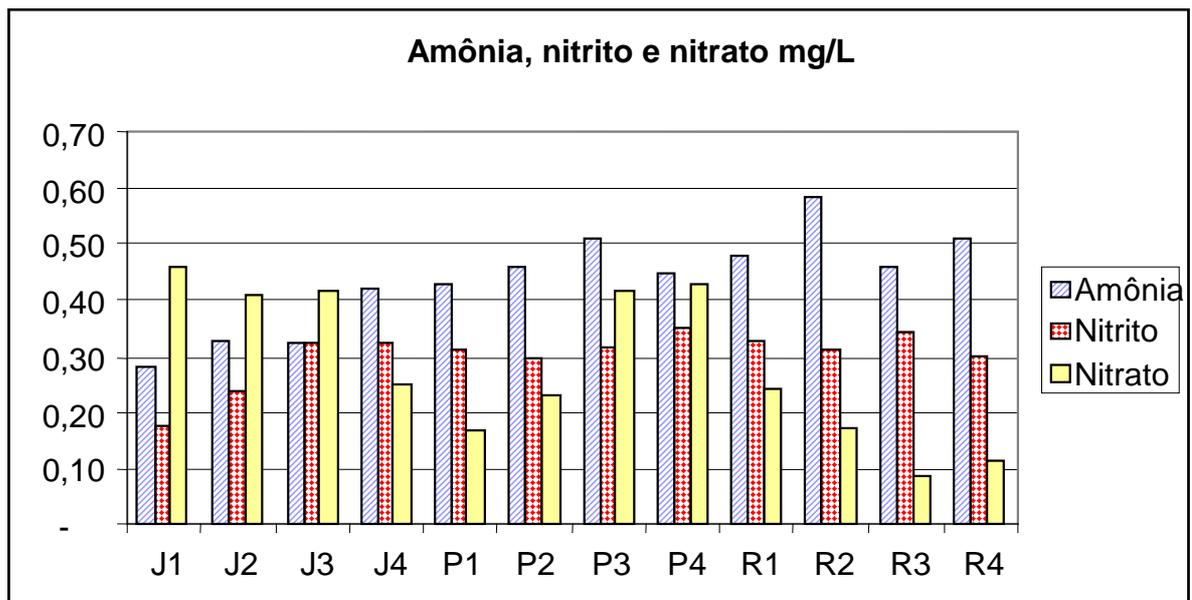


FIGURA 19 - MÉDIA DE AMÔNIA, NITRITO E NITRATO NOS PONTOS DE COLETA

Compostos nitrogenados geralmente estão associados a ações antrópicas, como lançamento de esgotos domésticos ou lixiviação de fertilizantes (BRAGA *et al.*, 2005). Os maiores valores médios de amônia foram encontrados nos pontos finais, tanto do rio Jotuba quanto do rio Pitanguí (J4 e P4), que pode ser atribuído a conversão de nitrito e nitrato em amônia ao longo dos trechos dos rios. Por outro lado, a amônia também pode ser atribuída a produtos agroquímicos que apresentam esse elemento em sua composição. O maior valor encontrado de amônia foi no ponto R2, na represa de Alagados.

A redução do teor de nitrito ao longo do trecho do rio Pitanguí e na represa de Alagados (pontos P e R), sugere que ocorre sua decomposição. Esse teor pode ir diminuindo à medida que se converte em nitrato (BRAGA *et al.*, 2005). No rio Jotuba (pontos J), porém, esse padrão não é percebido. Esse fato pode indicar que há aporte de compostos nitrogenados ao longo do trecho desse rio.

O teor de nitrato apresenta um padrão de diminuição ao longo do trecho do rio Jotuba e da represa de Alagados (pontos J e R). Essa redução pode ser atribuída a sua decomposição e/ou diluição devido ao aumento de água a jusante. Para o rio Pitanguí (pontos P), no entanto, esse padrão aparece invertido, aumentando ao longo do trecho percorrido, o que sugere um aporte devido a produtos agroquímicos.

#### 4.1.7 Fósforo total e reativo

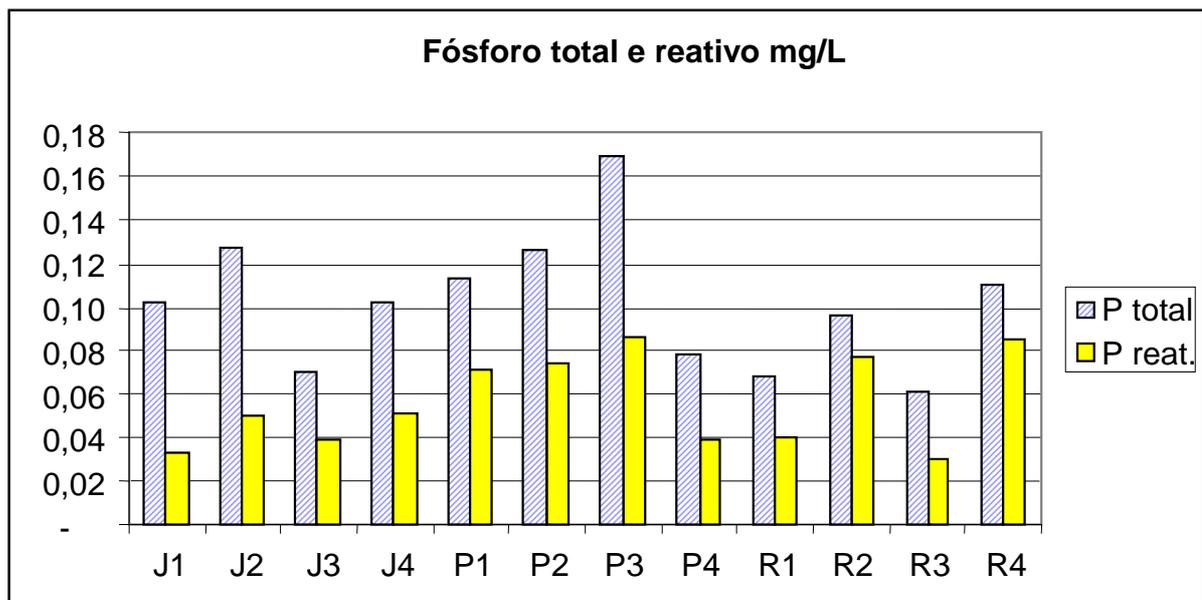


FIGURA 20 - MÉDIA DE FÓSFORO TOTAL E REATIVO NOS PONTOS DE COLETA

Assim como os compostos nitrogenados, os compostos contendo fósforo também são associados a grandes florações de cianobactérias (POSSELT; BURFORD; SHAW, 2009). A figura mostra que o ponto P3, no rio Pitanguí, apresenta o maior valor médio. Como citado, as margens do rio Pitanguí são densamente utilizadas por agricultura (EMATER, 2009), e o aporte de agroquímicos fosforados poderiam ser a causa desses valores sem comportamento previsível.

#### 4.1.8 Oxigênio dissolvido, DQO e DBO

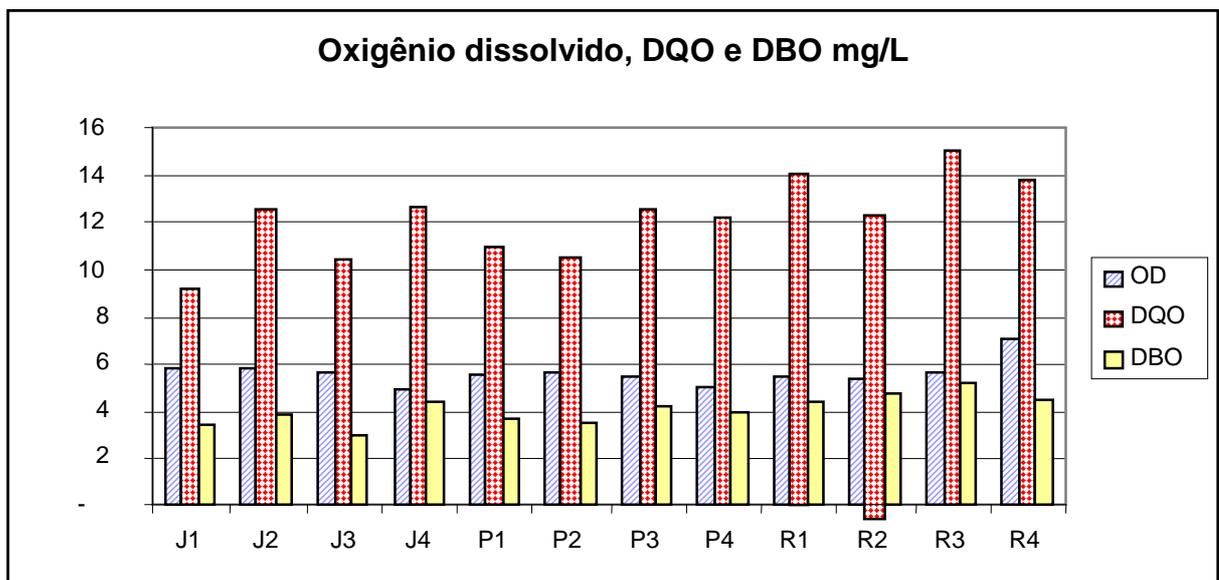


FIGURA 21 - MÉDIA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO, DQO E DBO NOS PONTOS DE COLETA

O Oxigênio Dissolvido não se mostrou com grandes alterações ao longo do período analisado. Todos os pontos se mantiveram acima de 5,0 mg/L, num valor aceitável para a classe dos rios em questão (CONAMA, 2005). O maior valor médio ocorreu no ponto de captação R4, local onde normalmente há mais turbulência devido as bombas para captação de água.

A DQO e DBO mostram um comportamento semelhante durante o período observado, o que pode ser atribuído a relação esperada entre os mesmos (LACERDA, 1999). De modo geral, um maior déficit de oxigênio foi observado na represa, o que pode ser atribuído ao seu ambiente lântico e estar sujeito a maiores temperaturas da água (TUNDISI, 2008)

#### 4.1.9 Coliformes totais e termotolerantes

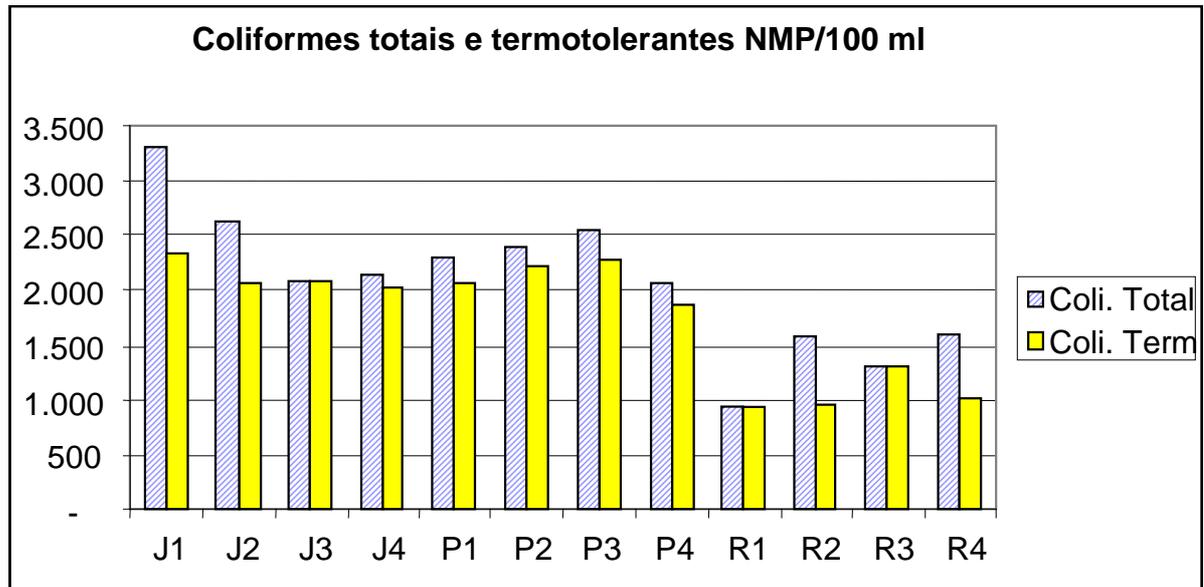


FIGURA 22 - MÉDIA DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS DE COLETA

Os coliformes totais e termotolerantes foram incluídos na pesquisa com o intuito de verificar se havia contribuição de esgotos domésticos nos tributários e na represa de Alagados. No levantamento de campo, pode ser inferido que os problemas enfrentados pela concessionária SANEPAR não se limitam apenas à orla do lago, estendendo-se ao longo das bacias hidrográficas que formam aquele manancial. Faz-se necessário a revisão e atualização dos processos de tratamento que devem ser readequados para cada propriedade rural, em função das características dos efluentes gerados (NUCLEAN, 2002). Os valores observados durante o período de pesquisa mostram que o ponto J1, próximo a nascente do rio Jotuba, e o ponto P3, próximo a confluência do rio Pitanguí com a represa, são os que apresentam maiores valores médios de coliformes. Esse fato indica contaminação por esgotos domésticos nesses pontos. Esses valores, ao entrarem na represa, ficam diluídos em função do volume de água em Alagados, porém, ainda contribuindo para a poluição de suas águas.

#### 4.1.10 Índice de Qualidade de Água

O resultado do índice de Qualidade da Água – IQA, em cada ponto de coleta na bacia da represa de Alagados está representado na figura 23. No cálculo, não foi adotado o parâmetro Resíduo Total, por este não ter sido avaliado nas análises.

