



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOUTORADO TEMÁTICO**  
**DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**



**SUZANA MARINHO SOUTO LIMA**

**COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE DOIS RESERVATÓRIOS**  
**EUTROFIZADOS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

**CAMPINA GRANDE – PB**

2012

**SUZANA MARINHO SOUTO LIMA**

**COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE DOIS RESERVATÓRIOS  
EUTROFIZADOS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande,  
como requisito para obtenção do título de  
“Doutora em Recursos Naturais”

**Área de concentração:** Processos Ambientais

**Orientadora:** Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos

**Campina Grande – PB**

**2012**

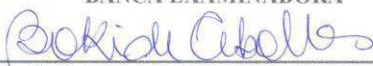
SUZANA MARINHO SOUTO LIMA

**COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE DOIS RESERVATÓRIOS  
EUTROFIZADOS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de  
"Doutora em Recursos Naturais". Área de concentração: Processos Ambientais

Aprovado em 17/12/2012

**BANCA EXAMINADORA**



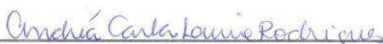
---

**Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos – Orientadora**  
Professora do Departamento de Ciências Biológicas – DCB/CCBS/UEPB



---

**Profa. Dra. Célia Regina Diniz – Examinadora**  
Professora do Departamento de Ciências Biológicas – DCB/CCBS/UEPB



---

**Prof. Dra. Andréia Carla Lima Rodrigues/UFPG – Examinadora**  
Professora do Departamento de Engenharia Civil – UAEC/CTRN/UFPG



---

**Profa. Dra. Annemarie König – Examinadora**  
Professora do Departamento de Engenharia Civil – UAEC/CTRN/UFPG



---

**Prof. Dr. José Dantas Neto – Examinador**  
Professor do Departamento de Engenharia Agrícola – UAEC/CTRN/UFPG

*Dedico.....*

*Em especial a meus pais, Sônia e José, a quem devo a minha vida e formação moral. Meu reconhecimento e gratidão pelo incentivo, paciência, compreensão e apoio constante nesta jornada da vida profissional.*

*A meus filhos, Fernando e Yan, que na sabedoria de sua inocência, me transmitiram apoio, confiança e força, indispensáveis à concretização do meu objetivo.*

*A meu esposo, Fernando, por seu apoio e compreensão, sem os quais não conseguiria finalizar esta importante etapa de minha vida.*

*A meus irmãos e irmãs.*

*Para vocês, todo o meu carinho, empenho, dedicação e admiração!!!!*

## AGRADECIMENTOS

*A DEUS, pela luz e força que me guiaram sempre. Oh Senhor! quantas vezes me carregaste no colo, quando pensei que não havia mais forças de seguir em frente.*

*À Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos, por quem tenho muito respeito e carinho, exemplo de profissionalismo e dedicação, não somente pela orientação deste trabalho mas também pela confiança em mim depositada e pelos grandes e constantes ensinamentos.*

*À Profa. Dra. Luciana Gomes Barbosa, pelas idéias inovadoras e pertinentes, que contribuíram imensamente para o desenvolvimento deste trabalho, pelos ensinamentos e pela paciência em me atender repetidas vezes, deixando de fazer outras tarefas tão ou mais importantes.*

*À professora Dra. Annemarie König, por quem tenho muito carinho e admiração. Você acompanhou de perto nossas longas jornadas no laboratório... muito obrigada pela disponibilidade em ajudar sempre.*

*Ao professor Dr. José Etham de Lucena Barbosa, pela boa vontade ao disponibilizar as dependências do LEAQ para análises de fitoplâncton.*

*Ao professor Dr. Alessandro Minillo, pela contribuição sempre que solicitado e colaboração nas análises de cianotoxinas.*

*Aos professores Célia Regina, Andréa Carla, Annemarie e José Dantas, pela participação na banca examinadora.*

*Ao professor José Dantas, pelo incentivo principalmente período pré-defesa.*

*As amigas Sara e Talita, pela imensa colaboração na identificação e quantificação do fito... vocês foram minhas "anjas".*

*A Luciene Rosa, pelo convívio e amizade.*

*Às amigas de longas jornadas de coleta e laboratório: Ruceline Lins (Line), Patrícia Cruz (Paty), Flávia Sales (Flabinha). Sem a ajuda de vocês eu não teria conseguido. A Ruceline, pelo apoio e ajuda, principalmente na etapa final. Obrigada por ter me acolhido com tanta boa vontade.*

*Aos colegas de laboratório Patrícia Campos, Salomão (Saló), Alaine, Rogério, Priscila, Heloísa, José Neto e Riveka que, mesmo participando de outro projeto me proporcionaram momentos de ajuda e descontração.*

*A Ismael, nosso motorista e amigo; sem você não haveria coletas...Obrigada pela sua disposição, boa vontade e alegria, nos proporcionando momentos de descontração.*

*A Rosa Maria (Rosinha) pela amizade e ajuda constante ....Obrigada, Rosinha por tudo.*

*A Valmária (Val) pela imensa ajuda nos trabalhos laboratoriais e pelos conselhos e conversas de mãe para filha.*

*A Cristina (Cris), secretária da UFCG, que sempre atendeu a todas as minhas necessidades com rapidez e gentileza.*

*Ao pessoal da AESA, Isnaldo, Marle, Lucílio, Carmem e Alexandre, pela disponibilidade de dados hidrometeorológicos dos reservatórios.*

*Ao Programa Institucional de doutorado temático em Recursos Naturais.*

*A todo o corpo docente do doutorado em recursos naturais.*

*A secretária Cleide, pela atenção incondicional e humana; obrigada pela sua pronta disponibilidade em ajudar.*

*Aos colegas de turma, pelo privilégio de convívio e discussões tão enriquecedoras, entre pessoas de formação tão diferente, durante o curso das disciplinas.*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da concessão de Bolsa de Doutorado.*

*Aos meus sogros e cunhadas (os) pelo apoio constante.*

*A Meri por cuidar de minha casa e filhos com tanto amor.*

*Embora seja impossível nomear todos que, de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho, pois a lista seria infindável, manifesto a vocês minha gratidão... Me perdoem aqueles que esqueci neste momento de agradecer ou até não tive condições de detalhar os agradecimentos à imensa ajuda.....mas se sintam agradecidos.....vocês sabem que foram muito importantes nesta etapa da minha vida.*

## RESUMO

A variação espacial e temporal e as estratégias adaptativas da comunidade fitoplanctônica foram analisadas em função do cenário físico e químico e dos volumes de água acumulados nos momentos de amostragem em dois reservatórios eutrofizados do Nordeste semiárido paraibano. Foram coletadas mensalmente, no período de janeiro de 2008 a julho de 2009, amostras de água nos reservatórios Cacimba da Várzea (município de Cacimba de Dentro, Curimataú) e Várzea Grande (município de Picuí, sub-bacia do Seridó Oriental) em três estações de coleta, sendo: E1- entrada de tributários, E2 - Próximo aos tanques de piscicultura e E3 - Zona de barragem, em três profundidades (subsuperfície, 50% e 0% de incidência de luz). As variáveis estudadas foram: transparência de Secchi, coeficiente de atenuação da luz (K), temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, nitrogênio total inorgânico, fósforo reativo solúvel, fósforo total, relação NID/PSR e Índice do Estado Trófico (IET). A concentração de clorofila a, foi avaliada como indicadora indireta da biomassa de fitoplâncton caracterizada a comunidade fitoplanctônica (qualitativa e quantitativamente), determinada sua densidade e convertida em biomassa. As estratégias adaptativas foram verificadas a partir dos traços funcionais de cada espécie. A presença de microcistinas LR foi determinada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Os dois reservatórios estão situados em bacias hidrográficas próximas embora com diferentes valores pluviométricos e características limnológicas semelhantes: temperaturas médias da água de 26,3 a 27,3°C, elevado pH (próximos a 8), baixa transparência, (extremos de até 0,2 metros) e elevadas concentrações de nutrientes, que favorecem o desenvolvimento das cianobactérias as quais dominaram os reservatórios ao longo do período de estudo. Em Cacimba da Várzea a biomassa fitoplanctônica teve concentrações máximas em biovolume de 10,15 mm<sup>3</sup>.L, 10 vezes menores que em Várzea Grande (128,56 mm<sup>3</sup>.L) associados aos eventos de transbordamento durante as chuvas (período de inverno) enquanto as concentrações máximas de fósforo total foram de 1.269,17 µg.L em Cacimba da Várzea e de 1.170,83 µg.L em Várzea Grande. Foram identificados 19 grupos funcionais: 10 em Várzea Grande (C, H1, J, Lo, Mp, P, S1, Sn, W2, X1) e 9 em Cacimba da Várzea (C, J, Lo, P, S1, Sn, W2, X1), com predomínio de S1 e Sn nos dois reservatórios, sobressaindo-se na época de estiagem ou verão, quando havia menores volumes de água acumulada. Os traços morfo-funcionais do fitoplâncton revelaram predominância de espécies com máxima dimensão linear - MDL (maiores que 50µm) e volume celular entre 10<sup>3</sup> e 10<sup>4</sup> µm<sup>3</sup> R-estrategistas, atributos que traduzem condições de eutrofia do corpo aquático. Os resultados evidenciam que os grupos funcionais são ferramentas eficientes no monitoramento de ecossistemas aquáticos no semiárido ao expressar suas condições físicas, químicas, biológicas e hidráulicas. As concentrações de Microcistina LR detectadas nos reservatórios foram de 11,54 µg.L, em Cacimba da Várzea e média de 5,03 µg.L em Várzea Grande. São valores elevados que exigem a aplicação das diretrizes da Portaria 2914/2011, de controle semanal dos teores de cianotoxinas no manancial na zona de captação, assim como na água tratada na saída da ETA, antes da distribuição. O valor máximo permitido de microcistina na água de beber é de 1 µg.L. Os resultados mostram que o monitoramento de corpos aquáticos destinados para usos múltiplos e em especial para consumo humano encontra, na identificação dos grupos funcionais, um excelente instrumento de avaliação dos níveis de eutrofização e orienta para a possível presença de cianotoxinas nessas águas. Pela importância social e econômica de ambos os reservatórios estudados, sua caracterização como ambientes eutróficos (pela composição dos grupos fitoplanctônicos predominantes confirmados pelos teores de N e P e o IET) é útil aos gestores dos recursos hídricos estaduais para a adoção de medidas preventivas ou de retardo da eutrofização.