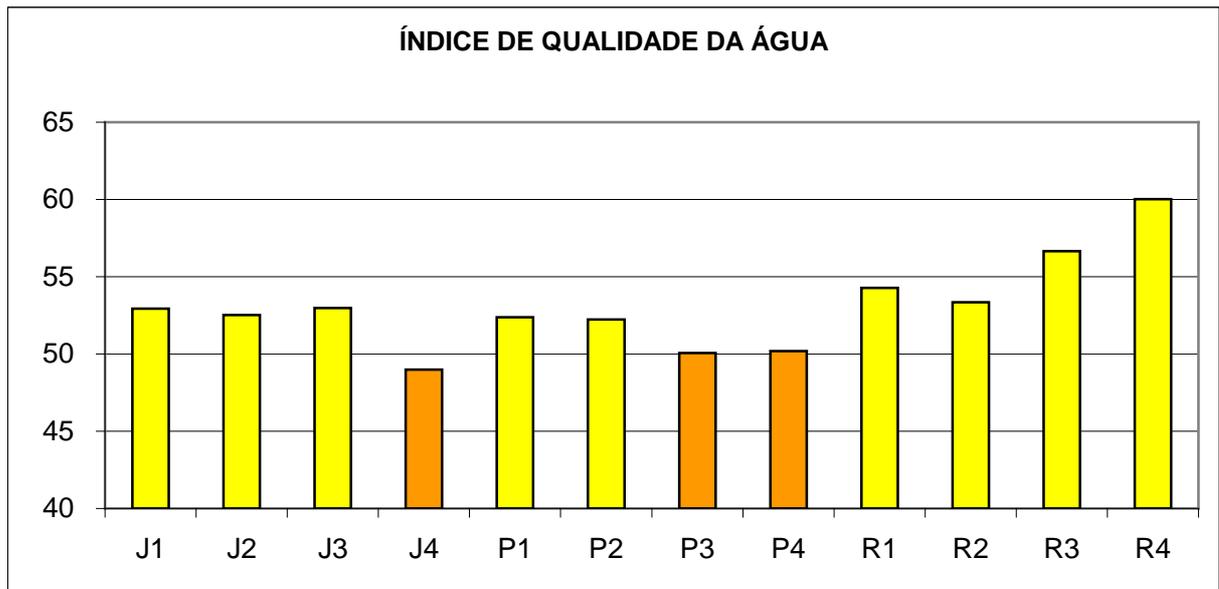


FIGURA 23 – ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA OS PONTOS DE COLETA.

O ponto que apresentou o menor Índice de Qualidade da Água foi o ponto J4, seguido dos pontos P3 e P4. A qualidade da água nesses pontos é considerada ruim, segundo critério utilizado no estado do Paraná (ANA, 2009). Estes pontos apresentaram os menores valores de Oxigênio Dissolvido e maiores valores de turbidez, o que pode ter contribuído para a diminuição de seus Índices de Qualidade.

O maior Índice de Qualidade de Água encontra-se no ponto R4, com valor de 60,1. Nesse ponto encontra-se a captação de água da SANEPAR.

A média do IQA para a água da represa é de 56,07, o que a classifica como de qualidade razoável.

#### 4.1.11 Insolação

Os dados referentes a insolação local sobre a bacia hidrográfica de Alagados (Figura 24) mostra um comportamento cíclico, como era de se esperar.

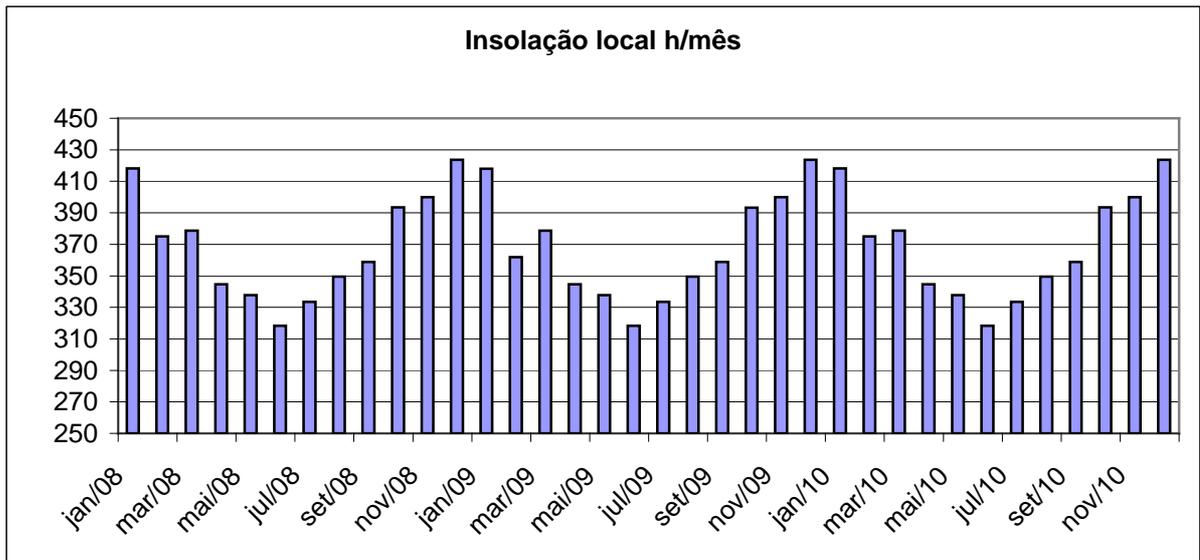


FIGURA 24 - INSOLAÇÃO LOCAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BACIA DE ALAGADOS ENTRE OS ANOS DE 2008 E 2010. FONTE: OBSERVATÓRIO NACIONAL, 2011

Os dados de insolação analisados refletem as condições locais de clima, com invernos secos e verões chuvosos, classificação Köppen-Cfb: clima temperado úmido com verão temperado (CRUZ, 2007).

#### 4.1.12 Pluviosidade

O índice pluviométrico na bacia hidrográfica da represa de Alagados foi obtido através do total de cada estação pluviométrica pela sua área correspondente.

A Figura 25 mostra a distribuição da chuva total durante o período observado.

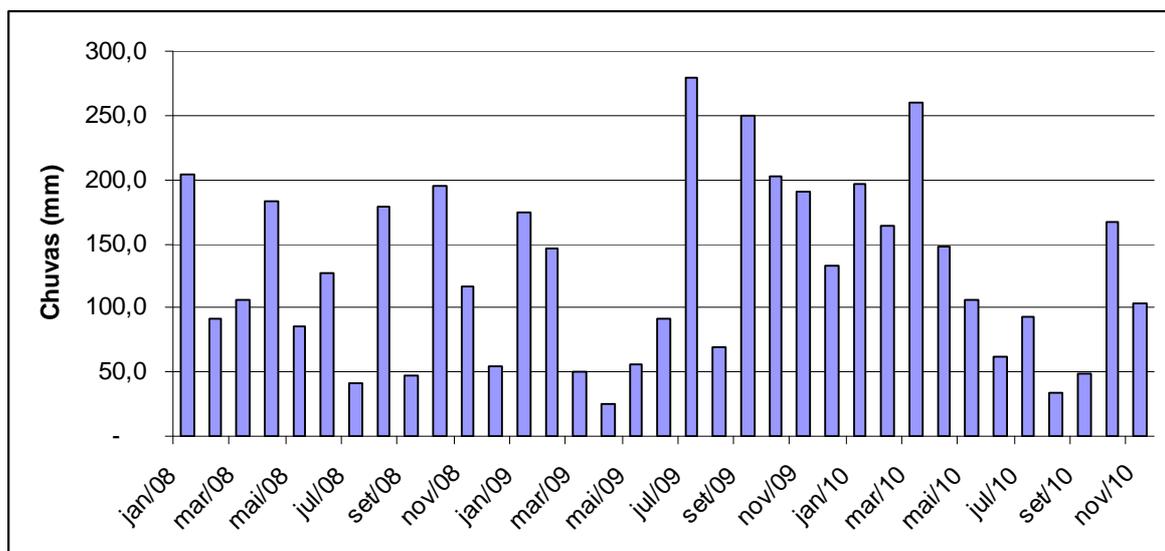


FIGURA 25 - CHUVVAS TOTAIS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BACIA DE ALAGADOS ENTRE OS ANOS DE 2008 E 2010. FONTE: INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2011

Os maiores índices pluviométricos foram observados entre agosto de 2009 e abril de 2010. No ano de 2008 as chuvas foram distribuídas irregularmente ao longo de todo o período, o mesmo ocorrendo no primeiro semestre de 2009.

#### 4.2 CORRELAÇÕES DAS ANÁLISES E FLORAÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS

Os resultados obtidos através das análises das amostras coletados na represa de Alagados, são apresentados a seguir. Os valores de cianobactérias referem-se a média mensal dos valores obtidos no ponto de coleta R4, que corresponde a região de captação de água na represa de Alagados.

Os valores dos parâmetros físico-químicos referem-se a esse mesmo ponto R4, escolhido para definir as correlações por ser nesse ponto a coleta de cianobactérias.

##### 4.2.1 Correlação entre pH e floração de cianobactérias

Os valores do parâmetro pH e sua correlação com a floração de cianobactérias são apresentados no Gráfico 1.

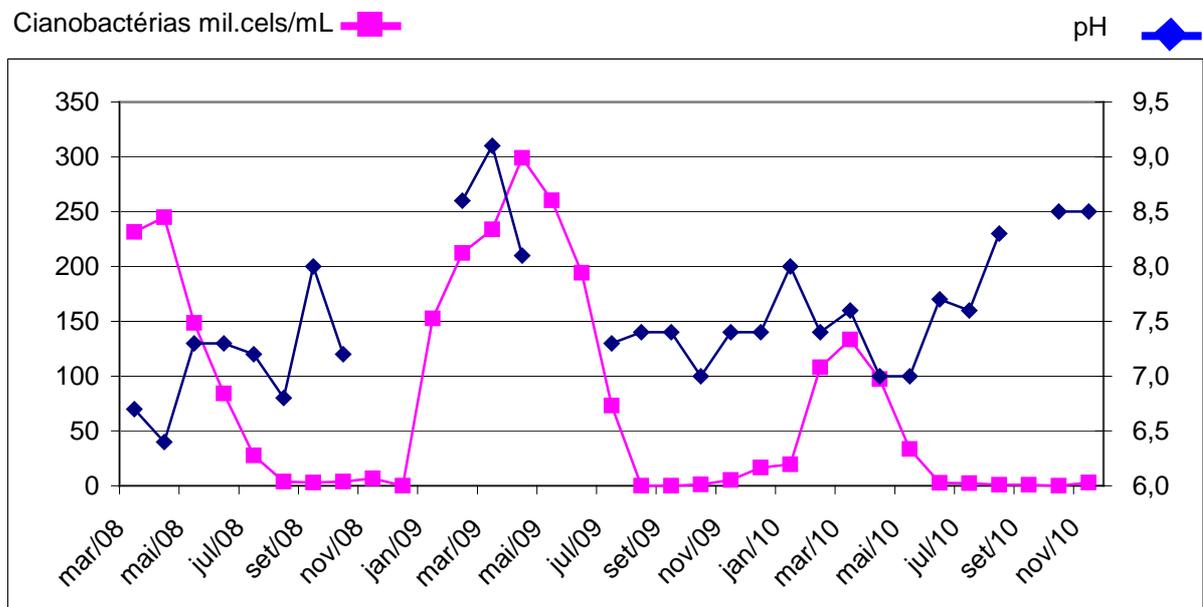


GRÁFICO 1 - CORRELAÇÃO ENTRE pH E CIANOBACTÉRIAS

O valor de pH altera-se ao longo dos meses, tendo seu maior valor em março de 2009, com 9,1. Esse aumento do pH foi seguido por um aumento considerável

nos valores de cianobactérias encontradas na análise de água, meses depois. O número de células alcançou valor próximo a 300 mil cels/mL em abril de 2009.

Para Oliveira e Molica (2003), o pH alcalino, acima de 8, é um fator relevante entre os vários fatores físico-químicos que influenciam o fenômeno das florações de *C. raciborskii*. Bouvy *et al.* (2000) relatam que as maiores florações observadas em 39 reservatórios no nordeste brasileiro, os que tiveram as maiores florações, o valor de pH estava acima de 8 ou próximo a esse valor. Branco e Senna (1994) também descreveram que o valor elevado de pH nos corpos de água é relevante para o estabelecimento de *C. raciborskii*.

#### 4.2.2 Correlação de turbidez

A turbidez mostra uma grande variação ao longo do período observado. O maior valor ocorreu em abril de 2008, com 46,8 NTU.

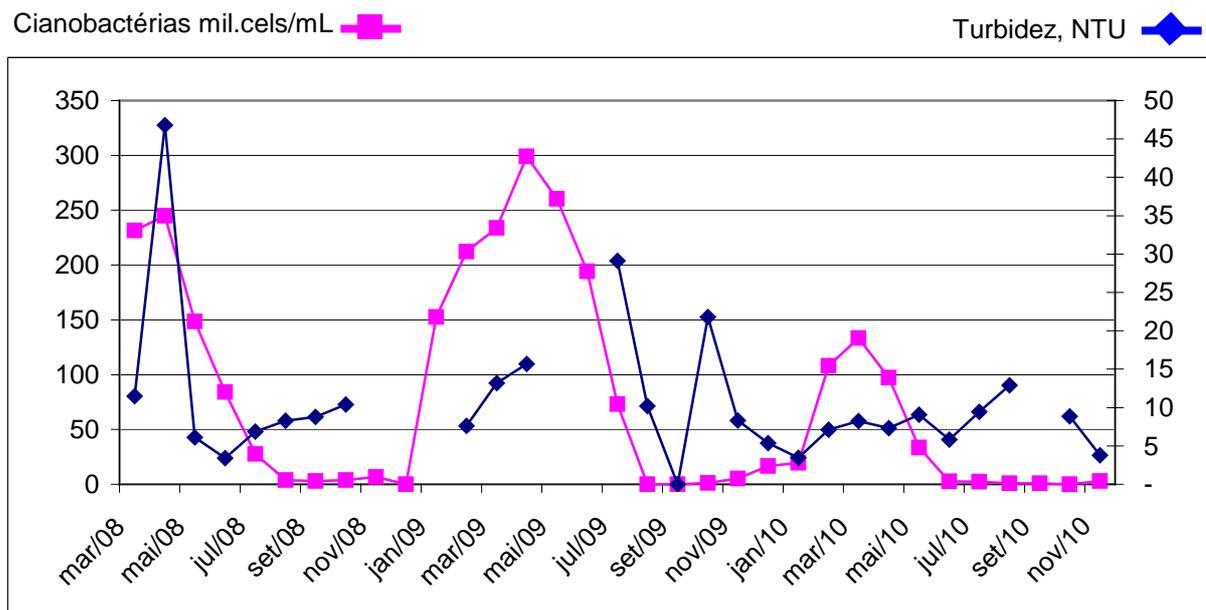


GRÁFICO 2 - CORRELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ E CIANOBACTÉRIAS

Aparentemente, o aumento da turbidez, assim como o pH, foi acompanhado pelo aumento da população de cianobactérias na represa de Alagados, o que sugere haver relação entre esses dois fatores. Essa correlação foi também descrita por Vidal e Kruk (2008). Elas estudaram 47 lagos no Uruguai. Quatro destes lagos apresentaram predominância de *C. raciborskii*. As características em comum desses lagos eram a temperatura mais elevada, abundância de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) e uma baixa disponibilidade de luz na coluna de água; esta última atribuída

à alta turbidez. Para essas pesquisadoras, as características ambientais de cada lago ou represa são mais importantes para a predominância de *C. raciborskii* do que as características físicas da região.