**Palavras-chave:** Cianobactérias, Estratégias adaptativas, Semiárido.



## ABSTRACT

The spatial and temporal variation and adaptive strategies of phytoplankton were analyzed as a function of chemical and physical settings and the volume of water accumulated at the moment of the samplings in two eutrophic reservoirs in the semiarid region of northeastern Paraíba. Samples of water were collected monthly from January 2008 to July 2009, in the Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro municipality, Curimataú) and Várzea Grande (Picuí municipality, Eastern Seridó sub basin) reservoirs at three collection stations: E1- entrada de tributários, E2 - Next to fishponds and E3-dam zone, and at three depths (sub-surface, 50% and 0% incidence of light). The variables studied were: Secchi transparency, attenuation coefficient of light (K), temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, total inorganic nitrogen, reactive soluble phosphorus, total phosphorous, compared NID / PSR, Trophic State Index (ETI). The concentration of chlorophyll a was evaluated, as an indirect indicator of phytoplankton biomass and the phytoplankton community was characterized (qualitatively and quantitatively), its density was determined and converted into biomass. The adaptive strategies were verified from the functional traits of each species. The presence of microcystin LR was determined by high performance liquid chromatography (HPLC). The two reservoirs are located in close basins although with different precipitation values and with similar limnological characteristics: mean temperatures of the water from 26.3 to 27.3°C, high pH (near 8), low transparency (extremes of 0.2 meters) and high concentrations of nutrients, which favor the development of cyanobacteria that dominated reservoirs throughout the study period. In Cacimba da Várzea biomass fitoplactônica had a maximum concentration of biovolume at 10.15 mm<sup>3</sup>.L which were 10 times smaller than in Várzea Grande (128.56 mm<sup>3</sup>.L) associated with overflow events during the rains (the winter period), while peak concentrations of total phosphorus were 1269.17 µg.L in Cacimba da Várzea and 1170.83 µg.L in Várzea Grande. 19 functional groups were identified: 10 in Várzea Grande (C, H1, J, Lo, Mp, P, S1, Sn, W2, X1) and 9 in Cacimba da Várzea (C, J, Lo, P, S1, Sn, W2, X1), with predominance of S1 and Sn in the two reservoirs, standing out in the dry season or summer when there were smaller volumes of water accumulated in the reservoirs. The morpho-functional traits of phytoplankton revealed the predominance of species with maximum linear dimension - MDL (greater than 50µm) and cell volume between 10<sup>3</sup> and 10<sup>4</sup> µm<sup>3</sup> R-strategists, attributes that translate eutrophic conditions in the ecosystem. The results show that the functional groups are efficient tools in monitoring aquatic ecosystems in semiarid to express physical, chemical, biological and hydraulic conditions. The Microcystin LR concentrations detected in the reservoirs were 11.54 µg.L in Cacimba da Várzea and an average of 5.03 µg.L in Várzea Grande. High values are what require applying the guidelines of Ordinance 2914/2011, the weekly control of the cyanotoxins levels in the spring catchment area as well as in the treated water at the ETA outlet before distribution. The maximum value of microcystin allowed in drinking water is 1 µg.L. The results show that monitoring bodies of water intended for multiple uses and especially for human consumption shows functional groups identification as an excellent tool for assessing levels of eutrophication and guides to the possible presence of cyanotoxins in these waters. Given the social and economic importance of both reservoirs studied its characterization as eutrophic environments (the composition of the dominant phytoplankton groups confirmed by the contents of N and P and the EIT) is useful to state managers of water resources for the adoption of prevention methods or the delay of eutrophication.

**Keywords:** Cyanobacteria, Adaptive strategies, Semiarid.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Localização geográfica das estações de amostragem dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB).....	31
<b>Tabela 2.</b> Variáveis físicas e químicas e métodos utilizados para sua análise.....	35

### CAPITULO 1

<b>Tabela 1.1</b> Valores máximos, médios, mínimos e coeficiente de variação das variáveis físicas e químicas nos três pontos de coleta, dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB) no período de janeiro/2008 a julho/2009.....	54
---	----

<b>Tabela 1.2</b> Correlações das variáveis abióticas nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB, com os componentes principais I e II, nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009.....	57
---	----

<b>Tabela 1.3</b> Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as espécies de cianobactérias dominantes, algas, concentração de microcistinas LR e variáveis abióticas do reservatório Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....	61
---	----

<b>Tabela 1.4</b> Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as espécies de cianobactérias dominantes, algas, concentração de microcistinas LR e as variáveis abióticas encontrados no reservatório Várzea Grande (Picuí, PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....	63
--	----

<b>Tabela 1.5</b> Correlações das espécies dominantes nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB, com as Componentes Principais I e II, nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009.....	65
---	----

### CAPITULO 2

<b>Tabela 2.1</b> Localização geográfica das estações de amostragem dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB).....	78
--	----

<b>Tabela 2.2.</b> Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as algas e cianobactérias dos grupos funcionais encontrados no reservatório Cacimba da (Cacimba de Dentro, PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....	83
---	----

**Tabela 2.3** Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as algas e cianobactérias dos grupos funcionais encontrados no reservatório Várzea Grande (Picuí, PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....86

**Tabela 2.4** Máxima dimensão linear (MDL), volume celular, hábito de vida, estratégia e grupo funcional das espécies descritoras dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB) no período de janeiro/2008 á julho/2009.....93

**Tabela 2.5** Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre os grupos funcionais e as variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande, PB, no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....95

**Tabela 2.6** Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre os traços funcionais e as variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande, PB, no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....97

.

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPITULO 1

- Gráfico 1.1** Volumes de acumulação, precipitação pluviométrica e sua média histórica, no reservatório Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) no período de janeiro/2008 a julho/2009.....50
- Gráfico 1.2** Volumes de acumulação, precipitação pluviométrica e sua média histórica, no reservatório Várzea Grande (Picuí, PB), no período de janeiro/2008 a julho/2009.....51
- Gráfico 1.3** Valores de transparência (m) e Zona eufótica nos reservatórios Cacimba da Várzea (A) e Várzea Grande (B), nas três estações de coleta (E1, E2 e E3) no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....52
- Gráfico 1.4** Ordenação pela ACP (eixos 1 e 2) das unidades amostrais em função das variáveis abióticas nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB.....56
- Gráfico 1.5** Biomassa total e de cianobactérias, nos três pontos de coleta ( E1: Entrada de tributários, E2: Próximo aos tanques-rede e E3: zona de barragem, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB), no período de janeiro/2008 a julho/2009.....58
- Gráfico 1.6** Biomassa relativa (%) das espécies dominantes do reservatório Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB), nos três pontos de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009.....60
- Gráfico 1.7** Biomassa relativa (%) das espécies dominantes do reservatório Várzea Grande (Picuí, PB), nos três pontos de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009.....62
- Gráfico 1.8** Concentrações de microcistinas LR ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) determinadas nos reservatórios nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.....64
- Gráfico 1.9** Ordenação pela ACP (eixos 1 e 2) em função das espécies dominantes nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB.....65

## CAPITULO 2

- Gráfico 2.1** Percentual de contribuição dos grupos funcionais, nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, no reservatório (Cacimba de Dentro, PB).....84
- Gráfico 2.2** Percentual de contribuição dos grupos funcionais, nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, no reservatório Várzea Grande, (Picuí, PB).....87
- Gráfico 2.3** Diversidade morfológica da comunidade fitoplanctônica nas três estações de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande, (Picuí, PB).....88
- Gráfico 2.4** Máxima dimensão linear (MDL) da comunidade fitoplanctônica nas três estações de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande, (Picuí, PB).....89
- Gráfico 2.5** Estratégia de vida da comunidade fitoplanctônica nas três estações de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande, (Picuí, PB).....90
- Gráfico 2.6** Volume celular da comunidade fitoplanctônica nas três estações de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande, (Picuí, PB).....91
- Gráfico 2.7** Dispersão dos escores das variáveis abióticas e grupos funcionais (A) e das unidades amostrais (B) ao longo dos dois primeiros eixos da CCA, durante o período de janeiro 2008 a julho de 2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB).....96
- Gráfico 2.8** Dispersão dos escores das variáveis abióticas e traços funcionais (A) e das unidades amostrais (B) ao longo dos dois primeiros eixos da ACC, no período de janeiro 2008 a julho de 2009. Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande(Picuí, PB).....98

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
HIPÓTESES E OBJETIVOS	26
HIPÓTESES	27
OBJETIVOS	27
Objetivo geral	27
Objetivos específicos	27
MATERIAL E MÉTODOS	28
Localização e caracterização da área de estudo	29
Açude Cacimba da Várzea	29
Açude Várzea Grande	30
Estações de coleta e periodicidade das amostragens	31
Variáveis Analisadas	32
Análise qualitativa do fitoplâncton	32
Análise quantitativa do fitoplâncton	32
Cálculo do Biovolume	34
Teste Toxicológico	34
Análise de cianotoxinas	34
Variáveis Físicas e Químicas	35
Variáveis Hidrológicas e Meteorológicas	35
Tratamento Estatístico dos dados	36
Análises multivariadas	36
REFERÊNCIAS	37
CAPÍTULO 1	43
Resumo	44
Introdução	46
Material e Métodos	47
Amostragens	48
Análises estatísticas	49
Resultados	50
Discussão	66
Referências	69
CAPÍTULO 2	73

Resumo	74
Abstract	75
Introdução	76
Área de Estudo	77
Açude Cacimba da Várzea	77
Açude Várzea Grande	78
Material e Métodos	78
Análises estatísticas	80
Resultados	80
Caracterização da comunidade Fitoplanctônica	81
Traços Funcionais	88
Discussão	98
Referências	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
APÊNDICES	106

## *INTRODUÇÃO GERAL*



Nos ambientes aquáticos as reorganizações frequentes na composição e abundância das espécies fitoplanctônicas, demonstram seu potencial de se ajustar à heterogeneidade do habitat refletindo seu caráter comportamental. Atualmente, é amplamente aceito que a qualidade da água em lagos e reservatórios é resultante de uma interação sutil entre processos físicos, químicos e biológicos (MORENO-OSTOS, et al., 2008). Mudanças na composição de espécies do fitoplâncton podem ocorrer como resultado de influências alogênicas (externas) ou influências bióticas (autogênicas) (REYNOLDS, 1988). Entretanto, fatores físicos, tais como disponibilidade de luz, aquecimento global, estratificação vertical da coluna de água e mistura, entre outros, são cruciais para a dinâmica e composição das espécies e seus impactos são semelhantes à magnitude das concentrações dos nutrientes (ZOHARY, PADISA´K e NASELLI-FLORES, 2010).

Além de sujeitos à ação de variáveis climatológicas como precipitação pluviométrica, vento e radiação solar, os reservatórios são influenciados também pelos mecanismos operacionais da barragem (condições de entrada de água e tempo de residência) os quais, juntamente com a morfometria do corpo d'água, produzem diferenças na circulação vertical e horizontal do sistema ao longo de um gradiente espacial (compartimentação) tornando-os sistemas extremamente dinâmicos, com alta variabilidade temporal e espacial de suas características (TUNDISI, 1990). Dentre esses, o tempo de retenção da água tem sido apontado como a principal função atuante sobre o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica (KIMMEL et al., 1990; TUNDISI et al. 1991).