#### 4.2.3 Correlação da condutividade

A condutividade também parece relevante para que ocorra a floração das cianobactérias (Gráfico 3). Apenas o valor de agosto de 2008, com 70  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , parece distoar essa relação. Os valores a partir de setembro de 2010 não refletiram num aumento significativo de cianobactérias, mas esse fato pode ser decorrente de uma composição multifatorial e que não foi completamente suprida (VIDAL e KRUK, 2008).

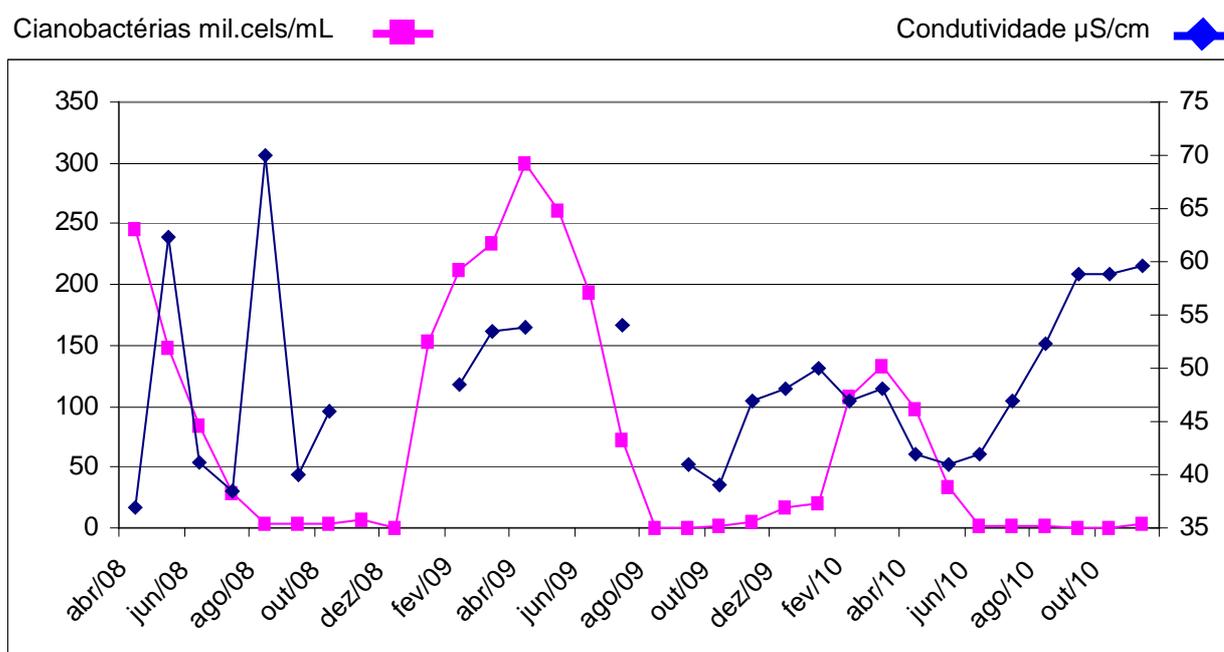


GRÁFICO 3 – CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E CIANOACTÉRIAS

Soares *et al.* (2009) estudaram a floração de cianobactérias em um pequeno lago em Minas Gerais. Não houve grandes variações de condutividade ao longo de um ano, ficando em torno de 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Segundo esses autores, a sazonalidade das florações de cianobactérias não foi influenciada por esse fator.

Padisák (1997), porém, relatou a presença de *C. raciborskii* em um lago no Egito com condutividade em torno de 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e também em um lago na Venezuela com condutividade em torno de 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , evidenciando a tolerância dessa espécie a diferentes condições físico-químicas da água.





grandes florações de cianobactérias, com exceção do período entre fevereiro e abril de 2010, quando o valor de cels/mL atingiu a 133 mil, mesmo com valor relativamente baixo de amônia (0,09 mg/L).

Com relação ao nitrito (Gráfico 5), não se percebe uma grande relação entre os parâmetros analisados. A exceção ocorreu no período compreendido entre março e abril de 2009; como o correu com a amônia. Após o mês de julho de 2009, a análise desse composto ficou prejudicada pela mudança na curva de tolerância do espectrofotômetro, não sendo detectados valores inferiores a 0,04 mg/L.

O teor de nitrato também não apresentou boa relação com a floração de cianobactérias na represa de Alagados (Gráfico 6), sendo que nos meses de maior floração, entre fevereiro e junho de 2009, este se mostrou com valor mais baixo, 0,02 mg/L.

Em parte, essa característica de *C. raciborskii* é explicada por Kenesi *et al.* (2009), que estudaram o efeito dos compostos nitrogenados na fixação de *C. raciborskii* em ambientes com limitação de fósforo. Os pesquisadores concluíram que a forma mais prontamente disponível de nitrogênio, a amônia (NH<sub>4</sub>), supre as deficiências de fósforo e inibe a formação de heterócitos e a fixação de nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>); além de outras formas menos biodisponíveis de nitrogênio, como o nitrato (NO<sub>3</sub>).

Saker, Neilan e Griffiths (1999) descreveram duas formas de *C. raciborskii* diferentes em uma mesma represa na Austrália; uma forma reta e outra espiralada. A forma espiralada apresentou maior crescimento quando havia concentrações maiores de compostos nitrogenados. Na represa de Alagados, a forma predominante de *C. raciborskii* foi a forma reta (SANEPAR, 2011), o que sugere que a disponibilidade da fonte de nitrogênio é limitada, como foi revelado pela análise físico-química.

Bormans, Ford e Fabbro (2005) conduziram uma pesquisa sobre variação espacial e temporal de cianobactérias sobre condições controladas. Um dos resultados obtidos na pesquisa relatou que ocorre o crescimento de cianobactérias mesmo em baixas concentrações de amônia (<0,25 µmol/l). Esse resultado foi explicado pela alta concentração de amônia no fundo do reservatório, sugerindo que o aporte de nutrientes veio do sedimento, em condições anóxicas.

#### 4.2.5 Correlações de fósforo total e reativo

Assim como parâmetros relacionados a compostos nitrogenados, compostos fosforados também são fonte de floração de cianobactérias (CARMICHAEL, 1992; POSSELT; BURFORD; SHAW 2009). Esperava-se haver uma boa correlação com a floração de cianobactérias e os teores de fósforo total e reativo na represa de Alagados.

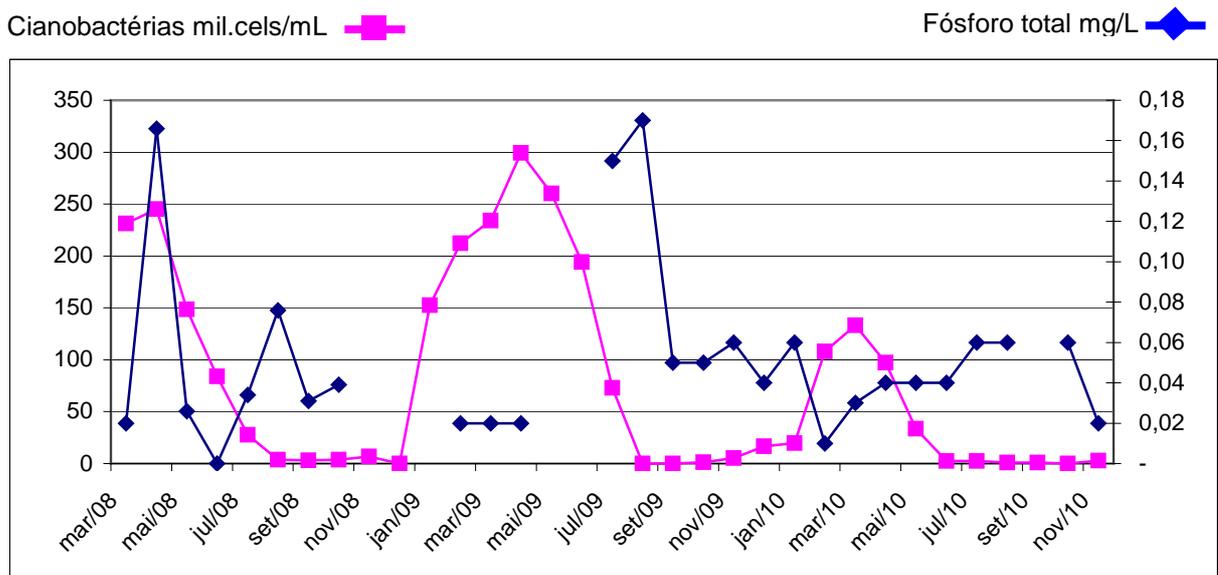


GRÁFICO 7 - CORRELAÇÃO ENTRE FÓSFORO TOTAL E CIANOACTÉRIAS

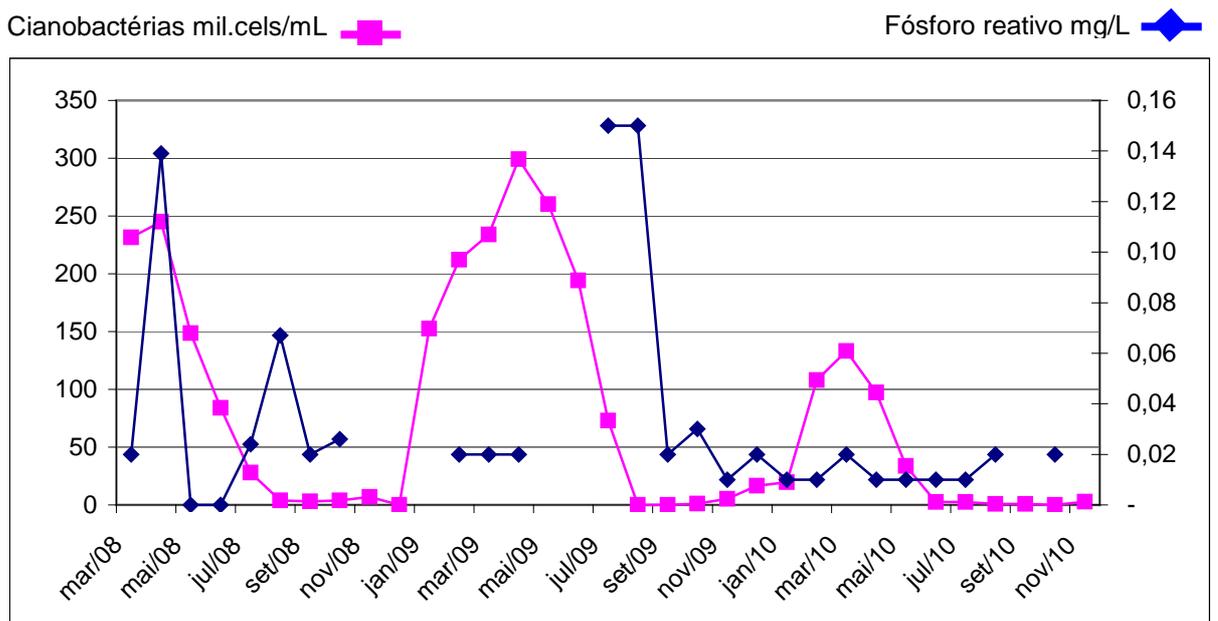


GRÁFICO 8 - CORRELAÇÃO ENTRE FÓSFORO REATIVO E CIANOACTÉRIAS

Do mesmo modo que o fósforo total causa floração de cianobactérias (BOUVY *et al.*, 2000), o fósforo reativo, mais prontamente biodisponível, também é responsável por florações de cianobactérias em represas e lagos naturais (POSSELT; BURFORD; SHAW, 2009).

Posselt, Burford e Shaw. (2009) realizaram uma pesquisa adicionando doses de fósforo dissolvido inorgânico (DIP, da sigla em inglês) em amostras de água para verificar sua influência na dominância de *C. raciborskii* em lagos na costa oeste da Austrália. Os autores concluíram que os comportamentos são inconsistentes em relação à importância relativa do DIP nessa questão. Os resultados obtidos demonstraram que houve aumento significativo da concentração de *C. raciborskii* em relação a outras cianobactérias presentes, principalmente na concentração 0,32 µM, ao adicionar doses diárias de DIP nas amostras, durante 4 dias.

Bormans, Foed e Fabbro (2005) estudaram a variação espacial e temporal da floração de cianobactérias. Eles concluíram que a oferta de nutrientes em sua forma dissolvida, principalmente fósforo e nitrogênio, contribuem para a floração de cianobactérias em ambientes eutrofizados. Os mesmos autores concluíram também que a capacidade da espécie *C. raciborskii* em armazenar fósforo é um dos fatores que contribui para sua predominância em relação as outras espécies.

Os teores de fósforo total e reativo (biodisponível) não revelaram comportamento consistente com a floração de cianobactérias. Esse fato não descarta sua importância, pois a *C. raciborskii* apresenta capacidade de se deslocar na coluna de água de modo a obter esse nutriente do fundo da represa, bem como tem capacidade de armazená-lo.

#### 4.2.6 Correlação de temperatura do ar e da água

A temperatura é o fator de influência na floração de cianobactérias mais citado entre os estudos (CARMICHAEL, 1992; SAKER *et al.*, 1999; PADISÁK, 2003, BRIAND *et al.*, 2004, FALCONER e HUMPAGE, 2006; BORMANS; FORD e FABBRO 2005; BUCH, 2009; MATSUZAKI; MUCCI; ROCHA, 2004; OLIVEIRA e MOLICA, 2003; WIEDNER *et al.*, 2007, KENESI *et al.*, 2009). A temperatura do ar e, conseqüentemente, a temperatura da água, associados a outros fatores físico-químicos, são condições predispostas para o surgimento de diversas espécies aquáticas.

Os valores da temperatura que se referem ao ponto R4 (Gráficos 9 e 10), que representa a captação na represa de Alagados, foram sempre medidos por volta de 10:00 h da manhã.