As flutuações espaciais e temporais na composição e na biomassa indicam alterações naturais ou antrópicas no ecossistema aquático (MOURA et al., 2007). A presença/ausência de certas espécies sugere o estado geral de saúde/degradação dessa água. Desta forma, como o fitoplâncton é extremamente sensível às mudanças ambientais, reflete as mínimas alterações químicas e físicas da água; logo, é um excelente indicador da qualidade da água (PADISÁK et al., 2003).

A atual visão da comunidade fitoplanctônica como discriminador ambiental surgiu da tentativa de prever os efeitos de mudanças no ambiente pelas ações antropogênicas, através da classificação de espécies de acordo com sua resposta a determinadas alterações ambientais (REYNOLDS, et al., 2002). É da interação dos fatores físicos, químicos e biológicos que surgem as condições ambientais favoráveis ou

não ao desenvolvimento de determinadas espécies devido às estratégias mais adequadas adotadas por elas para sua sobrevivência. São as características morfológicas, fisiológicas e funcionais que tornam as espécies mais aptas para competir em condições adversas. Em cada momento a variabilidade das condições físicas e químicas e as relações biológicas entre as espécies (competição e "grazing") vão determinar sua sucessão, segundo o padrão de estratégia de sobrevivência mais adequada. As condições ambientais locais devem atuar como filtros favorecendo grupos de espécies que compartilhem características adaptativas similares (REYNOLDS, 1988).

Metodologias capazes de fazer ligações entre as estratégias adaptativas e morfológicas do fitoplâncton e as condições ambientais específicas vêm evoluindo rapidamente nas últimas décadas. Duas linhas principais foram desenvolvidas: o modelo de duas e três estratégias, em que o primeiro, fundamentado em duas estratégias de seleção  $r$  ou  $K$  ( $r$  - favorecidas por condições de altas concentrações de nutrientes e alta instabilidade;  $k$  – adaptadas à estratificação térmica e limitação de recursos) aplica os conceitos de Pianka (1970). A segunda abordagem, baseada em 3 estratégias C-R-S, foi proposta por Reynolds (1997) que, adaptando as idéias de Grime (1977) para a vegetação terrestre sugeriu, como definições: C estrategistas são principalmente invasoras caracterizadas pela relativa facilidade de dispersão devido ao seu pequeno tamanho, crescimento rápido, habitar ambientes com formação de novas condições hidrográficas; S estrategistas são fundamentalmente estresse – tolerantes, representadas por espécies unicelulares ou coloniais grandes, de crescimento lento, de difícil dispersão e elevado requerimento de luz e R estrategistas (distúrbio tolerantes) as quais apresentam formas achatadas ou recortadas, adaptadas às condições de mistura da coluna de água.

Uma abordagem proposta por Reynolds (1997) e atualizada por Reynolds et al. (2002) propõe que as comunidades fitoplanctônicas sejam agrupadas de acordo com suas afinidades ecológicas nos denominados grupos funcionais. As diferentes espécies de um mesmo grupo apresentam semelhanças ecológicas que respondem similarmente a determinado conjunto de condições ambientais, o que possibilitaria entender e prever a distribuição e a dinâmica das populações naturais de fitoplâncton, pois o tamanho e a forma das algas estão diretamente ligados às suas adaptações fisiológicas (REYNOLDS et al. 2002; REYNOLDS, 2006).

Os grupos foram nomeados por um código alfa-numérico com base na relação superfície/volume das espécies dominantes e na semelhança na resposta a determinado conjunto de condições ambientais, formando 31 grupos, na maioria polifiléticos (REYNOLDS et al., 2002) em função de fatores físicos e químicos. A utilização dos grupos funcionais foi confirmada em trabalho desenvolvido por Kruk et al., (2002) que testaram a sensibilidade da comunidade fitoplanctônica às várias fases de alterações de quantidades de nutrientes, demonstrando que os grupos funcionais foram mais importantes e úteis na resposta às mudanças ambientais que qualquer outra espécie ou suas relações taxonômicas. Desde então, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos para acomodação de espécies fitoplanctônicas em seus respectivos grupos funcionais a fim de ampliar a utilização desta ferramenta. No entanto, várias lacunas foram percebidas no uso desta ferramenta e novos grupos foram sugeridos (PADISAK et al., 2003; 2006). Atualmente, foram identificados 40 grupos (PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009). De acordo com esta classificação, as associações **A, B, C, D, MP, N, P e T** são constituídas por diatomáceas; **F, G, J, K, MP, N, P, T, X e W** reúnem espécies de clorófitas; **H, K, L, M, MP, R, S, T, W e Z**, agrupam cianobactérias; enquanto as associações **E, L, Q, U, V, W, X e Y** congregam espécies de fitoflagelados, ainda existem as subdivisões dos códons **H1 e H2; Lo e Lm; N e Na; S1, S2 e Sn; T, Tb, Tc e Td; W1, W2, Wo e Ws; e X1, X2, X3 e Xph** (PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009); contudo, esta abordagem não está concluída uma vez que muitos ambientes ainda apresentam poucos dados na literatura sobre a ecologia do fitoplâncton.

Os grupos funcionais foram estudados, inicialmente, em ambientes temperados; no entanto, tem-se mostrado adequados para regiões tropicais, subtropicais e mediterrâneas demonstrados por trabalhos desenvolvidos por Arfi et al. (2003) que estudando dois reservatórios rasos africanos durante os períodos de seca e de chuva, observaram predominância de oito associações fitoplanctônicas (**H1, J, K, L<sub>M</sub>, N, P, S1 e X1**) os quais estiveram altamente relacionados com o nível de água e outros fatores ambientais. Os grupos **L<sub>M</sub>, K, H1, S1** estiveram presentes durante a época seca, enquanto os grupos **X1 e J** foram mais abundantes no período de inundação; ainda no início da seca foi registrado o grupo **N**, que é característico de ambientes pobres em nutrientes.

Ao comparar as influências das flutuações dos níveis de água sobre a estrutura térmica e a dinâmica do fitoplâncton de um reservatório hipertrófico no semiárido mediterrânico, Naselli Flores e Barone (2005) observaram, em anos com estratificações mais estáveis, predominou associações Lm, M, J e P, enquanto em anos nos quais o reservatório esteve mais misturado, a associação M foi a predominante.

Em um reservatório utilizado para abastecimento humano em Barcelona (Espanha) os grupos X2 e F estiveram presentes no verão e o grupo Y predominou no inverno, favorecidos pelas condições de mistura, de pouca luz e de alta disponibilidade de nutrientes dissolvidos. O final do verão foi caracterizado por altas temperaturas e elevadas concentrações de nutrientes, o que resultou na diminuição da densidade das algas verdes (grupo F) e no aumento das cianobactérias (grupo K) e dos dinoflagelados (Lo). De acordo com o Índice Q (PADISA'K et al., 2006) o reservatório apresentou boas condições ecológicas durante a maior parte do ano (BECKER et al., 2010).

Barone, Castelli e Naselli-Flores (2010) avaliaram os efeitos que as mudanças climáticas causaram nos grupos fitoplânctônicos do lago raso Biviere di Gela, no Mediterrâneo, durante 3 anos (2005-2007) confrontando-as com aquelas presentes há 20 anos (1987-1988). Ao comparar os dois períodos percebeu-se o mesmo número de grupos em ambos mas apenas cinco deles (C, F, J, X1 e Y) foram comuns. Em alguns casos houve substituição das espécies incluídas nos grupos como, por exemplo, no grupo C, formado principalmente por *Chaetoceros muelleri* em 1987-1988, que é substituída por *Cyclotella meneghiniana* em 2005-2007; já no grupo J ocorreu acréscimo de espécies em 2005-2007, rearranjo este provocado pelas alterações climáticas juntamente com gestão inadequada.

No Brasil, estudos sobre grupos funcionais vêm sendo desenvolvidos em lagos e reservatórios. Borges, Train e Rodrigues (2008) observaram a eficiência da utilização de grupos funcionais em dois reservatórios subtropicais paranaenses na caracterização de gradientes longitudinais, que o reservatório de Capivari foi melhor caracterizado por grupos de algas representados por L, M e Y, indicativos de sua maior estabilidade da coluna de água e maior concentração de fósforo enquanto o reservatório Segredo, PR, foi representado pelo grupo Mp, com indivíduos típicos de zona de mistura de maior extensão e maior concentração de nitratos.

Destacam-se, também, trabalhos realizados em lagos rasos isolados, como no lago dos Tigres (GO), onde se propôs detectar os grupos funcionais fitoplanctônicos

dominantes e descritivos do sistema e relacioná-los com características limnológicas. Os autores concluíram que, com os meses de seca, maiores concentrações de nutrientes e maiores transparências, foi registrado predomínio dos grupos funcionais Lo, Y, N e W1 enquanto naqueles considerados chuvosos e que apresentaram maiores temperaturas e menores transparências, os grupos predominantes foram S1, T e N (NABOUT; NOGUEIRA, 2007).

Nos reservatórios Billings e Guarapiranga, SP, Gemelgo, Mucci e Navas-Pereira (2009) examinaram a variação sazonal dos grupos fitoplanctônicos e concluíram que as espécies descritoras e os grupos funcionais mais representativos eram *Anabaena circinalis* (H1), *Microcystis aeruginosa* (Lm/M) e *Mougeotia* sp. (T) no reservatório Guarapiranga; por *Cylindrospermopsis raciborskii* (SN), *Microcystis aeruginosa* e *M. panniformis* (Lm/M), *Planktothrix agardhii* e *P. cf. clathrata* (S1) no reservatório Billings sendo a temperatura da água, zona eufótica, turbidez, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, nitrato e fósforo total, os fatores ambientais que interferiram na dinâmica do fitoplâncton.

Moura et. al. (2007) verificaram ao determinar as causas da dominância algal no reservatório eutrófico, Mundaú, em Pernambuco, que o elevado nível trófico, o pH alcalino e as elevadas temperaturas favoreceram a dominância da associação Sn, em relação aos demais grupos.

Molisani et al., (2010) objetivando diagnosticar as condições limnológicas focadas nas variáveis físicas e químicas, índice de estado trófico e grupos funcionais fitoplânctônico do reservatório de Castanhão, CE, maior e mais importante do Estado, concluíram que o mesmo pode ser considerado mesotrófico, sendo os grupos C, X1, Y e J os mais abundantes. Eventos de anoxia e a presença da espécie fitoplanctônica potencialmente tóxica (*C. raciborskii*) indicaram poluição elevada e a necessidade de um manejo adequado visando ao controle da emissão de nutrientes provenientes de atividades antrópicas, dentre elas a piscicultura em tanques redes.

Verifica-se a ocorrência de alguns grupos diretamente relacionados ao estado trófico do sistema aquático e neste sentido a abordagem fitossociológica pode oferecer indicativos do grau de enriquecimento do lago ou do reservatório estudado (CUNHA; CALIJURI, 2011). Entretanto, estudos semelhantes em reservatórios localizados em regiões semiáridas, ainda são escassos.