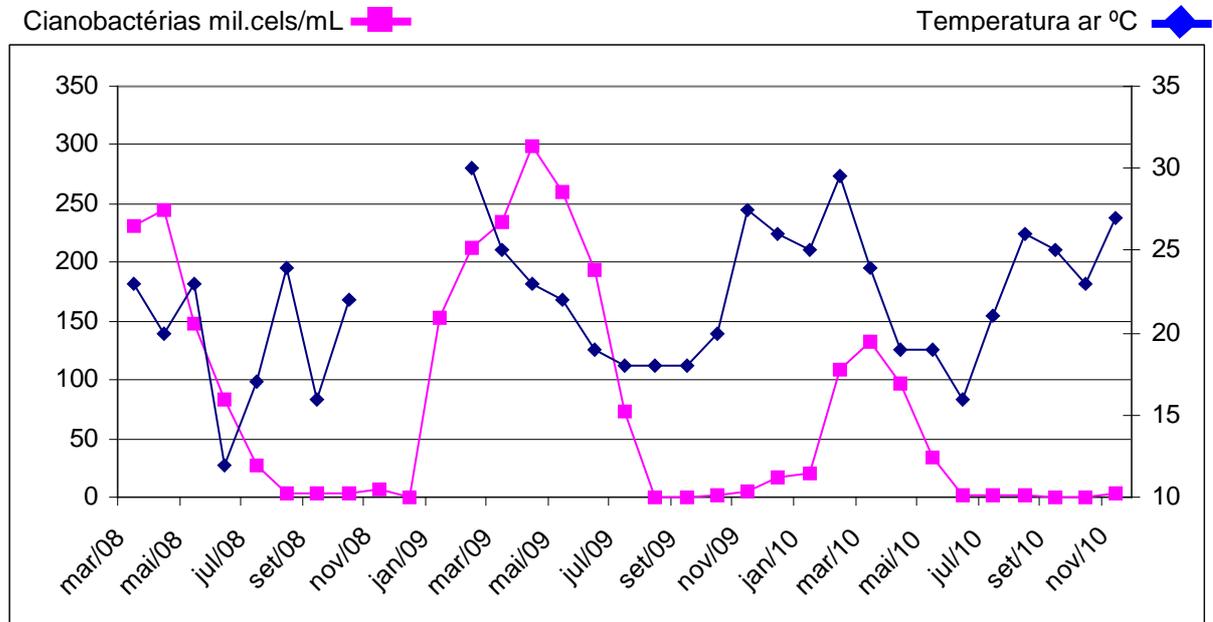


GRÁFICO 9 - CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E TEMPERATURA DO AR

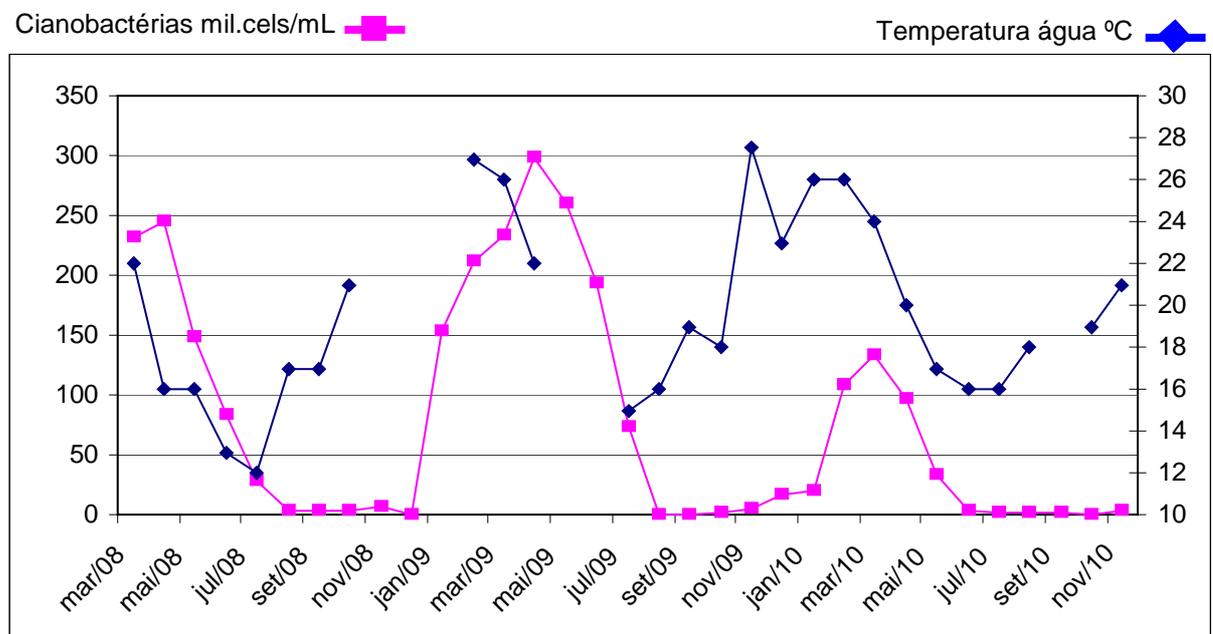


GRÁFICO 10 - CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E TEMPERATURA DA ÁGUA

A temperatura do ar e da água seguem a mesma curva de tendência do crescimento de cianobactérias. Essa tendência foi mais precisa para a temperatura

da água, apesar da falta de dados em alguns meses que não possibilitou a coleta na represa devido ao seu baixo nível.

A influência da temperatura e da luminosidade foi estudada por Briand *et al.* (2004) sobre o crescimento em laboratório da *C. raciborskii*. O crescimento foi bom sob temperaturas entre 20°C e 30°C e luminosidade entre 30 e 400  $\mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , sendo melhor para temperaturas em torno de 30°C e luminosidade em torno de 80  $\mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Wiedner *et al.* (2007) chegaram a mesma conclusão estudando lagos na Alemanha. Eles evidenciaram que altas temperaturas propiciam um ambiente favorável ao crescimento de *C. raciborskii*, tendo sido observados maiores crescimentos no início da primavera.

Padisák *et al.* (2003) relataram que a temperatura favorece a floração de *C. raciborskii*. Esse fato foi atribuído a formação de acinetos, os quais acumulam fósforo para seu desenvolvimento. Conte *et al.* (2003) relataram casos de surgimento de *C. raciborskii* no rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, principalmente no verão e na primavera.

Observando-se mais detalhadamente o Gráfico 10, que mostra a correlação entre a temperatura da água e a contagem de cianobactérias, pode ser percebido que há defasagem de alguns meses entre as altas temperaturas e o aumento no número de cianobactéria presente na represa. Um novo gráfico foi criado para confirmar essa relação. Para tal, dois meses a mais foram atribuídos para avaliar o efeito da temperatura. Dessa forma, as temperaturas medidas em março de 2008 foram comparadas com o número de cianobactérias de maio, e assim sucessivamente. O novo gráfico mostrou uma correlação muito grande entre esses dois parâmetros, como mostrado no Gráfico 11.

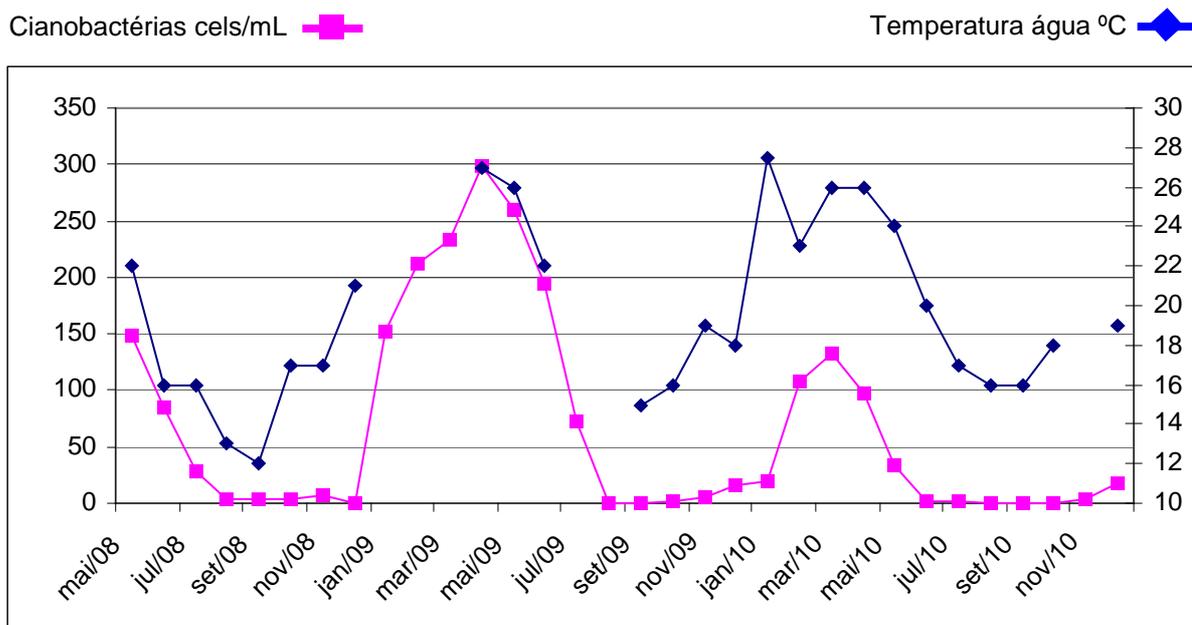


GRÁFICO 11 - CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DA ÁGUA E CIANOBACTÉRIAS COM 2 MESES DE DEFASAGEM

Assim, pode ser afirmado que há uma forte correlação entre o número de cianobactérias na represa e as altas temperaturas do ambiente, corroborando a literatura apresentada (CARMICHAEL, 1992; SAKER; NEILAN; GRIFFITHS 1999, PADISÁK, 2003, BRIAND *et al.*, 2004, FALCONER e HUMPAGE, 2006; BORMANS; FORD e FABBRO, 2005; BUCH, 2009; MATSUZAKI; MUCCI; ROCHA, 2004; OLIVEIRA e MOLICA, 2003; WIEDNER *et al.*, 2007, KENESI *et al.*, 2009). Esse fato sugere que a alta temperatura favoreceu o desenvolvimento de *C. raciborskii*, mas existe uma fase de adaptação ou mesmo de latência para que o desenvolvimento exponencial resulte em número expressivo dessa cianobactéria. Zanoteli (2002) concluiu que, embora a temperatura favoreça as florações de cianobactérias, por haver maior irradiação e maior produção de clorofila-*a*, esse não é o único fator preponderante para o favorecimento e estabelecimento de *C. raciborskii*.

#### 4.2.7 Correlação de insolação

Assim como a temperatura influencia no crescimento das cianobactérias, a quantidade de horas de luminosidade também é um fator significativo para esse crescimento (BRIAND *et al.*, 2004). Por esse motivo foi correlacionada as horas de insolação incidente sobre a bacia de Alagados com a floração de cianobactérias. O gráfico 12 ilustra esse resultado.

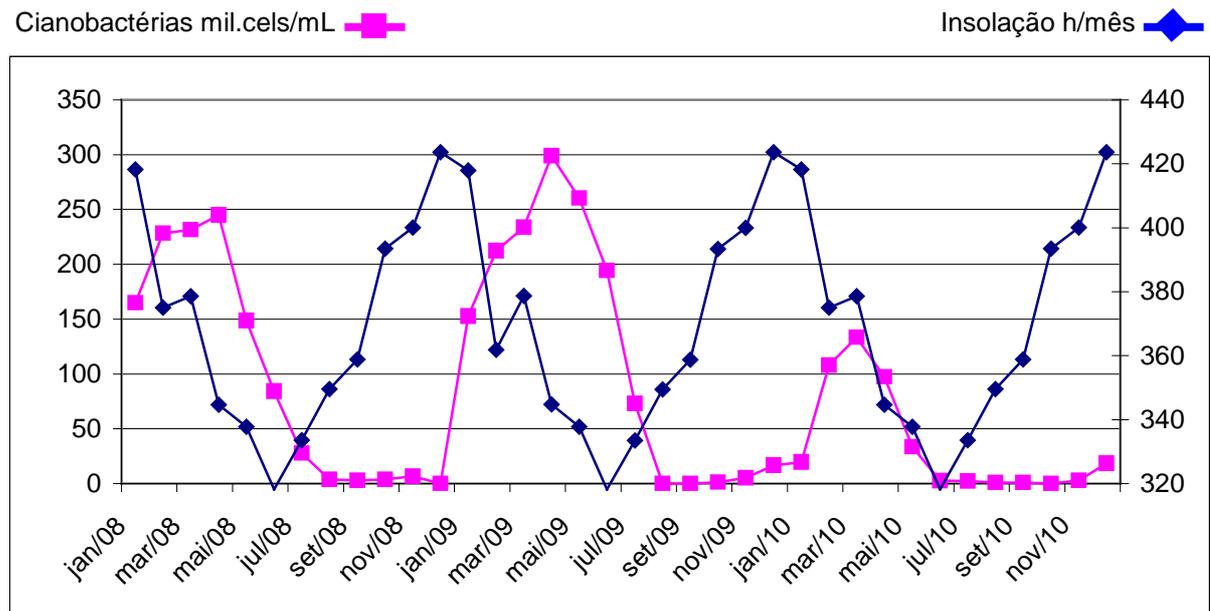


GRÁFICO 12 - CORRELAÇÃO ENTRE INSOLAÇÃO E CIANOBACTÉRIAS.

Assim como a temperatura, parece haver boa correlação entre a insolação mensal e a floração de cianobactérias na represa de Alagados. Também pode ser observada uma defasagem de alguns meses entre o aumento de horas de luminosidade e o aumento no número de cianobactéria presente na represa.

Por esse motivo um novo gráfico foi criado para confirmar essa relação. Para tal, dois meses a mais foram atribuídos para avaliar o efeito da insolação. Dessa forma, insolação medida em março de 2008 foi comparada com o número de cianobactérias de maio, e assim sucessivamente. O novo gráfico mostrou melhor correlação entre esses dois parâmetros, como mostrado no Gráfico 13.



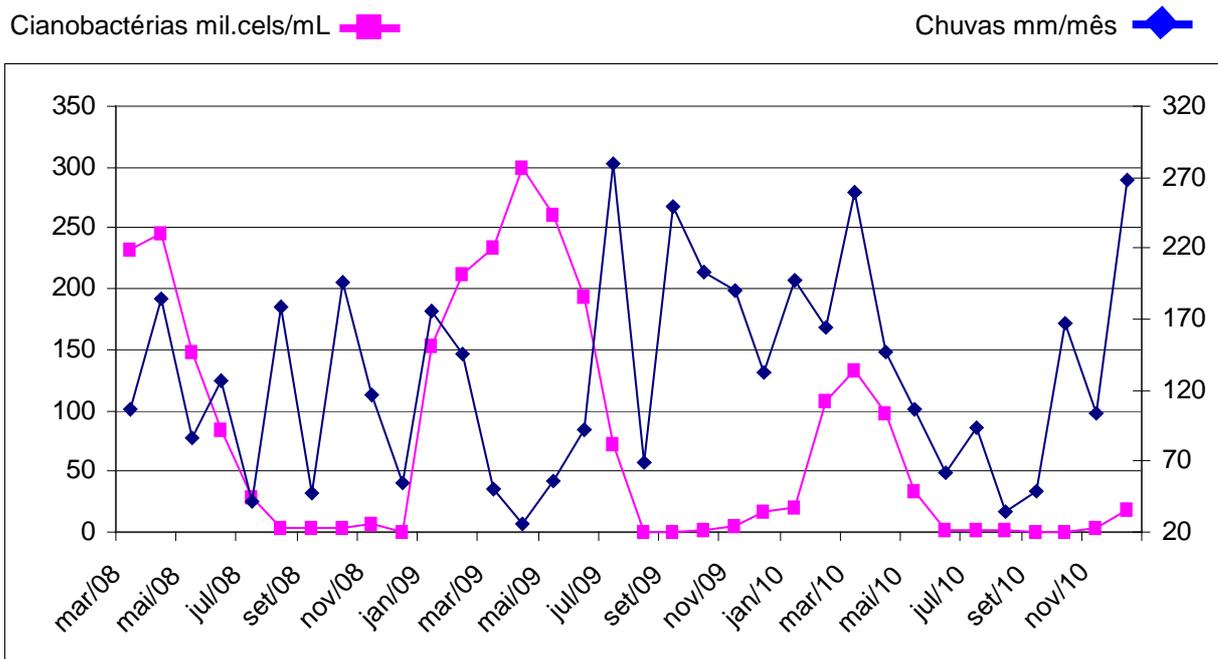


GRÁFICO 14 - CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E PLUVIOSIDADE

Não foi observada correlação direta do índice pluviométrico com o aumento das cianobactérias nas águas da represa. Exceção ocorreu entre os meses de fevereiro e junho de 2010, quando o aumento da pluviosidade foi acompanhado pelo aumento na contagem de cianobactérias e, logo após, sua diminuição foi acompanhada pela diminuição na população de cianobactérias. Nos demais anos, a pluviosidade mostrou-se bastante irregular, não refletindo a tendência do surgimento ou diminuição das populações estudadas.

Por exemplo, Ahn, Chung e Ho (2002) em uma pesquisa com florações de cianobactérias em uma represa na Coreia do Sul, concluíram que a pluviosidade local, associada as condições geomorfológicas da represa, foram os principais responsáveis pelo aporte de nitrogênio e fósforo, contribuindo para o aumento no número de cianobactérias.

#### 4.2.9 Correlação de Oxigênio Dissolvido, DQO e DBO

O oxigênio dissolvido na represa de Alagados teve maior saturação nos anos de 2008 e 2010, sendo que o maior valor foi observado em julho de 2008, com 7,37 mg/L. Valores menores, em torno de 5,0 mg/L, no ano de 2009, não significaram conseqüente redução na floração de cianobactérias, que tiveram nesse ano um

grande aumento, culminando no mês de abril, com valores próximos de 300 mil cels/mL. Esse efeito sugere que o oxigênio disponível não é crítico para a floração.

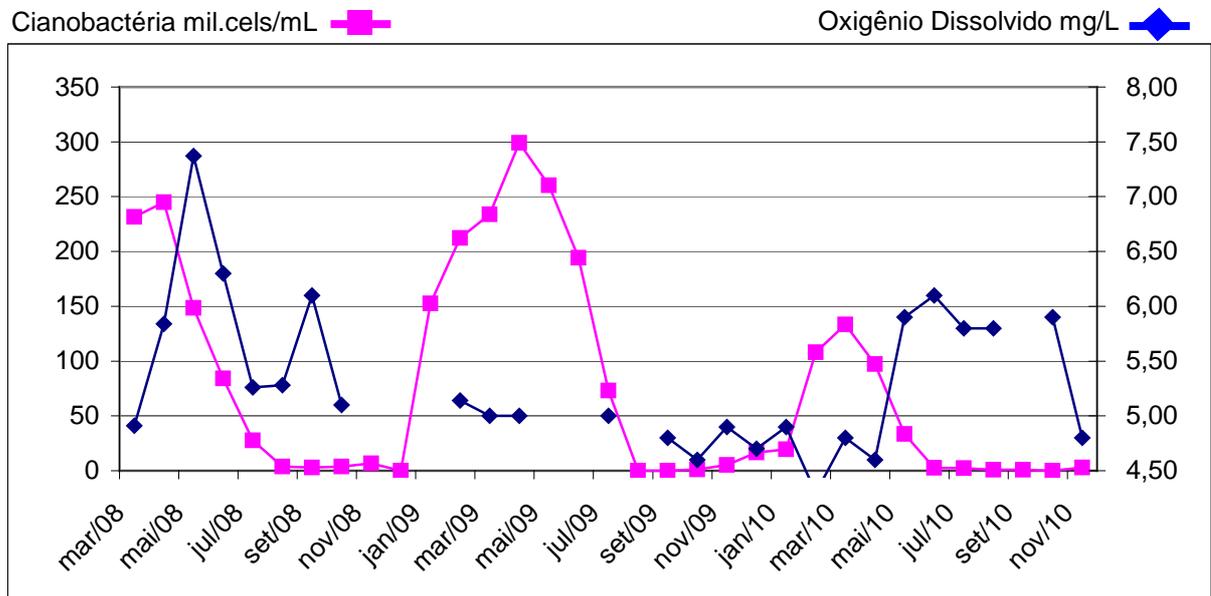


GRÁFICO 15 - CORRELAÇÃO ENTRE OXIGÊNIO DISSOLVIDO E CIANOACTÉRIAS

Estes resultados, nos níveis observados, foi contrário ao observado por Saker, Neilan e Griffiths (1999). Eles concluíram que a variante espiralada de *C. raciborskii* obteve maior desenvolvimento com o OD de saturação acima de 80%, logo, esse fator também é importante para o desenvolvimento dessa cianobactéria.

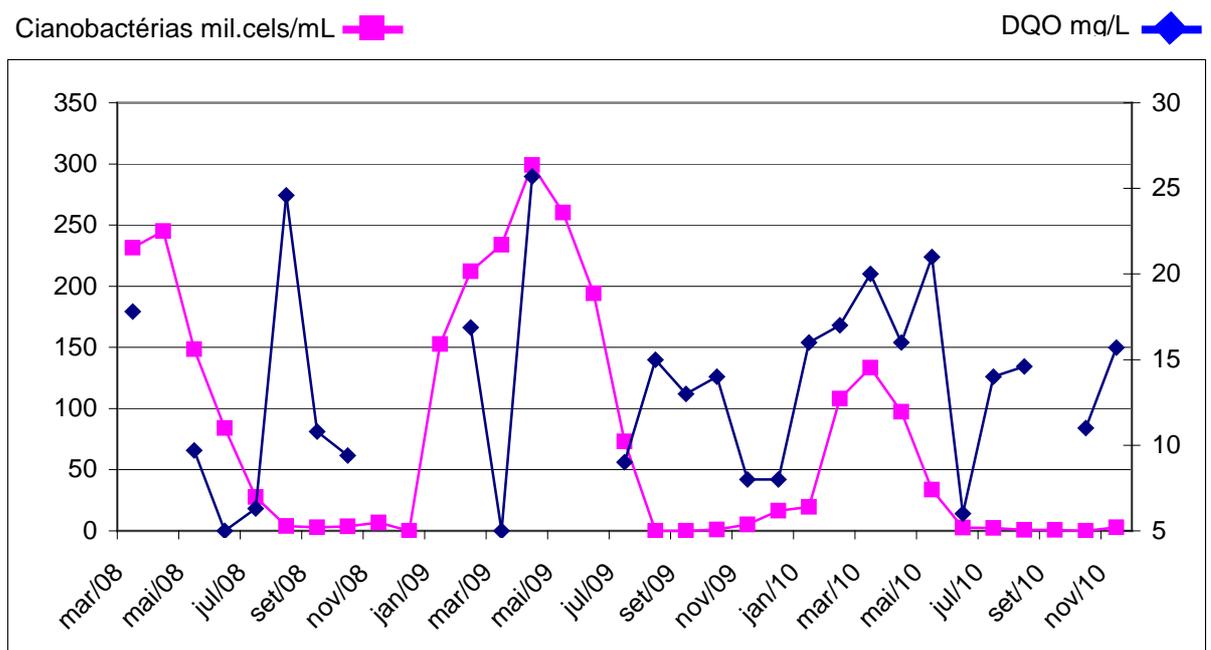


GRÁFICO 16 - CORRELAÇÃO ENTRE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO E CIANOACTÉRIAS

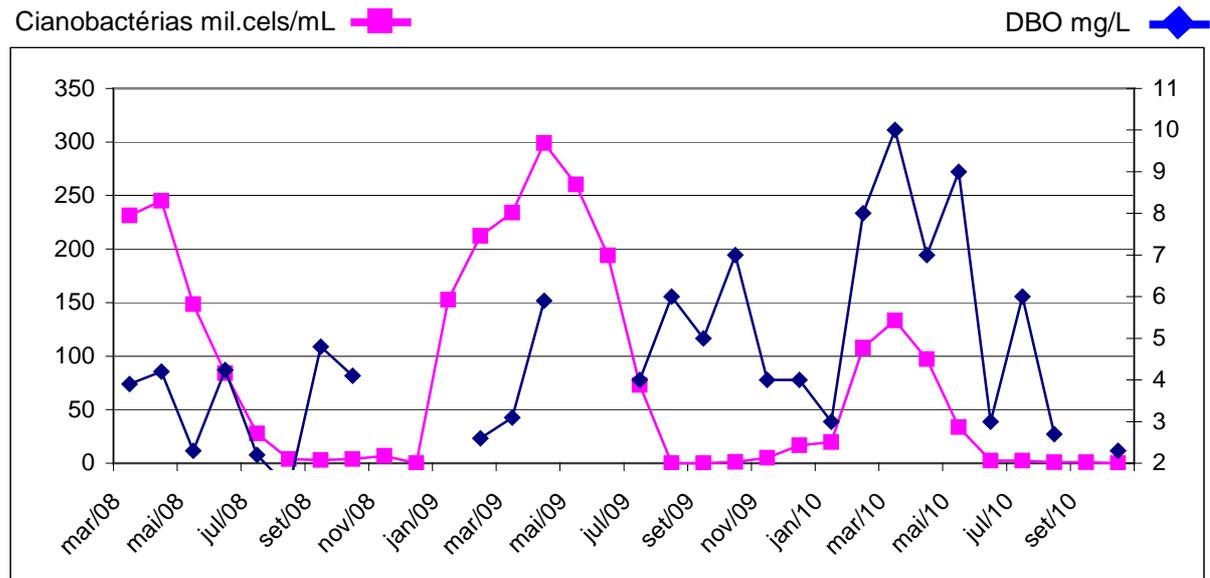


GRÁFICO 17 - CORRELAÇÃO ENTRE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO E CIANOBACTÉRIAS

Demanda química e bioquímica de oxigênio estão relacionadas ao déficit de oxigênio decorrente da potencial degradação de matéria orgânica presente no meio aquoso (LACERDA, 1999). Esses parâmetros, juntamente com coliformes totais e termotolerantes, foram incluídos nas análises a fim de verificarem-se os níveis de poluição que aportam à represa de Alagados, além dos nutrientes fosforados e nitrogenados. Não foi observado, na literatura pesquisada, indicações diretas de que altos índices de DBO e DQO estejam relacionadas com florações de cianobactérias, incluindo-se *C. raciborskii*. Altos índices desses parâmetros, contudo, estão relacionados a degradação de matéria orgânica e consumo de nutrientes (VON SPERLING, 2005; LACERDA, 1999), que por sua vez possuem possível relação com a floração das cianobactérias (FALCONER e HUMPAGE, 2006; WIEDNER *et al.*, 2007, VIDAL e KRUK., 2008). Os Gráficos 13 e 14, de DBO e DQO, não mostram uma boa correlação com o aumento de cianobactérias, mas não pode ser descartada sua relação indireta com esse evento.

#### 4.2.10 Correlação de coliformes totais e termotolerantes

Os dados para coliformes, totais e termotolerantes, foram incluídos nas análises por sua relação com a poluição por esgoto doméstico. A contaminação por esgotos domésticos acarreta, no entanto, indiretamente, aporte de nitrogênio e fósforo nos ambientes aquáticos, o que é favorável ao estabelecimento de

cianobactérias e outros microorganismos capazes de afetar a saúde humana (LACERDA, 1999). Assim como a DBO e DQO, porém, parece não haver correlação direta desse parâmetro e a floração de cianobactérias na represa de Alagados.

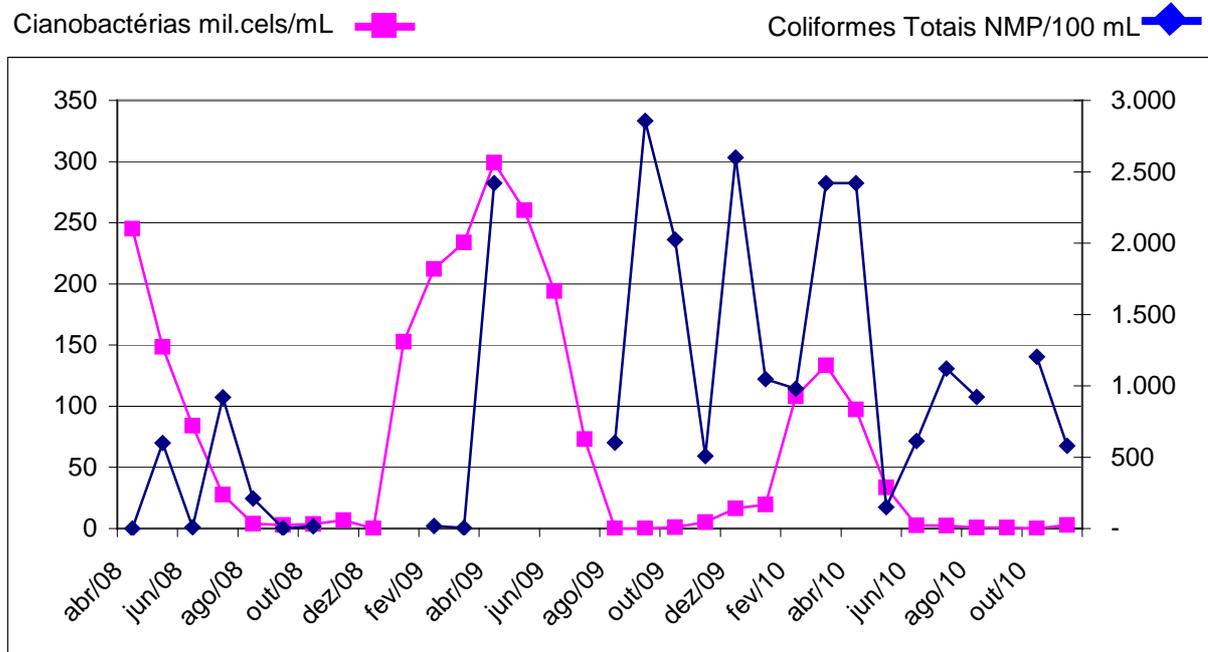


GRÁFICO 18 - CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E OS COLIFORMES TOTAIS