A região semiárida do Nordeste brasileiro abrange 1.133 municípios e uma população de 21 milhões de pessoas. Caracteriza-se pelas suas condições climáticas peculiares, com uma precipitação pluviométrica entre 200-900mm anuais e média de 800 mm/ano, restrita a poucos meses do ano (época de inverno) com acentuada variabilidade interanual e entrecortada por veranicos mais ou menos prolongados. A evaporação potencial é quatro vezes superior às precipitações (2.550 mm anuais), explicando as recorrentes secas da região (SOUZA FILHO, 2011; CAMPOS, 2011). Essas condições são acentuadas pelas mudanças climáticas dos últimos anos que ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água e que podem levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis os agricultores pobres, como aqueles com culturas de subsistência (MARENGO, et al., 2011)

Este cenário tem estimulado a implantação de projetos de convivência com o semiárido e a seca, por parte do governo federal, que busca fontes de alimento e renda para as comunidades rurais da região. Um deles é o Projeto Tilápia, que fomenta a criação de peixes (*Oreochromis niloticus*) em tanques redes através de cooperativas de piscicultores, com financiamento do Banco do Brasil - PRONAF. A atividade vem crescendo com incentivos governamentais. O Decreto nº 4.895/2003 foi sancionado pela Presidência da República, juntamente com a Instrução Normativa Interministerial nº8, entre o Ministério da Aquicultura e Pesca e do Meio Ambiente, que dispõe sobre a autorização do uso de águas públicas para a aqüicultura e estabelece diretrizes para a implantação de parques aquícolas (BRASIL, 2003).

No Estado da Paraíba pequenos piscicultores se unem em associações ou cooperativas para conseguir o apoio financeiro e técnico do governo federal, sendo que em alguns municípios tornou-se até lei. No município de Itaporanga, por exemplo, o prefeito em exercício sancionou a Lei nº 741, de 12 de fevereiro de 2009, que dispõe sobre a instituição do Programa de Arranjo Produtivo Local do Cultivo da Tilápia (PARAIBA, 2009). Outros 20 municípios buscaram a implementação deste Programa, porém muitos empreendimentos fracassaram como, por exemplo, no reservatório Várzea Grande, em Picuí, resultante de carências organizacionais dos pescadores, bem como falhas na assistência técnica por parte dos gestores públicos do projeto. Geralmente, esses projetos são planejados para oito tanques-rede por família, para que elas possam obter uma renda mensal em torno de 400 reais. De acordo com informações da Agência Executiva de Gestão das Águas (AES/PB), órgão responsável pela outorga

de uso da água na Paraíba, a maioria dos projetos propõe a instalação de 168 tanques redes com 5m<sup>3</sup> cada um, contendo em média 650 peixes por tanque, em que cada um atingirá, no momento da despesca, 500 gramas, o que corresponde a uma produção média anual de até 272 toneladas de peixes.

Entretanto, eventos de morte massiva de peixes ocorreram em vários desses empreendimentos em açudes nordestinos com piscicultura intensiva que, em geral, se associam às alterações na qualidade da água produzida pela própria atividade de criação. Segundo Guo e Li (2003) a piscicultura pode interromper o balanço ecológico do ecossistema aquático e resultar na eutrofização das águas nas áreas em que a atividade está sendo desenvolvida, tornando-se necessário avaliar os impactos específicos que esta atividade pode gerar no meio aquático, principalmente nos corpos d'água utilizados para abastecimento público.

Os maiores impactos causados pela piscicultura em tanques-rede dizem respeito ao aumento nas concentrações de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica, tanto na água quanto no sedimento proveniente da ração não utilizada pelos peixes e de suas excretas. Este enriquecimento nutricional do corpo aquático traz, como consequência, a eutrofização artificial que implica em fortes alterações ecológicas para o ambiente, dentre eles o estímulo à produção biológica fotossintética, ocorrendo florações de microalgas e cianobactérias potencialmente tóxicas, que podem ter a capacidade de produzir e liberar potentes toxinas para o meio aquático (CHORUS; BARTRAM, 1999; CODD, 2000).

Inúmeros são os relatos de intoxicação de humanos e de animais, causados por cianotoxinas: Uma provável primeira observação foi um relato de mais de mil anos, na China, quando no sul do país vários soldados morreram por envenenamento após cruzarem e beber água de um rio de cor extremamente verde (CEBALLOS; AZEVEDO; BENDATE, 2006). Relatos de intoxicação de humanos pelo consumo de água contaminada por toxinas de cianobactérias, já foram descritos na Austrália, China, Inglaterra, África do Sul e no Brasil (CHORUS ; BARTRAM, 1999; CODD, 2000). Na região Nordeste se destacam o trabalho de Teixeira et al., (1993) que descreve haver forte evidência de correlação entre a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Itaparica (Bahia) e a morte de 88 pessoas entre as 200 intoxicadas, pelo consumo de água deste açude. Em 1996, 123 pacientes renais crônicos, passaram a apresentar um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose após terem

sido submetidos a sessões de hemodiálise, em uma clínica da cidade de Caruaru, PE; desses, 54 vieram a falecer até cinco meses após o início dos sintomas. Análises realizadas nos Estados Unidos confirmaram a presença de microcistinas no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica, e em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados. Este passou a ser, então, o primeiro caso confirmado de mortes humanas causadas por uma toxina produzida por cianobactérias (JOCHIMSEN et al. 1988; POURIA et al. 1988).

Aliados ao aumento da demanda dos recursos hídricos esses relatos revelam a necessidade de medidas de gestão que protejam os corpos de água e reduzam a proliferação de cianobactérias, sobretudo em reservatórios de usos múltiplos, que contemplam o abastecimento público. A presença de cianobactérias potencialmente toxigênicas em águas para consumo humano implica em sérios riscos à saúde pública, aos animais e à biota em geral. Por serem hidrossolúveis e dificilmente eliminadas pelos métodos convencionais de tratamento de água nas Estações de Tratamento, podem ser consumidas pelos usuários causando efeitos sobre o fígado, o sistema nervoso ou a pele (dermatites).

O método predominante de tratamento de água usado no Brasil e no mundo é o denominado método convencional ou de ciclo completo, que consiste de várias etapas em série (coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção) que nem sempre removem as cianotoxinas. Por esta razão, a Portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde “Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências” (BRASIL, 2004) igual que na Portaria 2914 do Ministério de Saúde que desde dezembro de 2011 substitui a anterior e “Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” estabelece o monitoramento sistemático das águas dos mananciais no ponto de captação com frequência mensal ou semanal, em função da densidade de cianobactérias e, quando necessário, exige a determinação dos níveis de cianotoxinas na água. De acordo com esta última Portaria o monitoramento da qualidade da água bruta dos mananciais destinados ao consumo humano após tratamento, deverá ter frequência mensal se a densidade de cianobactérias for igual ou inferior a 10.000 cel/ml e semanal se for maior a 10.000 cel/mL; se a densidade de cianobactérias for superior ou igual a 20.000 cel/mL, deverá proceder também à análise



de cianotoxinas no ponto de captação no manacial. Na água para consumo humano a concentração de microscitinas (intra e extracelulares) não deve ser superior a 1 µg/L, valor que representa o somatório das concentrações de todas as variantes de microcistinas (Anexo VIII/ Portaria 2914/2011); se houver espécies de cianobactérias produtoras de cilindrospermopsinas e de anatoxinas, recomenda-se também a análise dessas cianotoxinas (BRASIL, 2011) .

A gestão dos recursos hídricos ao longo dos anos foi baseada na análise das características físicas, químicas e microbiológicas (limitada aos valores da colimetria). Entretanto, a análise de um ecossistema baseada apenas nesses aspectos pode resultar em informações incompletas ou limitadas sobre a dinâmica do meio. O entendimento da relação entre as características físicas e químicas da água e a biota do ecossistema permite uma avaliação mais adequada e completa pois a composição do fitoplâncton é fortemente influenciada pelos diversos fatores bióticos e abióticos (REYNOLDS, 2006). A morfometria e a taxa do fluxo hidrológico do reservatório também interferem bastante na variabilidade ambiental e, conseqüentemente, na comunidade fitoplanctônica (CALIJURI, et al., 2002)

Assim, o presente trabalho objetivou estudar os potenciais efeitos que o volume de água acumulado nos reservatórios pode exercer sobre as variações espaciais e temporais do cenário físico e químico e das comunidades fitoplanctônicas (algas e cianobactérias) baseados em suas características morfológicas, fisiológicas e funcionais em dois reservatórios eutrofizados do trópico semiárido do Estado da Paraíba, sob efeito de ações antropogênicas no corpo de água (piscicultura intensiva) e na bacia de drenagem.

## *HIPÓTESES E OBJETIVOS*

## **HIPÓTESES**

- O processo de eutrofização provoca dominância de cianobactérias nos reservatórios.
- A distribuição dos grupos funcionais fitoplanctônicos responde, temporal e espacialmente, à variação do volume de água acumulado nos açudes.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Avaliar as variações espaciais e temporais e as estratégias adaptativas da comunidade fitoplanctônica em função do cenário físico e químico e dos volumes de acumulação de dois reservatórios eutrofizados do Nordeste semiárido, do estado da Paraíba

### **Objetivos específicos**

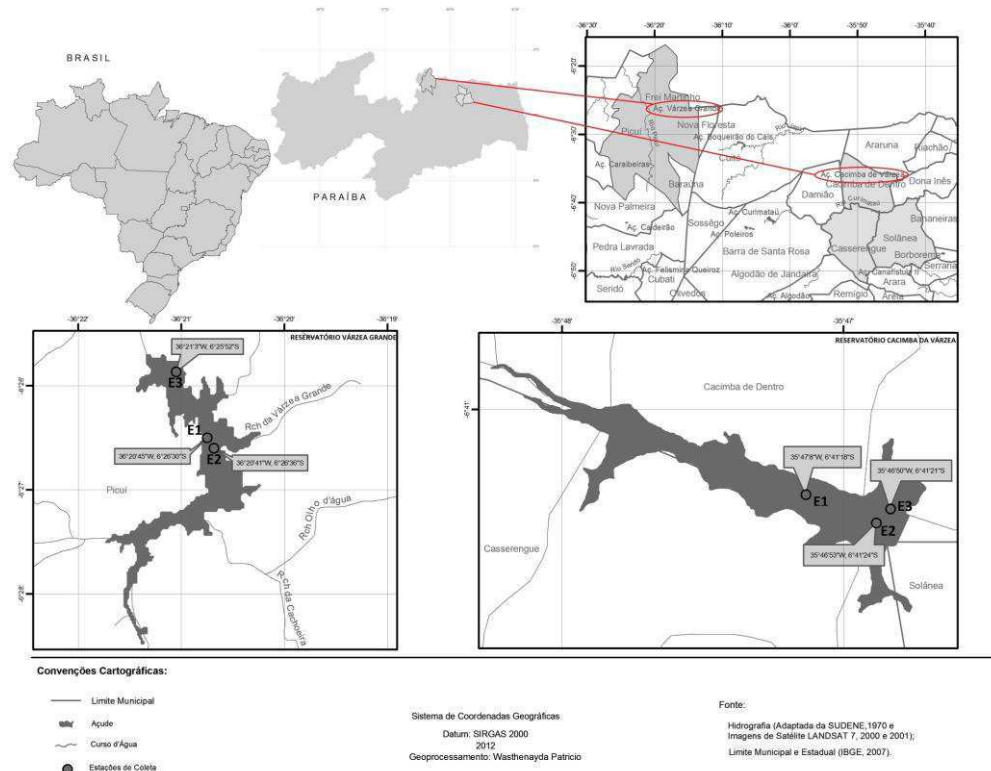
- ✓ Estudar a frequência das florações de cianobactérias nos reservatórios sob estudo e sua relação com as variações espaciais e sazonais das variáveis limnológicas
- ✓ Averiguar a ocorrência da produção eventual de cianotoxinas, em particular microcistina LR nesses mananciais e determinar sua concentração, associando-a a possíveis riscos à saúde pública.
- ✓ Identificar os grupos funcionais fitoplanctônicos, seus traços funcionais adaptativos e sua distribuição espacial nos dois reservatórios, tal como a aplicabilidade dos mesmos como indicadores das condições ambientais do ecossistema aquático.

## *MATERIAL E MÉTODOS*

## Localização e caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida nos açudes Cacimba de Várzea e Várzea Grande, localizados nos municípios de Cacimba de Dentro e Picuí, respectivamente, no estado da Paraíba (Mapa 1.1).

**Mapa 1.1:** Localização dos açudes Várzea Grande e Cacimba de Várzea, nos municípios de Picuí e Cacimba de Dentro, Paraíba



**Fonte:** AESA/João Pessoa. Técnica: Wasternayda Patricio Santos, 2012.

### Açude Cacimba da Várzea

O açude Cacimba da Várzea está situado entre as coordenadas  $6^{\circ}41'18,30''$  de latitude e longitude de  $35^{\circ}46'56,73''$ . Está localizado na bacia hidrográfica do rio Curimataú, a qual estende sua área de drenagem até o vizinho estado do Rio Grande do Norte sendo, portanto, uma bacia de domínio federal. Possui capacidade máxima de acumulação de  $9.264.321 \text{ m}^3$ . Apresenta bacia hidráulica de 102,79 hectares. Conforme a classificação de Köppen, o clima predominante na região é semiárido do tipo estepe, classificado como Bsw $h'$ , com temperatura média entre 22 e 26°C, em que os meses mais quentes são novembro a fevereiro e os mais frios de julho a agosto, com

precipitação média anual de 700 a 800mm, distribuídas entre os meses de fevereiro a agosto (PARAÍBA, 2006).

A umidade relativa do ar varia entre 55 e 75%, de acordo com a época do ano, observando-se que a umidade alcança os maiores valores nos meses mais chuvosos e nos meses de julho e agosto, quando a temperatura está menos quente. Apresenta índice de insolação médio de 8 horas diárias e velocidade média anual do vento em torno de 3,0 m/s. A evaporação na bacia varia entre 1.500 mm na zona do brejo e 2.500 mm na zona de transição para o Semiárido paraibano (PARAÍBA, 2006). Observa-se, nesta bacia, carência de informações hidroclimáticas.

Dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos informam que mais de 70% da área da bacia do rio Curimataú estão antropizados devido as atividades agropecuárias e desmatamento, com escassa mata ciliar ao redor dos corpos de água e pequenas manchas de preservação permanente. A maioria dos açudes está bastante assoreada e com sério risco de poluição crescente. Nesta bacia as águas superficiais e subterrâneas são de elevada salinidade, com sérias restrições ao consumo humano e animal. Embora a atividade de mineração seja bastante modesta (garimpagem eventual de minérios de rochas graníticas), ainda continua a exploração de rochas ornamentais (PARAÍBA, 2006).

### **Açude Várzea Grande**

Este açude, localizado no município de Picuí (6°25'42,5" de latitude e 36°21'19,2" de longitude), na sub-bacia do Seridó se destaca pela importância local, por ser tratar de um reservatório de abastecimento público. Possui uma bacia hidráulica de 342, 45 ha e capacidade máxima de armazenamento de 21.532.659,00 m<sup>3</sup>. Teve sua construção iniciada no ano de 1993 e concluída em 1995. Forma-se pelo represamento da água do rio Picuí, que é um afluente do rio Seridó, o principal rio da sub-bacia (PARAÍBA, 2006). Abastece o município de Picuí e, eventualmente Frei Martinho, com a distribuição de 1.056m<sup>3</sup> de água tratada por dia (IBGE, 2008).

O tipo de clima dominante é semiárido quente, classificado como BWwh', que indica um clima seco do tipo desértico, apresenta pluviometrias médias anuais entre 400 e 600 mm (medidas nos postos pluviométricos de Pedra Lavrada, Sossego e Picuí – AESA, 2011). A umidade relativa do ar apresenta baixos valores, com média anual de

49%. Observa-se que o mês mais úmido é fevereiro, quando a umidade máxima atinge 60%. O mês mais seco é outubro, com umidade mínima de 41%. A insolação média ao longo do ano alcança 8,7 horas/dia, considerando-se toda a sub-bacia. A velocidade média do vento alcança 1,8 m/s, com mínimo mensal de 1,0 m/s no mês de abril e máximo mensal de 2,5 m/s em outubro; a evaporação média anual atinge 3.000 mm (PARAÍBA, 2006).

### Estações de coleta e periodicidade das amostragens

As amostragens foram realizadas mensalmente, ao longo de 18 meses, de janeiro de 2008 até julho de 2009, abrangendo dois ciclos hidrológicos (dois períodos de chuva ou inverno e dois de seca ou de verão), coletadas no período entre 9 e 12 horas da manhã.

O estudo das variáveis físicos, químicos e biológicos nos dois reservatórios e sua variação sazonal e espacial, foi baseado em amostras coletadas em 3 estações de coleta (Tabela 1.1) e em três profundidades determinadas a partir da leitura visual do disco de Secchi (subsúperfície a 100%, 50% e 1% de incidência de luz). Para determinação da zona eufótica utilizou-se a profundidade do desaparecimento do disco de Secchi, multiplicando-se pelo fator 2,7 (COLE, 1983).

**Tabela 1.** Localização geográfica das estações de amostragem dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB)

Reservatório	Estação	Localização	Latitude	Longitude
Cacimba da Várzea	1	Entrada de tributários	6° 41' 18"	35° 47' 08"
	2	Próximo aos tanques	6° 41' 24"	35° 46' 53"
	3	Próximo à zona de barragem	6° 41' 21"	35° 46' 50"
Várzea Grande	1	Entrada de tributários	6° 26' 30"	36° 20' 45"
	2	Próximo aos tanques	6° 26' 36"	35° 20' 41"
	3	Próximo à zona de barragem	6° 25' 52"	36° 21' 03"

## Variáveis Analisadas

### Análise qualitativa do fitoplâncton

Para o estudo qualitativo do fitoplâncton as amostras foram coletadas com rede de plâncton (abertura de malha de 20 $\mu$ m) através de arraste horizontal e vertical, em cada estação de amostragem. Após coletadas as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de 500mL e preservadas com formol a 4%.

As amostras foram analisadas em microscópio binocular Olympus CBA, com objetivas de 10 e até 100x. Para a identificação dos gêneros das algas e das cianobactérias seguiram-se orientações de Bicudo e Menezes (2006). O sistema de classificação adotado para o nível de classe foi o de Van-den-Hoek et al. (1995).

### Análise quantitativa do fitoplâncton

Para a análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica as amostras foram coletadas com amostrador tipo van Dorn e fixadas com solução de formol (4%). A quantificação foi realizada conforme Utermöhl (1958) e o tempo de sedimentação, segundo Lund et. al., (1958), que definiu 4 horas para cada centímetro de altura da câmara. A contagem foi feita em microscópio invertido (Carl Zeiss) com aumento de até 40X e realizada em transectos horizontais e verticais. O número mínimo de campos contados em cada câmara de sedimentação dependeu da quantidade de material disponível na amostra. Foram contados, no mínimo, 100 indivíduos da espécie mais frequente.

### Crítérios para classificação das espécies

- 1. Descritores biológicos:** as espécies que totalizarem o biovolume relativo  $\geq 5\%$  e densidade total da ordem de 80%.
- 2. Espécies abundantes** (LOBO e LEIGHTON 1986): são as espécies cujas densidades médias superaram a densidade média total da amostra. A densidade



média é obtida dividindo-se o número total de indivíduos da amostra pelo número de espécies encontradas.

3. **Espécies dominantes** (LOBO e LEIGHTON 1986): são as espécies cuja densidade é  $> 50\%$  da densidade total da amostra.
4. **Hábito ou forma de vida:** unicelular flagelado (UF), colonial flagelado (CF), unicelular não flagelado (UNF), colonial não flagelado, inclusive cenóbios (CNF) e filamentosos (Fi).
5. **Frequência de ocorrência:** rara (R), comum (CM), constante (CT).
6. **Estrutura de tamanho e volume do fitoplâncton:** avaliados através dos valores da maior dimensão linear axial (MDL) e do volume celular (VC).

**MDL** (SIEBURTH, SMETACEK e LENZ, 1978)

**Classe 1:**  $< 10 \mu\text{m}$  (ultraplâncton)

**Classe 2:** entre 11 e  $20 \mu\text{m}$  (nanoplâncton)

**Classe 3:** entre 21 e  $50 \mu\text{m}$  (microplâncton)

**Classe 4:**  $> 50 \mu\text{m}$  (plâncton de rede)

**Volume celular:**

**Classe 1:**  $< 10^2 \mu\text{m}^3$

**Classe 2:** entre  $10^2$  e  $10^3 \mu\text{m}^3$

**Classe 3:** entre  $10^3$  e  $10^4 \mu\text{m}^3$

**Classe 4:**  $> 10^4 \mu\text{m}^3$

**Estratégias C-R-S** ( REYNOLDS 2006).

Conforme o critério usado (REYNOLDS, 2006) certas espécies nem sempre adotam estratégias exclusivamente C, R ou S, sendo que muitas delas apresentam características morfológicas e fisiológicas intermediárias a essas três; assim, foram realizadas adaptações sempre que necessário.

**Grupos funcionais** (REYNOLDS et al., 2002): a classificação das espécies foi realizada para todas as que contribuíram com, pelo menos, 5% do biovolume total.