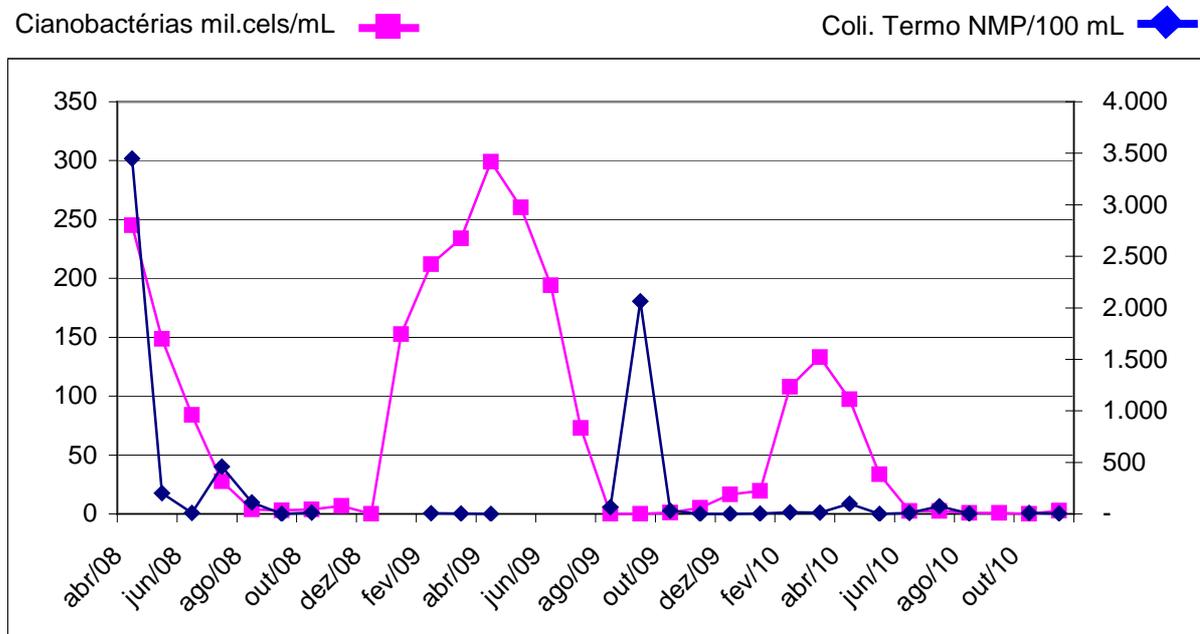


GRÁFICO 19 - CORRELAÇÃO CIANOBACTÉRIAS E OS COLIFORMES TERMOTOLERANTES

### 4.3 ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES

A complexidade do sistema em que ocorre a floração impede que se faça afirmações categóricas. Assim, as causas do afloramento da cianobactéria *C. raciborskii* e de sua predominância em relação a outras cianobactérias presentes na represa de Alagados devem ser estudadas com pesquisas permanentes. Por exemplo, a influência do pH (OLIVEIRA E MOLICA, 2003; BOUVY *et al.*, 2000; BRANCO E SENNA, 1994), turbidez (VIDAL e KUCK, 2008), condutividade (PADISÁK, 1997; SOARES *et al.*, 2009), temperatura da água (WIEDNER *et al.*, 2007, KENESI *et al.*, 2008) e grau de insolação (CORDEIRO-ARAUJO *et al.*, 2010) são relatados por diversos autores. Por outro lado, nosso estudo permite sugerir apenas a inter-relação da floração com a temperatura da água e o grau de insolação. Mesmo assim, isto pode ser melhor visualizado considerando um período de adaptação de dois meses. Isto também não quer dizer que o pH, turbidez e condutividade não tenham influência alguma, pois existe algumas tendências correspondentes em alguns períodos do ano.

A influência da temperatura foi também descrita por Tucci e Sant'anna (2003) na floração de *C. raciborskii* em um reservatório em São Paulo e sua relação com fatores ambientais. A ausência de *C. raciborskii* foi observada no outono e no inverno, sendo atribuído às baixas temperaturas do ar e da água. Komarková, Laudarers-Silva e Senna (1999) também observaram o mesmo comportamento na lagoa do Peri em Florianópolis, Santa Catarina. Bormans, Ford e Fabbro (2005) relacionaram as variações de temperatura com a variabilidade espacial e temporal de populações de cianobactérias e chegaram a conclusões semelhantes. Por outro lado, a influência do grau de insolação foi estudada por Buch (2009) em condições controladas. A maior intensidade luminosa (horas de sol) favoreceu o crescimento populacional da *C. raciborskii*. Segundo esse autor, essa influência não pode ser necessariamente ser atribuída ao aumento da temperatura.

Ao contrário dos estudos anteriores, Vidal e Kruk (2008) afirmaram que as condições geomorfológicas de alguns lagos no Uruguai teriam maior influência na floração de cianobactérias do que as condições atmosféricas. Vários lagos próximos foram avaliados e a floração ocorreu de modo diferente apesar do mesmo grau de insolação e temperatura. Logo, as características diferenciais foram atribuídas as condições geomorfológicas.

Outro fator ambiental é a pluviosidade. Uma boa correlação entre esse parâmetro e a floração de cianobactérias foi descrita por vários autores (BRANCO e SENNA, 1994; BOUVY, 2000; SAUTER e JONES, 2005, VIDAL e KURK, 2008) . Porém, essa tendência também não pode ser concluída com os dados da represa de Alagados durante o período estudado, entre março de 2008 e novembro de 2010. Sabe-se, porém, que a chuva é responsável pelo carreamento de nutrientes e dejetos para as águas dos rios e represas (BRAGA *et al.*, 2005) e, portanto, deve ser considerado como um fator a ser acompanhado nas análises de poluição hídrica.

A avaliação da inter-relação de outros parâmetros relatados, como por exemplo, compostos nitrogenados e fosforados (CARMICHAEL, 1992; SAKER; NEILAN; GRIFFITHS 1999; BOUVY, 2000, FALCONER e HUMPAGE, 2006; BORMANS *et al.*, 2005; BUCH, 2009; MATSUZAKI *et al.*, 2004; OLIVEIRA e MOLICA, 2003; KENESI *et al.*, 2009) ficaram mais difíceis de serem corroborados pelos nossos dados. Por exemplo, estes compostos não mostraram uma boa correlação com a floração, com exceção de alguns pontos referente ao teor da amônia no ano de 2008. Por outro lado, esses macronutriente e os compostos orgânicos em abundância são responsabilizados por eutrofização (TUNDISI, 2000; MORO *et al.*, 2003; NUCLEAN, 2002)

Os parâmetros Oxigênio Dissolvido, Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio estão diretamente ligados a quantidade de matéria orgânica presente na água (LACERDA, 1999). Alagados, por ser uma represa em estágio eutrófico, apresenta maior quantidade de matéria orgânica em suspensão e nos sedimentos. Segundo as análises realizadas, no entanto, não há uma correlação direta desses parâmetros químicos com o crescimento populacional das cianobactérias. Por outro lado, é de notório saber que uma maior quantidade de matéria orgânica também acarrete em valores maiores de compostos nitrogenados e fosforados (BRAGA *et al.*, 2005).

Os parâmetros coliformes totais e coliformes fecais também foram incluídos nas análises por ser a bacia da represa de Alagados circundada por grandes criações de suínos, bovinos e aves (IPARDES, 2010). Os dejetos desses animais são, historicamente, lançados nos corpos hídricos que compõe a rede de drenagem da represa de Alagados. Os coliformes totais apareceram em maior quantidade do que os coliformes fecais durante o período estudado. Ainda, parece não haver

correlação entre a quantidade de coliformes totais e fecais com a floração de cianobactérias, principalmente de *C. raciborskii*.

## 5 CONCLUSÕES

A temperatura média da água dos rio Pitangui e do rio Jotuba foram similares e levemente inferiores ao da represa. O pH do rio Pitangui foi levemente superior ao do rio Jotuba, sendo ambos menores ao da represa. A condutividade maior do rio Pitangui em relação ao rio Jotuba, sugere aporte de composto iônicos. A turbidez dos rios aumentam de montante par jusante, o que sugere aporte de sólidos em suspensão, sendo que a represa apresenta valores menores. Compostos nitrogenados não apresentaram um padrão definido para os rios e represa. Teores de compostos de fósforo foram maiores para o rio Pitangui e menores para a represa. OD e DBO não apresentaram grandes variações entre os rios e a represa. Porem a DQO, foi maior na represa, o que revela maior teor de matéria orgânica recalcitrante sendo acumulado na represa. O nível de coliformes foi menor no rio Pitangui do que no rio Jotuba, enquanto a represa apresentou os menores índices.

O número de células de cianobactérias avaliado nesse estudo, compreendendo de março de 2008 a novembro de 2010, produziu o mesmo padrão cíclico que foi observado a partir de janeiro de 2003 até fevereiro de 2008. Os meses de março ou abril apresentaram o pico de células de cianobactérias, enquanto elas deixaram de ser detectadas em setembro ou outubro. As células de cianobactérias observadas foram essencialmente de *Cylindrospermopsis raciborskii*, o que nos fez assumir que esse número se refere apenas a esse gênero.

Os resultados encontrados não permitem concluir exatamente quais são os fatores que podem ser considerados como preponderante para a floração. No entanto, a inter-relação da floração com a temperatura da água e o grau de insolação podem ser considerados importantes. Para tal, existe a necessidade de um período de adaptação de dois meses pelas cianobactérias. Ainda, o pH, a turbidez e a condutividade apresentaram algumas regiões de concordância entre sua evolução e a floração em alguns períodos do ano.

A ação antrópica levantada e os parâmetros físico-químicos e biológicos (coliformes) não confirmaram uma inter-relação com a floração. O índice de qualidade de água revelou que ela é “razoável”, sendo que o melhor índice foi no ponto captação. Essa classificação final poderia ser melhor se o índice de turbidez fosse menor.

A captação de água deve ser realizada com o acompanhamento cuidadoso da evolução da temperatura da água e do nível de insolação, de modo a preparar o sistema de tratamento para que seja eliminada a cianobactéria na água de consumo de modo a evitar intoxicação. Alternativamente, a água pode ser captada em poços à margem da represa (processo de captação em margem); o que propicia uma operação de filtração natural da água.

Ainda, uma maior atenção aos rios Jotuba e Pitangui, que são os principais tributários da represa de Alagados, devem ser dadas para que esses não carregem mais nutrientes e matéria orgânica para a represa, aumentando seu estado de eutrofização nos períodos ensolarados e quentes, com dias mais longos.

## 6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Como recomendações, baseado na literatura consultada e na experiência vivida durante o período de coleta e pesquisa na bacia de Alagados, fica evidente que a relação com os agricultores e pecuaristas deve ser estreitada, visando uma maior proteção do manancial de Alagados, que abastece boa parte da região de Ponta Grossa. Nesse sentido, já existe um Grupo Gestor do Manancial de Alagados, que carece de maior apoio e investimento por parte das esferas governamentais.

À semelhança de legislações ambientais de outros países, como Alemanha, por exemplo, pode-se delimitar um raio de ação em torno da represa de Alagados, onde não seria permitido o uso de produtos fosfatados, nitrogenados ou defensivos agrícolas.

Incentiva-se fortemente que novos pesquisadores investiguem a relação entre a quantidade de fertilizantes aplicados na bacia de Alagados, com as florações de cianobactérias na represa. Também a quantidade de cianobactérias e de cianotoxinas na água tratada deve ser objeto de estudos e de questionamentos perante os órgãos ambientais e de gestão de recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- AHN, C. Y.; CHUNG, A. S.; OH, H. M. Rainfall, phycocyanin, and N: P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir. **Hydrobiologia**. v 474, p. 117-124. 2002.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal de Qualidade das Águas**. Brasília, 2009. Disponível em:< <http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>. Acesso em 09/09/2011.
- ALSTER A., KAPLAN-LEVY R. N., SUKENIK A., ZOHARY T. Morphology and phylogeny of a non-toxic invasive *Cylindrospermopsis raciborskii* from a Mediterranean Lake. **Hydrobiologia**. v 639, p. 115–128. 2010.
- APELDOORN, M. E., *et al.* Toxins of cyanobacteria. **Molecular Nutrition and Food Research**. V. 51, p. 7 – 60, 2007.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21<sup>a</sup> ed. Washington, 2005.
- BALLATORE J. T.; MUNHANDIKI V. S. The Case for a World Lake Vision. **Hydrological Processes**. Tóquio, v. 16, p. 2079-2089, ago. 2002.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental - O Desafio do desenvolvimento Sustentável**. 2<sup>a</sup> Edição, 2005.
- BOUVY, M., MOLICA, R., DE OLIVEIRA, S., MARINHO, M.; BEKER, B. Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. **Aquatic Microbiol Ecology**. v 20, p 285–297. 1999.
- BOUVY, M; FALCÃO, D., MARINHO, M., PAGANO, M.; MOURA, A. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. **Aquatic Microbial Ecology**. v 23, p. 13-27. 2000.
- BORMANS M., FORD P. W., FABBRO L. Spatial and temporal variability in cyanobacterial populations controlled by physical processes. **Journal of Plankton Research**. V. 27 n. 1, P. 61 – 70. 2005.
- BRANCO, C W. C. **Comunidade planctônica e a qualidade da água no Lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil**. 341 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Biológicas. Brasília.1991.
- BRANCO, C.W.C.; SENNA, P.A.C.. Factors influencing the development of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa* in Paranoá Reservoir, Brasília, Brazil. **Algological Studies** n. 75: p. 85-96. 1994.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal Brasileiro. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 set. 1965. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm)>. Acesso em 19/06/2011.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução 357 de 17 de março de 2005. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em 06/08/2011.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Portaria 518/04. Define padrões para qualidade de água potável. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/web%20Funasa/Legis/pdfs/portarias\\_m/pm\\_518\\_2004.pdf](http://www.funasa.gov.br/web%20Funasa/Legis/pdfs/portarias_m/pm_518_2004.pdf)>. Acesso em 06/08/2011.

BRIAND, J. F. *et al.* *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming? **Journal of Phycology**. v 40, p 231–238. 2004

BRIGANTE, J., ESPÍNDOLA E. L. G. **Limnologia fluvial**, RiMa: São Carlos -SP, 2003.

BUCH, B. **Ecofisiologia de morfotipos reto e espiralado de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) em condições controladas**. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Instituto de Biociências - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Rio Claro – SP, 2009.