### **Cálculo do Biovolume**

O biovolume ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ ) de cada espécie foi calculado a partir da análise do(s) sólido(s) geométrico(s) que mais se aproxima da forma celular, isolados ou combinados, segundo Sun e Liu (2003) e Hillebrand et. al., (1999) e a partir dos valores médios das medidas de 20 a 30 indivíduos, quando possível. O biovolume foi expresso em unidade de peso fresco, donde  $1 \text{ mm}^3 \text{L}^{-1} = 1 \text{ mg L}^{-1}$  (WETZEL e LIKENS, 2000) e estimado a partir dos valores de biovolume obtidos pela sua multiplicação pela densidade de cada táxon.

### **Teste Toxicológico**

Para determinação de cianotoxina na água dos reservatórios estudados, realizaram-se testes toxicológicos nos extratos algais liofilizados de cianobacterias.

### **Análise de cianotoxinas**

#### ❖ Procedimento no campo

Visando a coleta das florações algais e de cianobactérias utilizou-se rede de plâncton, com abertura de malha de  $20\mu\text{m}$  e se filtraram volumes de água conhecidos. As amostragens foram realizadas em todas as estações de coleta que apresentavam florações. Nessas amostras não foi adicionado tipo algum de fixador. O transporte até o laboratório foi realizado em recipientes dentro de caixas térmicas com gelo, visando melhor a preservação das amostras.

#### ❖ Procedimento no laboratório

As amostras foram concentradas em campo e liofilizadas no laboratório, até desidratação e submetidas à refrigeração/congelamento a  $-20^\circ\text{C}$ ; após este procedimento o material foi enviado ao Laboratório de Ecotoxicologia do Núcleo de Estudos em Ecossistemas Aquáticos da UNESP- Ilha Solteira, para identificação e quantificação de

microcistina LR, pela Técnica da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (MERILUOTO e SPOOF, 2005).

### Variáveis Físicas e Químicas

A coleta, o transporte, a preservação e as análises das amostras foram realizados segundo as recomendações descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). As metodologias utilizadas para mensuração das variáveis físicas e químicas estão descritas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Variáveis físicas e químicas e métodos utilizados para sua análise

VARIÁVEL	UNIDADE	MÉTODO	ANOTAÇÕES
Temperatura da água	°C	Eletrométrico	APHA (2005)
Transparência e Zona Eufótica	m	Disco de Secchi	COLE,1983
Condutividade elétrica	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Eletrométrico	APHA (2005).
Oxigênio Dissolvido	$\text{mg.L}^{-1}$	Titrimétrico	Winkler modificado (GOLTERMAN, 1978)
pH	-----	Potenciométrico	APHA (2005)
Alcalinidade total	$\text{mg.L}^{-1}$	Titulométrico	APHA (2005)
N-NH <sub>4</sub>	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotométrico do Indofenol	APHA (2005)
N-NO <sub>2</sub>	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotométrico Colorimétrico	APHA (2005)
N-NO <sub>3</sub>	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotométrico da Coluna de cádmio	APHA (2005)
Fósforo total	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotométrico do Ácido ascórbico	APHA (2005)
Fósforo Solúvel Reativo	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotométrico do Ácido ascórbico	APHA (2005)

### Variáveis Hidrológicas e Meteorológicas

Os dados de volume do reservatório e da precipitação pluviométrica foram

disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA)

### **Tratamento Estatístico dos dados**

Realizou-se a análise descritiva dos dados utilizando-se o Programa STATISTICA, versão 8.0, da Statsoft. Médias aritméticas e medianas foram utilizadas como medidas de tendência central e desvio padrão e o coeficiente de variação de Pearson, como medida de dispersão.

### **Análises multivariadas**

A análise das variáveis ambientais foi realizada com a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), com os dados transformados  $\text{Log}(x + 1)$ . Esta análise também foi realizada para as variáveis biológicas, incluindo-se espécies fitoplanctônicas, grupos funcionais e cianobactérias.

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi realizada a partir das principais variáveis ambientais e biológicas, evitando-se colinearidade. O programa utilizado foi o Canoco 4.5

## *REFERÊNCIAS*

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 2005.

ARFI, R.; BOUVY, M.; CECCHI, P. ; CORBIN, D. ; PAGANO, M. Environmental conditions and phytoplankton assemblages in two shallow reservoirs of Ivory Coast (West Africa). **Arch. Hydrobiol.** 156, 4, 511–534 Stuttgart, March 2003.

BARONE, R.; CASTELLI, G.; NASELLI-FLORES, L. Red sky at night cyanobacteria delight: the role of climate in structuring phytoplankton assemblage in a shallow, Mediterranean lake (Biviere di Gela, southeastern Sicily). *Hydrobiologia* 639:43–53, 2010.

BECKER, V.; CAPUTO, L.; ORDÓÑEZ, J.; MARCÉ, R.; ARMENGOL, J. ; CROSSETTI, L. O.; HUSZAR, V. L.M. Driving factors of the phytoplankton functional groups in a deep Mediterranean reservoir. **Water Research** 44, 3345 e 3354, 2010.

BICUDO, C. E. M. ; MENEZES, M. **Gêneros de algas continentais do Brasil. Chave para identificação e descrições**. 2.ed. São Carlos: Rima, 2006.

BORGES, P. A. F; TRAIN, S.; RODRIGUES, L. C. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical brazilian reservoirs. **Hydrobiologia**, v. 607, n. 1, p.63-74. 2008.

BRASIL, **Decreto nº 4.895 de 25 de novembro de 2003**. Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente do Brasil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2003.

BRASIL. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 mar. Seção 1. p. 266. 2004.

BRASIL. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União; Poder executivo, Brasília, DF, 14 dez. Seção 1, p.39-46, 2011.

CALIJURI, M. C.; SANTOS, A. C. A. D. ; JATI, S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP – Brazil). **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 7, p 617-634, 2002.

CAMPOS, J. N. B. Águas superficiais no semiárido brasileiro: Desafios ao atendimento aos usos múltiplos. **Recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas**. In: MEDEIROS, S. S. ; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Recursos hídricos

em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2011.440 p. : il,

CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, S. M. F. O; BENDATE, M. M. A. Fundamentos Biológicos e Ecológicos Relacionados as Cianobactérias. In: PÁDUA, V. L. **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, PROSAB, 504p, 2006.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. London: E & FN Spon, 1999, 416 p.

CODD, G. A. Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of control. **Ecological Engineering**. Amsterdam, v. 16, n. 1 p. 51-60, 2000.

COLE, G. **Textbook of limnology**. 3 ed. London: The C.V. Mosby Co. 436 p. 1983.

CUNHA D.G.F.; CALIJURI, M.C. Variação sazonal dos grupos funcionais fitoplânctônicos em braços de um reservatório tropical de usos múltiplos no estado de São Paulo (Brasil) **Acta Botanica Brasilica** 25(4): 822-831. 2011.

GEMELGO, M.C.P.; MUCCI, J.L.N.; NAVAS -PEREIRA, D. Population dynamics: seasonal variation of phytoplankton functional groups in brazilian reservoirs (Billings and Guarapiranga, São Paulo). **Brazilian Journal of Biology**, 69: 1001-1013, 2009.

GOLTERMAN, H.L., CLYNO, R.S; OHNSTAD, M.A.M. Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. IBP HANDBOOK, ed. Melbourne, Oxford London, nº 8, 215p. 1978

GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **Amer. Nat.** 111: 1169-1195. 1977.

GUO, L. ; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze river basin of China. **Aquacult.**, 226: 201-212. 2003.

HILLEBRAND, H.; DURSELEN, C. D. ; KIRSCHTEL, D.; POLLINGER, U. ; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. **J. Phycol.** v. 35, p. 403-424, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Disponível em: [www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm). Acesso em 15 de janeiro de 2012.

JOCHIMSEN, E.M.; CARMICHAEL, W.W.; AN, J.; CARDO, D.M.; COOKSON, S.T.; HOLMES, C.E.M.; ANTUNES, B.C.; MEIO FILHO, D.A.; LYRA, T.M.; BARRETO, V.S.T.; AZEVEDO, S.M.F.O.; JARVIS, W.R. Liver failure and death after

exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. **The New England Journal of Medicine** 338: 873-878,1998.

KIMMEL, B. L., O. T. LIND & L. J. PAULSON. Reservoir primary production. In: Thornton, K. W., B. L. Kimmel & F. E. Paine (eds), **Reservoir limnology: Ecological Perspectives**. John Wiley e Sons, New York: 133-193. 1990.

KRUK, C. ; MAZZEO, N.; LACEROT, G.; REYNOLDS, C. S. Classification schemes for phytoplankton: A local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. **Journal of Plankton Research**, London, v. 24, p. 901-912, 2002.

LOBO, E. ; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biologia Marina** 22(1): 1-29. 1986.

LUND, J.W.G.; KIPLING, C. e LE-CREN, D. The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimation by counting. **Hydrobiologia**, 11: 143-170. 1958

MARENGO, J. A.; ALVES, L.M. BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas**. In: MEDEIROS, S. S. ; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2011.440 p. : il,

MERILUOTO, J.; SPOOF, L., 2005. Solid phase extraction of microcystins in water samples. TOXIC European Project **Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxins Analysis**, Abo Akademi University, Finland, 2005.

MOLISANI, M.M.; BARROSO, H.S.; BECKER, H.; MOREIRA, M.O.P.; HIJO, C.A.G.; MONTE, T.M. ; VASCONCELLOS, G.H. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão Reservoir, CE, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia** 22(1): 1-12., 2010.

MORENO-OSTOS, ENRIQUE; CRUZ-PIZARRO, L. ; BASANTA, A.; GEORGE, D. G. The spatial distribution of different phytoplankton functional groups in a Mediterranean reservoir. **Aquat Ecol** 42:115–128, 2008.

MOURA, A.N., BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C., DANTAS, E.W., ARRUDA-NETO, J.D.T. Phytoplanktonic Associations: A Tool to Understand Dominance Events in a Tropical Brazilian Reservoir. **Acta Bot. Brasil.** 21(3), 641-648, 2007.

NABOUT, J.C; NOGUEIRA, I.S. Distribuição vertical da comunidade fitoplanctônica do lago dos Tigres (Goiás, Brasil). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 47-55, 2007.



NASELLI-FLORES, L.; BARONE, R. Water-level fluctuations in Mediterranean reservoirs: setting a dewatering threshold as a management tool to improve water quality. **Hydrobiologia**, 548:85–99. 2005.

PADISÁK, J.; BORICS, G.; FEHÉR, G.; GRIGORSZKY, I.; OLDAL, I.; SCHMIDT, A.; ZÁMBÓNÉ-DOMA, Z. Dominant species, functional assemblages and equilibrium phases in late summer phytoplankton assemblages in Hungarian small shallow lakes. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 157-168, 2003.

PADISÁK, J.; BORICS, G.; GRIGORSZKY, I.; CZKI-PINTE'R, E. S. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: The assemblage index. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 553, p. 1-14, 2006.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, 621:1–19, 2009.