BURFORD, M. A., K. L. MCNEALE; F. J. MCKENZIE-SMITH. The role of nitrogen in promoting the toxic cyanophyte *Cylindrospermopsis raciborskii* in a subtropical water reservoir. **Freshwater Biology**. v 51(11), p. 2143–2153. 2006.

CAPRI, L. **Diagnóstico preliminar das irregularidades ambientais decorrentes da ação antrópica praticadas na represa de Alagados**. Monografia (especialização em Gestão Ambiental). UEPG – Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2001.

CARMICHAEL W. W. **Cyanobacteria secondary metabolites – the cyanotoxins. A review**. Journal of Applied Bacteriology nº 72, 445 – 449. 1992.

CERH – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – PR. **Bacias hidrográficas do Paraná – Bacia do rio Tibagi**. Folder institucional. 2006.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: aguide to their public health consequences, monitoring and management**. London: E & FN Spon. 1999.

CLEMENTE, Z. **Monitoramento do reservatório Alagados, Ponta Grossa (PR) através de biomarcadores e análises de cianotoxinas**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) Setor de Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2009.

COMIG K., LINDNER. E.A., KOBIYAMA M., **Áreas de influência das estações pluviométricas na bacia rio do Peixe/SC pelo método de polígonos de Thiessen utilizando imagem de satélite e SIG.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 a 26 de abril de 2007.

CONTE, S. M.; RABELO, I. M. M.; GIORDANI, A.T.; DEWES, W. Ocorrência de *Cylindrospermopsis raciborskii* nas Bacias Hidrográficas dos rios dos Sinos e Caí, RS – Brasil. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Porto Alegre. 2000.

CORDEIRO-ARAÚJO M. K.; OGAVA L. E.; MOURA A. N.; PICCIN-SANTOS V.; OLIVEIRA M. C. B. Cianobactérias planctônicas de reservatórios do oeste paulista. Brasil: condições naturais versus controladas. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca.** Ano 5, n. 3, p. 74-88. 2010.

CRUZ, G. C. F. da. **Alguns aspectos do clima dos Campos Gerais.** In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, Cap. 5, p.59-72, 2007.

EMATER - INSTITUTO PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Relatório de vistorias das propriedades rurais na bacia de Alagados.** Relatório técnico. Ponta Grossa, 2009.

FALCONER I. R., HUMPAGE A. R. Cyanobacterial (Blue-Green Algal) Toxins in Water Supplies: Cylindrospermopsins. **Environmental Toxicology.** v. 21: 299 – 304. 2006.

FASTNER, J. *et al.* Occurrence of the cyanobacterial toxin Cylindrospermopsin in northeast Germany. **Environmental. Toxicology.** v 22, p. 26–32. 2007.

FERNANDES, L. F.; WOSIACK, A. C.; PACHECO, C. V.; DOMINGUES, L.; LAGOS, P.D. Cianobactérias e cianotoxinas. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados.** Ed. Gráfica Capital. Curitiba, 2005, 500 p.

FIGUEIREDO C., GIANI A. Does allelopathy contribute to *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) bloom occurrence and geographic expansion? **Phycological Society of America.** v. 43, p. 256–265. 2007.

GOULART, C. F. **Diagnóstico e zoneamento ambiental da represa de Alagados.** Monografia (Especialização em Gestão Ambiental). Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2001.

HOEK, C VAN DEN; MANN, D.G.; JAHNS, H. M.. **Algae: an introduction to phycology.** Cambridge: Cambridge University Press. p. 640. 1995

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. **Portaria IAP nº 29 de 16 de Fevereiro de 2006**. Curitiba, 2006. Disponível em: < [http://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form\\_cons\\_ato1.asp?Codigo=1285](http://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=1285)>. Acesso em: 17/06/2011.

\_\_\_\_\_. **Relatório de inspeção da atividade de suinocultura. Bacia hidrográfica do manancial dos Alagados**. Escritório Regional de Ponta Grossa. 2008.

\_\_\_\_\_. **Monitoramento da Qualidade da águas dos Reservatórios do Estado do Paraná o Período de 2005 a 2008**. Curitiba, 2009.

\_\_\_\_\_. **Dados do reservatório de Alagados**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <jgomes@saneapr.com.br>, em 16/09/2011.

INSTITUTO DA ÁGUAS DO PARANÁ. **Dados pluviométricos**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <jgomes@saneapr.com.br>, em 10/03/2011.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - IPARDES. **Cadernos Municipais - Castro**. Paraná, 2010.

\_\_\_\_\_. **Cadernos Municipais - Carambeí**. Paraná, 2010.

\_\_\_\_\_. **Cadernos Municipais – Ponta Grossa**. Paraná, 2010.

ILEC - INTERNATIONAL LAKE ENVIRONMENT COMMITTEE FOUNDATION. **Integrated Lake Basin Management: An Introduction**. Kusatsu, Japan, 2007.

ISTVA´NOVICS, V., SOMLYÓDY L.; CLEMENT A. Cyanobacteria-mediated internal eutrophication in shallow Lake Balaton after load reduction. **Water Research**. N. 36. p. 3314-3322, 2002.

KINNEAR S. H. W. FABBRO L. D., DUIVENVOORDEN L. J. Variable Growth Responses of Water Thyme (*Hydrilla verticillata*) to Whole-Cell Extracts of *Cylindrospermopsis raciborskii*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**. v. 54. p. 87–194. 2008.

KENESI G. *et al.* Effect of nitrogen forms on growth, cell composition and N<sub>2</sub> fixation of *Cylindrospermopsis raciborskii* in phosphoruslimited chemostat cultures. **Hydrobiologia**. v. 623, p.191–202. 2009.

KOMÁRKOVÁ, J., LAUDARES-SILVA, R. & SENNA, P.A.C. Extreme morphology of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanobacteria) in the Lagoa do Peri, a freshwater coastal lagoon, Santa Catarina, Brazil. **Algological Studies**. v 94, p 207-222. 1999.

LACERDA, L. D. **Ciencia Hoje na Escola 4 - Meio Ambiente – Águas**. Sbpcc Soc Bras Para O Progresso Da Ciência. Rio de Janeiro, 1999.

LEE, R. E. **Phycology**. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press. p. 547. 2008.

MACEDO, D. B. G. **Microcistina na água e biomagnificação em peixes de reservatórios de abastecimento público do Estado da Paraíba**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Estadual da Paraíba, 2009.

MATSUZAKI, M.; MUCCI, J. L. N.; ROCHA A. A. Comunidade fitoplanctônica de um pesqueiro na cidade de São Paulo. **Revista Saúde Pública**. v. 38, p679-686. 2004.

MATTHIENSEN, A., YUNES, J. S. e CODD, G. A. Ocorrência, distribuição e toxicidade cianobactérias no estuário da Lagoa dos patos, RS. **Rev. Brasil. Biol.** v 59(3): 361-376. 1999.

MEHNERT, G et al. Competitiveness of invasive and native cyanobacteria from temperate freshwaters under various light and temperature conditions. **Journal of Plankton Research**. v. 32 . nº 7. p. 1009–1021, 2010

MERCADANTE M., ARAUJO J. C. **Produtos transgênicos na agricultura**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Centro de Documentação e Informação. Brasília – DF. 1999. Disponível em:< [http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1311/produtos\\_transgenicos\\_cordeiro.pdf?sequence=5](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1311/produtos_transgenicos_cordeiro.pdf?sequence=5)>. Acesso em: 13/07/2010.

METCALF J. S.; BARAKATE A.; CODD G. A. Inhibition of plant protein synthesis by the cyanobacterial hepatotoxin, cylindrospermopsin. **FEMS Microbiology Letters** 235; 125–129. 2004.

MORO R.S.; FERRARI F.; SANTOS M. A.; BARROS K. F.; SCHIMITT J. Heterogeneidade espacial do fitoplâncton na represa de Alagados. **Publicações UEPG Ciências Biológicas e da Saúde**. Ponta Grossa: v1, p 21-30. 2003.

MORO J. C.; COSTA E. T. V.; MILANESE S.; MORO R. S. Comparação da cobertura vegetal nas áreas de preservação permanente na represa de Alagados (PR), de 1980 a 2001. **Publicações UEPG – Ciências Biológicas e da Saúde**. Ponta Grossa. 2005.

NASCIMENTO, NILO O.; A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 10, n 3. P. 2005.

NEILAN B. A., et al. Phylogeography of the invasive cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. **Molecular Ecology**. N. 12, p. 133-140. 2003.

NISHIMURA P. Y. **Cylindrospermopsis raciborskii: uma cianobactéria invasiva e potencialmente tóxica.** Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia. São Paulo. 2008. Resumo. Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/portal/ndex.php>>. Acesso em 14/04/2010.

NUCLEAN – NUCLEO DE ESTUDOS EM MEIO AMBIENTE, **Bacia hidrográfica do manancial Alagados. Relatório.** UEPG, Ponta Grossa. 2002.

OBSERVATÓRIO NACIONAL. **Anuário Interativo do Observatório Nacional.** Disponível em: <<http://euler.on.br/ephemeris/index.php>>. Acesso em 05/08/2011.

OLIVEIRA M. C. B.; MOLICA R. Cianobactéria invasora: aspectos moleculares e toxicológicos de *Cylindrospermopsis raciborskii* no Brasil. **Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento.** Nº 30, 82 -90. 2003.

PANOSSO, R., LURLING M. Daphnia magna feeding on *Cylindrospermopsis raciborskii*: the role of food composition, filament length and body size. **Journal of Plankton Research**, v. 32 nº 10, p. 1393 –1404. 2010.

PADISÁK, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. **Archiv für Hydrobiologie**. Supplement 107, p. 563–593. 1997.

\_\_\_\_\_. Estimation of minimum sedimentary inoculum (akinetete) pool of *Cylindrospermopsis raciborskii*: a morphology and life-cycle based method. **Hydrobiologia**. v 502, p. 389–394. 2003.

PADISAK, J.; REYNOLDS, C. S. Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokaryotes. **Hydrobiologia**. v. 384, p. 41–53. 1998.

PILATTI, F. *et al.* **Bacia Hidrográfica do Manancial Alagados.** Relatório Técnico, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2002.

POMPEO, M. **Represas.** Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia. São Paulo. Resumo. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/limnologia/Represa/Introducao3.htm>>. Acesso em 14/04/2010.

POSSELT, A. J., BURFORD, M. A., SHAW, G. Pulses of phosphate promote dominance of the toxic Cyanophyte *Cylindrospermopsis raciborskii* in a Subtropical Water Reservoir. **Journal of Phycology**. v, 45, p. 540–546. 2009.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**, 7ª ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. 2007.

RYAN E. F.; HAMILTON D. P; BARNES G. E. Recent occurrence of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Waikato lakes of New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**. v. 37, p 829-836. 2003.

RÜCKER, J. *et al.* Impact of the inoculum size on the population of Nostocales cyanobacteria in a temperate lake. **Journal of Plankton Research**. v 31, nº10, p. 1151-1159. 2009

SAKER, M. L., NEILAN, B. A., GRIFFITHS, D. J. **Two morphological forms of *Cylindrospermopsis raciborskii* (cyanobacteria) isolated from Solomon dam, Palm Island, Queensland.** Journal of. Phycology. 35, 599–606. 1999.

SALDANHA, J; WIECHETECK, G. K.; MORO, R. S.; SCHIMITT, J. **Biomonitoramento da qualidade de água de abastecimento de Ponta Grossa, Paraná.** Jornada Científica de Pesquisa Social. UEPG, Ponta Grossa, 1999.

SANT'ANNA, C. L.; XAVIER, M. B.; SORMUS, L. Estudo qualitativo do fitoplâncton da represa de Serraria, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**. v. 48, p.83-102, fev. 1988.

SANEPAR – COMPANHIA DE SANAMENTO DO PARANÁ. **Contagem de Cianobactérias.** [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <jgomes@saneapr.com.br>, em 10/11/2009, 15/06/2010, 16/03/2011a.

\_\_\_\_\_. **Área da bacia da represa de Alagados.** Curitiba, [2007]. CD-ROM.

\_\_\_\_\_. **Ações conjuntas no Grupo Gestor Alagados.** Ponta Grossa, [2010a]. CD-ROM.

\_\_\_\_\_. **Avaliação ambiental da represa do Alagados, manancial de Ponta Grossa – PR.** Parecer Técnico 034/2010-USHI. Curitiba, 2010b.

\_\_\_\_\_. **Lista de agrotóxicos por cultura** [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <jgomes@saneapr.com.br>, em 25/03/2011b.

\_\_\_\_\_. **SNS – Sistema Normativo da SANEPAR.** Relação de Instruções de Trabalho – IT. Curitiba, 2008

SAUTER, S.; JONES W. W. **Distribution and Abundance of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Indiana Lakes and Reservoirs.** 54 f. Indiana Department of Environmental Management, Office of Water Quality. Indianapolis, USA. 2005

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K. W. N.; PRISKI, F.F.; FILHO, M. R. A.; ALBUQUERQUE M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v 35 n. 5 p. 669-678. 2002.

SHAW, G. *et al.* **Blooms of the *Cylindrospermopsis* Containing Cyanobacterium, *Aphanizomenon ovalisporum* (Forti), in Newly Constructed Lakes, Queensland, Australia.** Environmental Toxicology Special Issue: Special Issue of Cyanobacterial Toxins Volume 14, Issue 1, pages 167–177, February 1999.

SHAW, G.; SEAWRIGHT, A. A.; MOORE, M. R.; LAM, P. K.S. Cyndrospermopsin, a cyanobacterial alkaloid: evaluation of its toxicologic activity. **Therapeutic Drug Monitoring**. V. 22, p.89–92. 2000.

SILVA C. A.; OBA E. T.; RAMSDORF W. A.; MAGALHÃES V. F.; CESTARI M. M.; RIBEIRO C. A. O.; ASSIS, H. C. S. First report about saxitoxins in freshwater fish *hoplias malabaricus* through trophic exposure. **Toxicon Journal**. v 57, pg 141-147. 2011.

SOARES M. R.; VIDAL, L. O.; ROLAND, F.; HUSZAR, V. L. M. Cyanobacterial equilibrium phases in a small tropical impoundment. **Journal of Plankton Research**. V. 31. n 11. p 1331 – 1338. 2009.

SOUZA, A. D.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G. **Filtração em margem de rios e lagos como alternativa de tratamento de água**. VII Simpósio de recursos Hídricos do Nordeste. ABRH, 2004.

SPROBER P. *et al.* Nitrogen uptake and fixation in the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* under different nitrogen conditions. **Hydrobiologia** 506–509, p. 169-174, 2003.

STEWART, I. *et al.* Primary irritant and delayed-contact hypersensitivity reactions to the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* and its associated toxin cyndrospermopsin. **BMC Dermatology**. v :5 12 p. 2006.

STUKEN, A., JAKOBSEN K. S. The cyndrospermopsin gene cluster of *Aphanizomenon* sp. strain 10E6: organization and recombination. **Microbiology**. N. 156, p. 2438–2451. 2010.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 1ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

TEZANOS-PINTO, P.; ALLENDE, L.; O'FARRELL, I. Influence of free-floating plants on the structure of a natural phytoplankton assemblage: experimental approach. **Journal of Plankton Research**. v. 29; nº 1, p. 47-56. 2007.

TORGAN, L.C.; GARCIA, M.. Novas ocorrências (Cyanophyta e Chlorophyta) para a ficoflora planctônica do Rio Grande do Sul. **Hoehnea** . v. 16, p. 57-64. 1989.

TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. São Carlos, ILEC/IEE. v.9. 2000.

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

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Jornal da UNESP. Julho/agosto de 2001. Ano XVI – nº158.** Disponível em: <http://www.unesp.br/aci/jornal/158/especial.htm>. Acesso em 08/04/2010

VIDAL L., KRUK C. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) extends its distribution to Latitude 34 53'S: taxonomical and ecological features in Uruguayan eutrophic lakes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences** 3(2): p. 142 –151. 2008.

VON SPERLING M. Afinal, Quanta Água Temos no Planeta ? **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 11 nº.4 p. 189-199.Out/Dez 2006

VUITIK G. A.; MALKOWSI B. L.; WIECHETECK G. K. Eficiência dos processos de clarificação de água aplicados no sistema de tratamento de Ponta Grossa (PR). **Revista Engenharia e Tecnologia**. v.2, nº 3; 77-89. 2010

WETZEL, R. G. Land-Water Interfaces: Metabolic and Limnological Regulators . **Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie**. v. 24, p 6-24. 1990.

WIECHETECK, G. K.; FILHO, A. G. A.; SZÉLIGA M. R.; PILATTI F. **Plano de gestão ambiental em áreas de mananciais – Estudo de caso na represa Alagados (Ponta Grossa – Paraná)**. UEPG - Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2004.

WIEDNER, C. *et al.* *Cylindrospermopsis raciborskii* and cylindrospermopsin in Lakes of the Berlin Area: Occurrence, Causes and Consequences. **Kompetenzzentrum Wasser Berlin Publicatioan Series**. v. 6, 95 p. 2007.

WIEDNER, C; RUCKER, J.; FASTNER, J . Seasonal dynamics of cylindrospermopsin and cyanobacteria in two German lakes. **Toxicon**. v 52, p. 677–686. 2008.

WORLD COMMISSION ON DAMS-WCD. **Dams and Development: A New Framework for Decision-Making**. Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA. 356 p. 2000.

YUNES, J. S., NIENCHESKI, L. F. H., SALOMON, P. S., PARISE, M., BEATTIE, K. A., RAGGETT, S. L.; CODD, G. A. The effect of nutrient balance and physical factors on the control of Cyanobacterial blooms in the Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**. v 26, p. 1796-1800. 1998.

YUNES *et al.* Cyanobacterial neurotoxins from southren brazilian freshwaters. **Comments on Toxicology**, v. 9, 103 – 105. 2003.

ZANOTELI, C. T.; PERES, A. C.; PERDOMO, C. C.; COSTA, R. H. R.;  
**identificação de algas e clorofila-a em lagoas facultativas no tratamento de  
dejetos de suínos.** ABES - VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e  
Ambiental. Vitória – ES, 2002.

**APENDICE: REGISTROS DE COLETA E MONITORAMENTO NA REPRESA DE ALAGADOS ENTRE 2008 E 2010.**

| <b>ANO<br/>2008</b> | <b>TEMP.°C<br/>AR</b> | <b>TEMP.°C<br/>ÁGUA</b> | <b>PH</b> | <b>TURB.</b> | <b>CONDUT.</b> | <b>AMÔN</b> | <b>PTOT</b> | <b>P REAT.</b> | <b>NITRITO</b> | <b>NITRATO</b> | <b>O.D</b> | <b>D.Q.O</b> | <b>D.B.O</b> | <b>C.TOTAL</b> | <b>C.TERM</b> | <b>CIANOBC.</b> | <b>chuvas</b> |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------|--------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|------------|--------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| jan/08              | -                     | -                       | -         | -            | -              | -           | -           | -              | -              | -              | -          | -            | -            | -              | -             | -               | 203,3         |
| fev/08              | -                     | -                       | -         | -            | -              | -           | -           | -              | -              | -              | -          | -            | -            | -              | -             | -               | 91,2          |
| mar/08              | 22,3                  | 20,4                    | 7,3       | 12,33        | -              | -           | 0,027       | 0,025          | -              | -              | 5,02       | 14,44        | 3,35         | 10.613         | -             | 350814          | 106,5         |
| abr/08              | 23,3                  | 17,7                    | 7,1       | 23,37        | 45,30          | 4,09        | 0,745       | 0,516          | 0,023          | 0,255          | 5,76       | 5,00         | 3,29         | 982            | 1.459         | 190672          | 183,8         |
| mai/08              | 24,1                  | 17,7                    | 7,3       | 6,72         | 51,98          | 0,47        | 0,035       | 0,029          | 0,020          | 0,193          | 5,84       | 6,31         | 2,24         | 427            | 203           | 175584          | 85,7          |
| jun/08              | 11,6                  | 12,1                    | 7,1       | 5,51         | 46,64          | 0,47        | 0,034       | 0,029          | 0,022          | 0,329          | 6,60       | 6,32         | 2,90         | 678            | 185           | 57498           | 126,8         |
| jul/08              | 16,6                  | 13,3                    | 7,8       | 9,69         | 54,09          | 0,37        | 0,049       | 0,031          | 0,027          | 0,658          | 5,89       | 5,58         | 2,03         | 582            | 428           | 1888            | 41,3          |
| ago/08              | 26,5                  | 17,4                    | 7,2       | 12,13        | 59,17          | 0,54        | 0,053       | 0,237          | 0,042          | 0,407          | 5,83       | 10,63        | 1,41         | 389            | 160           | 166             | 178,7         |
| set/08              | 14,7                  | 13,8                    | 7,4       | 10,21        | 55,00          | 0,62        | 0,047       | 0,021          | 0,024          | 0,344          | 5,90       | 10,43        | 3,15         | 2.554          | 213           | -               | 47,7          |
| out/08              | 19,7                  | 19,5                    | 7,0       | 18,46        | 59,26          | 0,87        | 0,057       | 0,030          | 0,020          | 0,215          | 5,73       | 11,62        | 3,47         | 10.613         | 559           | 962             | 195,7         |
| nov/08              | -                     | -                       | -         | -            | -              | -           | -           | -              | -              | -              | -          | -            | -            | -              | -             | 546             | 117,2         |
| dez/08              | -                     | -                       | -         | -            | -              | -           | -           | -              | -              | -              | -          | -            | -            | -              | -             | 139777          | 55,1          |

| <b>ANO<br/>2009</b> | <b>TEMP.°C<br/>AR</b> | <b>TEMP.°C<br/>ÁGUA</b> | <b>PH</b> | <b>TURB.</b> | <b>Condut.</b> | <b>Amôn</b> | <b>PTot</b> | <b>P reat.</b> | <b>NITRITO</b> | <b>NITRATO</b> | <b>O.D</b> | <b>D.Q.O</b> | <b>D.B.O</b> | <b>COLIF.TOT</b> | <b>C.TERM</b> | <b>cianobactéria</b> | <b>Chuvas</b> |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------|--------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|------------|--------------|--------------|------------------|---------------|----------------------|---------------|
| jan/09              | -                     | -                       | -         | -            |                | -           | -           | -              | -              | -              | -          | -            | 3,10         | -                | -             | 152617               | 175,1         |
| fev/09              | 30,8                  | 30,8                    | 7,6       | 8,68         | 63,03          | 0,60        | 0,048       | 0,037          | 0,027          | 0,02           | 4,54       | 8,24         | 2,26         | 114              | 360           | 212136               | 145,8         |
| mar/09              | 28,2                  | 28,2                    | 8,0       | 11,42        | 70,03          | 0,40        | 0,074       | 0,028          | 0,049          | 0,25           | 4,72       | 5,00         | 2,77         | 650              | 505           | 241742               | 50,4          |
| abr/09              | 27,4                  | 27,4                    | 7,4       | 8,91         | 77,72          | 0,62        | 0,071       | 0,036          | 0,046          | 0,59           | 4,77       | 14,13        | 2,51         | 2.323            | 217           | 299128               | 25,6          |
| mai/09              | 13,7                  | 13,7                    | 7,3       | 10,69        | 80,57          | 0,07        | 0,117       | 0,044          | 0,024          | 0,03           | 4,90       | 14,87        | 5,66         | 2.420            | 728           | 260301               | 56,3          |
| jun/09              | 16,9                  | 16,9                    | 7,3       | 26,78        | 79,41          | 0,28        | 0,384       | 0,261          | 0,026          | 0,48           | 5,59       | 23,89        | 2,87         | 2.420            | 1.880         | 194095               | 91,6          |
| jul/09              | 18,7                  | 18,7                    | 6,9       | 41,74        | 55,51          | 0,11        | 0,160       | 0,153          | 0,038          | 0,56           | 5,68       | 8,58         | 3,64         | -                | 4             | 72963                | 279,1         |
| ago/09              | 19,5                  | 19,5                    | 7,4       | 15,88        | 49,00          | 0,13        | 0,157       | 0,150          | 0,040          | 0,18           | 6,03       | 8,82         | 4,64         | 983              | 512           | 71                   | 69,3          |
| set/09              | 17,4                  | 18,1                    | 7,2       | 7,07         | 48,82          | 0,17        | 0,065       | 0,027          | 0,040          | 0,38           | 5,64       | 9,64         | 4,73         | 2.856            | 2.472         | 0                    | 249,8         |
| out/09              | 21,0                  | 17,1                    | 7,0       | 17,04        | 51,82          | 0,18        | 0,065       | 0,032          | 0,040          | 0,35           | 4,90       | 9,00         | 5,55         | 3.080            | 879           | 1140                 | 202,5         |
| nov/09              | 26,8                  | 26,8                    | 7,1       | 25,08        | 60,45          | 0,69        | 0,126       | 0,045          | 0,040          | 0,48           | 5,47       | 10,82        | 4,09         | 3.877            | 2.166         | 5180                 | 190,3         |
| dez/09              | 23,7                  | 20,5                    | 7,1       | 9,26         | 60,55          | 0,16        | 0,064       | 0,027          | 0,040          | 0,10           | 4,89       | 7,64         | 3,10         | 2.540            | 501           | 16559                | 132,3         |

| <b>ANO<br/>2010</b> | <b>TEMP.º<br/>C AR</b> | <b>TEMP.º C<br/>ÁGUA</b> | <b>PH</b> | <b>TURB.</b> | <b>Condut.</b> | <b>Amôn</b> | <b>PTot</b> | <b>P reat.</b> | <b>NITRITO</b> | <b>NITRATO</b> | <b>O.D</b> | <b>D.Q.O</b> | <b>D.B.O</b> | <b>COLIF.TOT</b> | <b>C.TERM</b> | <b>Cianobactéria</b> | <b>chuvas</b> |
|---------------------|------------------------|--------------------------|-----------|--------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|------------|--------------|--------------|------------------|---------------|----------------------|---------------|
| jan/10              | 24,8                   | 22,1                     | 7,2       | 24,8         | 54,18          | 0,16        | 0,144       | 0,017          | 0,040          | 0,33           | 4,54       | 17,00        | 4,25         | 2.145            | 33,25         | 19612                | 197,0         |
| fev/10              | 27,4                   | 24,4                     | 7,2       | 27,4         | 49,70          | 0,18        | 0,029       | 0,014          | 0,040          | 0,43           | 4,72       | 18,20        | 7,70         | 2.107            | 38,75         | 108035               | 164,3         |
| mar/10              | 23,8                   | 20,9                     | 7,3       | 23,8         | 56,45          | 0,15        | 0,077       | 0,035          | 0,040          | 0,32           | 4,77       | 22,36        | 10,27        | 2.075            | 33,25         | 133247               | 259,6         |
| abr/10              | 18,7                   | 18,2                     | 6,9       | 18,7         | 49,20          | 0,14        | 0,070       | 0,019          | 0,040          | 0,44           | 4,90       | 16,10        | 7,10         | 2.420            | 486,7         | 97310                | 147,4         |
| mai/10              | 18,7                   | 15,8                     | 7,1       | 18,7         | 52,73          | 0,13        | 0,070       | 0,014          | 0,040          | 0,01           | 5,59       | 20,00        | 8,82         | 1.180            | 129,5         | 33619                | 106,6         |
| jun/10              | 15,0                   | 14,0                     | 7,5       | 15,0         | 54,00          | 0,14        | 0,077       | 0,026          | 0,040          | 0,10           | 5,68       | 10,25        | 4,25         | 2.007            | 102,2         | 2504                 | 61,7          |
| jul/10              | 19,0                   | 14,4                     | 7,6       | 19,0         | 57,25          | 0,10        | 0,082       | 0,026          | 0,040          | 0,10           | 6,03       | 13,08        | 5,75         | 1.911            | 364,2         | 2372                 | 93,4          |
| ago/10              | 27,1                   | 15,6                     | 8,0       | 27,1         | 63,23          | 0,08        | 0,059       | 0,018          | 0,040          | 0,10           | 5,64       | 11,88        | 2,34         | 1.899            | 2,3           | 870                  | 33,8          |
| set/10              | 24,5                   | 17,4                     | 7,7       | 24,5         | 68,07          | 0,11        | 0,109       | 0,043          | 0,040          | 0,16           | 4,90       | 18,51        | 3,70         | 2.420            | -             | 839                  | 48,5          |
| out/10              | 22,1                   | 16,6                     | 7,8       | 22,1         | 68,88          | 0,12        | 0,076       | 0,040          | 0,040          | 0,21           | 5,47       | 11,23        | 2,32         | 2.285            | 8,6           | 26                   | 166,7         |
| nov/10              | 25,8                   | 18,9                     | 7,8       | 25,8         | 66,48          | 0,12        | 0,063       | 0,024          | 0,040          | 0,28           | 4,89       | 18,19        | 1,91         | 2.215            | 3             | 2816                 | 104,0         |
| dez/10              | -                      | 22,1                     | -         | -            | -              | -           | -           | -              | -              | -              | -          | -            | -            | -                | -             | 18331                | 268,6         |