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Governo do Estado da Paraíba. SECTMA/AESA. Brasília DF. 2006.

PARAÍBA. **Lei nº 741, de 12 de fevereiro de 2009**, que dispõe sobre a instituição do Programa de Arranjo Produtivo Local do Cultivo da Tilápia. Itaporanga, PB. 2009.

PIANKA, E. R. On r- and K-selection. **The American Naturalist** 104:592–597. 1970.

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

REYNOLDS, C.S. **Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton**. In: SANDGREN, C.D. (Ed.), Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge: 388-433. 1988.

\_\_\_\_\_. **Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory**. Excellence in Ecology, vol. 9. Ecology Institute, Oldendorf Lake, Germany. 1997.

\_\_\_\_\_. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? **Hydrobiologia** 369/370: 11–26, 1998.

\_\_\_\_\_.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of plankton Research**, 24, n. 5, 417-428, 2002.

\_\_\_\_\_. **Ecology of phytoplankton**. Cambridge University Press. Cambridge, 2006.

SIEBURTH, J.M.C.N.; SMETACEK, V.; LENZ, J. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions **Limnology and Oceanography**, 23:1256-1263. 1978.

SOUZA FILHO, F. A. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas**. In: MEDEIROS, S. S. ; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2011. 440 p. : il,  
SUN, J. ; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research** 25: 1331-1346. 2003.

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

TUNDISI, J. G. Distribuição espacial, sequência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. **Rev. Brasil. Biol.** 50 (4): 937-955, 1990.

TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M. C. ; E. M. L. NOVO, Comparative limnology of five reservoirs in the middle Tietê River, S. Paulo State. **Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie Verhandlugen** 24: 1489-1496. 1991.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. Mitt it Verein. Theor. Angew. **Limnol.** 9, pp 1-38, 1958.

VAN DEN HOEK, C., MANN, D. G.; JAHNS, H. M. **Algae**: an introduction to phycology. Cambridge University Press, Cambridge. 627 p. 1995.

WETZEL, R. G. ; LIKENS, G. **Limnological analyses**. 3 ed. Springer Verlag, New York. 420 p. 2000.

ZOHARY T. ; PADISA´K , J.; NASELLI-FLORES, L. Phytoplankton in the physical environment: beyond nutrients, at the end, there is some light. **Hydrobiologia**,639:261–269, 2010.

*CAPÍTULO 1*

## Dominância de cianobactérias em reservatórios rasos do semiárido brasileiro

### Resumo

O objetivo deste estudo foi conhecer a dinâmica das variáveis físicas e químicas, identificar os fatores que influenciam a dominância de cianobactérias e averiguar eventual produção de cianotoxinas, em particular microcistina LR, nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande (Paraíba, Brasil), localizados em duas regiões climáticas. As amostragens foram realizadas mensalmente com coletas, em três estações: E1 - entrada de tributários; E2 - próximo aos tanque redes e E3- próximo à zona de barragem. Os resultados revelaram que as chuvas ocorridas entre os meses de março a agosto/09 (máximas de 182,9 mm em abril/09) causaram o enchimento do reservatório Cacimba da Várzea provocando transbordamento nos meses de março, abril e julho de 2008 e desde abril até julho de 2009. Esses eventos ocasionaram efeitos significativos nas variáveis físicas e químicas da água, como a diminuição da transparência, que levou à redução da disponibilidade de luz e em consequência afetou a distribuição do fitoplâncton na coluna de água. Várzea Grande apresentou biovolume total de cianobactérias (máx 128,56 mm<sup>3</sup>.L) aproximadamente 10 vezes maior que o de Cacimba da Várzea (máx 10,15 mm<sup>3</sup>.L), sendo que os fatores físicos volume de acumulação de água (até o transbordamento) e disponibilidade de luz na coluna de água foram determinantes para a discrepância observada entre os dois ecossistemas, e para o predomínio de cianobactérias, que representaram >50% a 90% da biomassa fitoplanctônica durante praticamente todo o estudo, sobressaindo-se espécies filamentosas adaptadas à alta turbidez e às águas bem misturadas, condições inerentes aos reservatórios estudados. Os dois reservatórios proporcionaram as condições apropriadas à predominância de cianobactérias aptas a tais situações, como *Pseudoanabaena limnética* e *Planktothrix agardhii*, em maior concentração em Cacimba em Várzea Grande nas 3 estações de coleta. Foi observada presença de microcistina LR nos dois reservatórios. Em Cacimba da Várzea foi detectada a concentração de 11,54 µg.L em janeiro /2008 e em Várzea Grande atingiram valores mínimos de 2,36 µg.L (maio/2009) e máximos de 5,03 µg.L em junho/2009. Conclui-se que nos dois ambientes os níveis de acumulação de água e a limitação de luz na coluna de água foram os fatores que exerceram maior influência sobre a dinâmica fitoplanctônica nos reservatórios estudados, pois ambos apresentam concentrações elevadas de nutrientes.

**Palavras-chave:** Cianobactérias, Volume acumulado, Reservatório, Semiárido

## Dominance of cyanobacteria in shallow reservoirs of the Brazilian semi-arid regions

### Abstract

The objective of this work was to understand the dynamics of physical and chemical variables, and to identify factors that influence the dominance of cyanobacteria and determine the eventual production of cyanotoxins, particularly microcystin LR in Cacimba da Várzea and Várzea Grande (Paraíba, Brasil) reservoirs, located in two climatic regions. Monthly collections of samples were taken in three stations: E1- junction of tributary rivers, E2 - near pisciculture fish-cages and E3- and near the dam. The results showed that rainfall occurring between the months of March and August/09 (maximum of 182.9 mm in April/09) caused filling of the Cacimba da Várzea reservoir, causing flooding in the months of March, April and July of 2008 and from April to July 2009. These events caused significant effects on physical and chemical variables in the water, for example, a decrease in transparency, which led to a reduction of the available light and consequently affect the distribution of phytoplankton in the water column. Várzea Grande showed a total biovolume of cyanobacteria (max 128.56 mm<sup>3</sup>.L) approximately 10 times that of the Cacimba da Várzea (max 10.15 mm<sup>3</sup>.L), and the physical volume of water accumulation (to overflowing ) and light availability in the water column were crucial for the observed discrepancy between the two ecosystems, as well as the predominance of cyanobacteria. These accounted for >50% to 90% of the phytoplankton biomass during virtually the entire study, protruding filamentous species are adapted to high turbidity and well mixed water, conditions relating to the reservoirs studied. The two reservoirs produced appropriate conditions for the predominance of cyanobacteria adept to such situations like *Pseudanabaena limnetica* and *Planktothrix agardhii* in higher concentration in Cacimba in Várzea Grande at the 3 sampling stations. The presence of microcystin LR was observed in both of the reservoirs. In the Cacimba da Várzea a concentration of 11.54 µg.L was detected in January /2008 and in Várzea Grande minimum values of 2.36 µg.L (May/2009) were reached and a maximum of 5.03 µg.L in June / 2009. It is concluded that in both environments the levels of water accumulation and light limitation in the water column are factors that exert greater influence on phytoplankton dynamics in the reservoirs studied, because both have high concentrations of nutrients.

**Keywords:** Cyanobacteria, Volume accumulated Reservoir, Semi-arid

## Introdução

Nas regiões semiáridas os reservatórios de água apresentam comportamento hidrológico peculiar, com alta variabilidade nos volumes de água acumulada durante os meses de inverno ou de chuvas, com a precipitação pluviométrica concentrada em poucos meses do ano e com o período de seca ou de verão mais prolongados (FEIO, et. al., 2010). Além de sujeitos à ação de variáveis climatológicas como precipitação, vento e radiação solar, os reservatórios também são influenciados pelos mecanismos operacionais da barragem (condições de saída de água e tempo de residência) os quais, juntamente com a morfometria do corpo d'água, produzem diferenças na circulação vertical e horizontal do sistema ao longo de um gradiente espacial (compartimentação), tornando-os sistemas extremamente dinâmicos, com alta variabilidade temporal e espacial de suas características (TUNDISI, 1990).

Em consequência da falta de chuvas no verão, da elevada evapotransporação sob efeito das altas temperaturas e da morfologia dos açudes (pouco profundos) e das outorgas de água para atender às demandas da população maior ainda na estiagem, os reservatórios apresentam redução acentuada no volume da água armazenada (NASELI FLORES, 2003). Este comportamento conduz ao declínio progressivo e visível da profundidade da coluna de água que interfere na dinâmica dos nutrientes concentrados no fundo do corpo de água e dos exógenos, que chegam por poluição difusa, favorecendo a eutrofização (NASELI FLORES, 2003). O descréscimo do volume e a eutrofização rápida que segue, agem como perturbações catastróficas que afetam o funcionamento dos componentes bióticos (FERNÁNDEZ-ALÁEZ et. al., 1999; 2004) e o metabolismo do corpo aquático, como um todo. Lagos e reservatórios produtivos são caracterizados pelo aumento da biomassa e pela redução da diversidade fitoplanctônica, com predominância de alguns grupos algais e, principalmente, de cianobactérias.

Em ambientes aquáticos tropicais as diferenças térmicas sazonais são pequenas ou praticamente não existem e as chuvas e os ventos são fatores que contribuem para a homogeneização da coluna d'água ocasionando aumento dos nutrientes particulados em suspensão e redução da disponibilidade de luz, ao longo da profundidade (DANTAS et. al., 2008), condições que favorecem a prevalência de espécies ou grupos de organismos tolerantes a essas condições, como as cianobactérias, as quais são microrganismos procariontes que se originaram há mais de 3,5 bilhões de anos, adaptadas a diferentes

condições e perturbações ambientais (CEBALLOS, AZEVEDO e BENDANTE, 2006 citado por CHORUS; BARTRAM, 1999).

A presença de cianobactérias em ecossistemas aquáticos eutróficos se deve às suas estratégias adaptativas que conferem resistência às condições ambientais e físicas, como baixa disponibilidade luminosa (PADISÁK e REYNOLDS 1998); elevadas temperaturas e pH elevado (SHAPIRO, 1990); concentrações elevadas de nutrientes, especialmente fósforo (WATSON et al., 1997); baixos teores de NID (nitrogênio inorgânico dissolvido) (BLOMQUISTET et al., 1994) e baixa razão N/P (SMITH, 1983). Essas situações são prevalescentes em condições eutróficas, presentes nos reservatórios estudados e explicam a dominância desses organismos nos ditos ecossistemas.

O objetivo do presente estudo foi conhecer a dinâmica das variáveis físicas e químicas e identificar fatores que influenciam na dominância de cianobactérias em dois reservatórios rasos do Nordeste semiárido brasileiro.

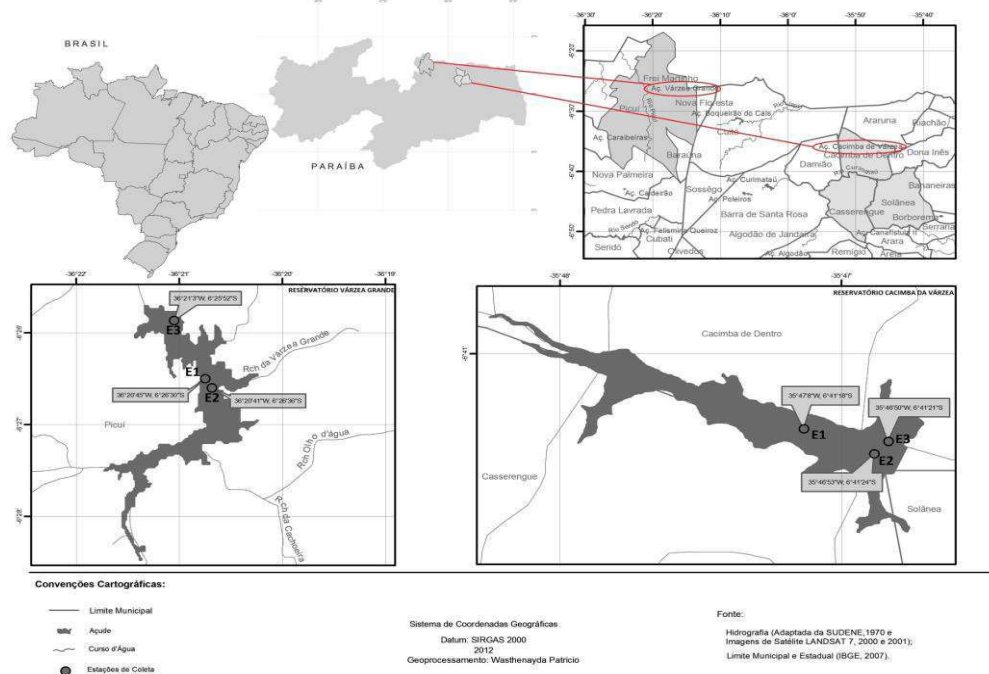
## **Material e Métodos**

Dois reservatórios do semiárido paraibano, foram estudados denominados Cacimba da Várzea e Várzea Grande (Mapa 1.1). Cacimba da Várzea está situado entre as coordenadas 6°41'18,30" de latitude sul e 35°46'56,73" de longitude oeste, com capacidade máxima de acumulação de 9.264.321 m<sup>3</sup>; é formado pelo barramento deste rio. Em geral, as águas superficiais e subterrâneas da região possuem elevada salinidade, com sérias restrições ao consumo humano e animal (PARAÍBA, 2006) e Várzea Grande é um reservatório de abastecimento localizado no município de Picuí (6°25'42,5" de latitude sul e 36°21'19,2" de longitude oeste). Possui capacidade máxima de armazenamento de 21.532.659,00 m<sup>3</sup>, é formado pelo represamento da água do rio Picuí, que é um afluente do rio Seridó, o principal rio da sub-bacia (PARAÍBA, 2006).

Os dois reservatórios apresentaram piscicultura intensiva em tanques rede. Em Várzea Grande as carências organizacionais dos pescadores prejudicaram as atividades de criação de peixes, assim como algumas falhas na assistência por parte dos gestores do projeto, ocasionando morte intensiva das tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e

a piscicultura não persistiu, encerrando-se em janeiro de 2009; já em Cacimba da Várzea a atividade permanece.

**Mapa 1.1** Localização dos reservatórios Cacimba da Várzea (município Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (município de Picuí, PB) e respectivos pontos de coleta



**Fonte:** AESA/2012

**Técnica:** Washenayda Patricio Santos

## Amostragens

Foram realizadas amostragens mensais em três estações de coleta em cada um dos açudes: E1 (entrada de tributário); E2 (próximo aos tanque-rede) e E3 (próximo à zona de barragem). As amostras foram coletadas nas zonas eufótica e afótica. Os dados de volume e precipitação foram disponibilizados pela AESA/PB.

As variáveis analisadas “in situ” foram Temperatura, pH e Condutividade elétrica através de termômetro, pHmetro e condutivímetro, respectivamente. As concentrações de oxigênio dissolvido foram obtidas através de Golterman et al. (1978). Os nutrientes fósforo total, fósforo reativo solúvel e nitrogênio total inorgânico, foram obtidos a partir dos métodos descritos em APHA (2005). O estado trófico do reservatório foi obtido utilizando-se o Índice Trófico de Carlson, modificado (TOLEDO Jr. et al., 1983). Para determinar a limitação de nutrientes utilizou-se a razão molar NID/PSR; quando  $NID/PSR < 13$ , o nitrogênio é limitante ao crescimento



fitoplanctônico; quando  $NID/PSR > 50$  o fósforo é limitante e quando  $13 < NID/PSR < 50$  não há limitação de nutrientes (MORRIS e LEWIS, 1988).

A transparência da água (m) foi medida pela profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi (COLE 1983). O coeficiente de atenuação vertical da luz (k) foi calculado através da equação descrita por Poole e Atkins (1929). A zona eufótica (Zeu) foi calculada empiricamente multiplicando-se o valor obtido pelo disco de Secchi (10% de incidência de luz) por 2,7 (COLE, 1983). A razão entre Zeu/ Zmix foi utilizada como índice de avaliação de disponibilidade de luz na camada de mistura (JENSEN et al., 1994).

A quantificação da comunidade fitoplanctônica foi realizada em microscópio invertido com aumento de 40X, usando-se o método de sedimentação de Utermöhl (1958). Os indivíduos foram enumerados em campos aleatórios e contados no mínimo 100 indivíduos da espécie mais frequente a fim de se obter maior nível de confiabilidade. Os resultados foram expressos em densidade (ind./mL) e calculados de acordo com a fórmula descrita por Ros (1979).

O biovolume de cada espécie foi calculado segundo Sun e Liu (2003) e Hillebrand et. al., (1999) e a partir dos valores médios das medidas de 20 a 30 indivíduos, quando possível.

### **Análises estatísticas**

A análise descritiva dos dados foi realizada através de médias aritméticas, sendo essas usadas como medidas de tendência central.

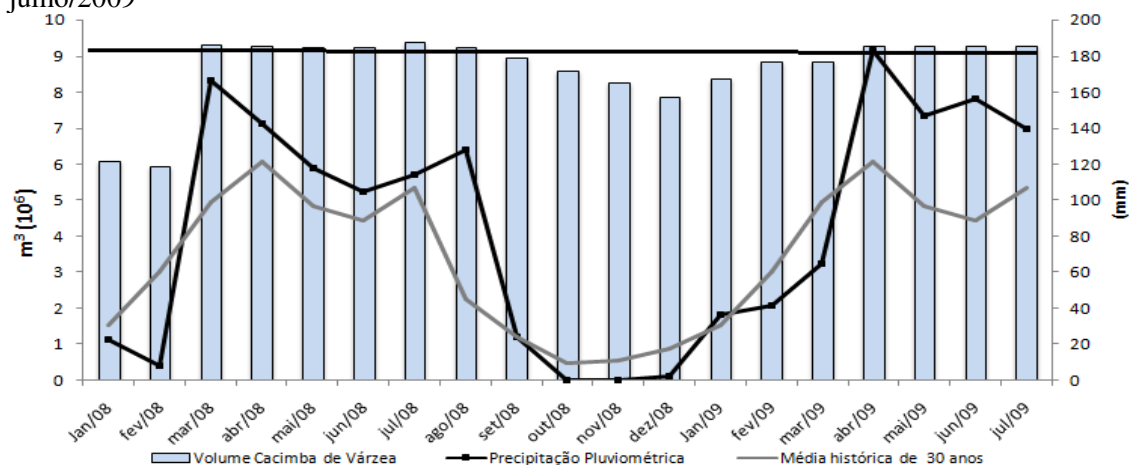
A análise descritiva multivariada das variáveis limnológicas foi realizada através da Análise de Componentes Principais (ACP) e as Análises de regressão múltipla foram realizadas para descrever as relações entre as concentrações de nutrientes (fósforo solúvel reativo, amônia e nitrato) coeficiente de atenuação da luz e biomassa algal.

Para isto, os dados foram transformados em logaritmo natural e lançados no software Statistica da StatSoft, versão 7.0, adotando-se valores de significância  $\alpha = 0,05$ .

## Resultados

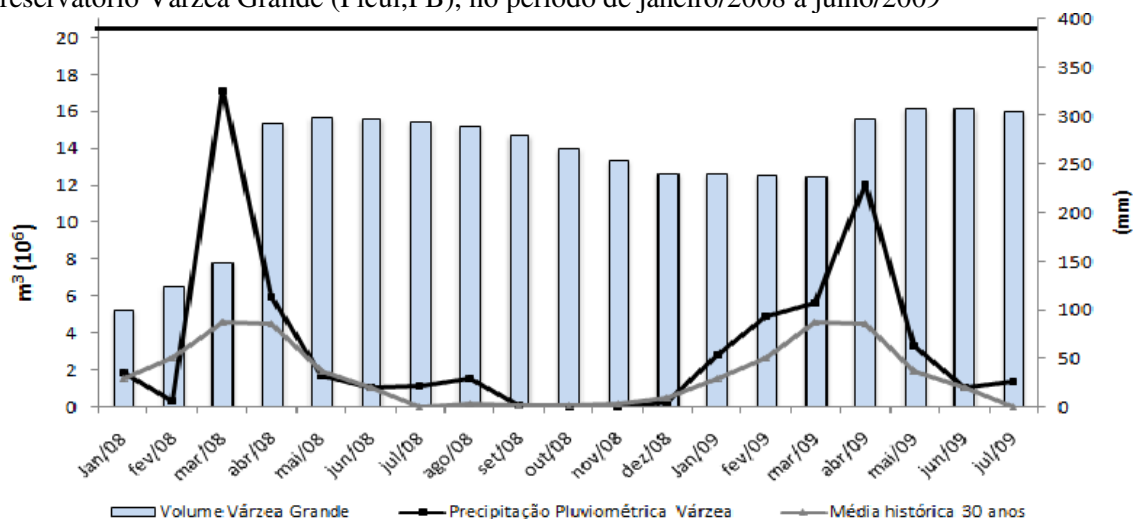
A precipitação pluviométrica variou consideravelmente em relação à sua distribuição e intensidade, durante o período de estudo, sendo mais intensas e duradouras em Cacimba da Várzea, apesar de picos registrados em Várzea Grande (março/08 (325 mm), abril/08 (113 mm), março/09 (107,70 mm) e maio/09 (228,9 mm) (Gráfico 1.2).

**Gráfico 1.1.** Volumes de acumulação, precipitação pluviométrica e média histórica da mesma, no reservatório Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) no período de janeiro/2008 a julho/2009



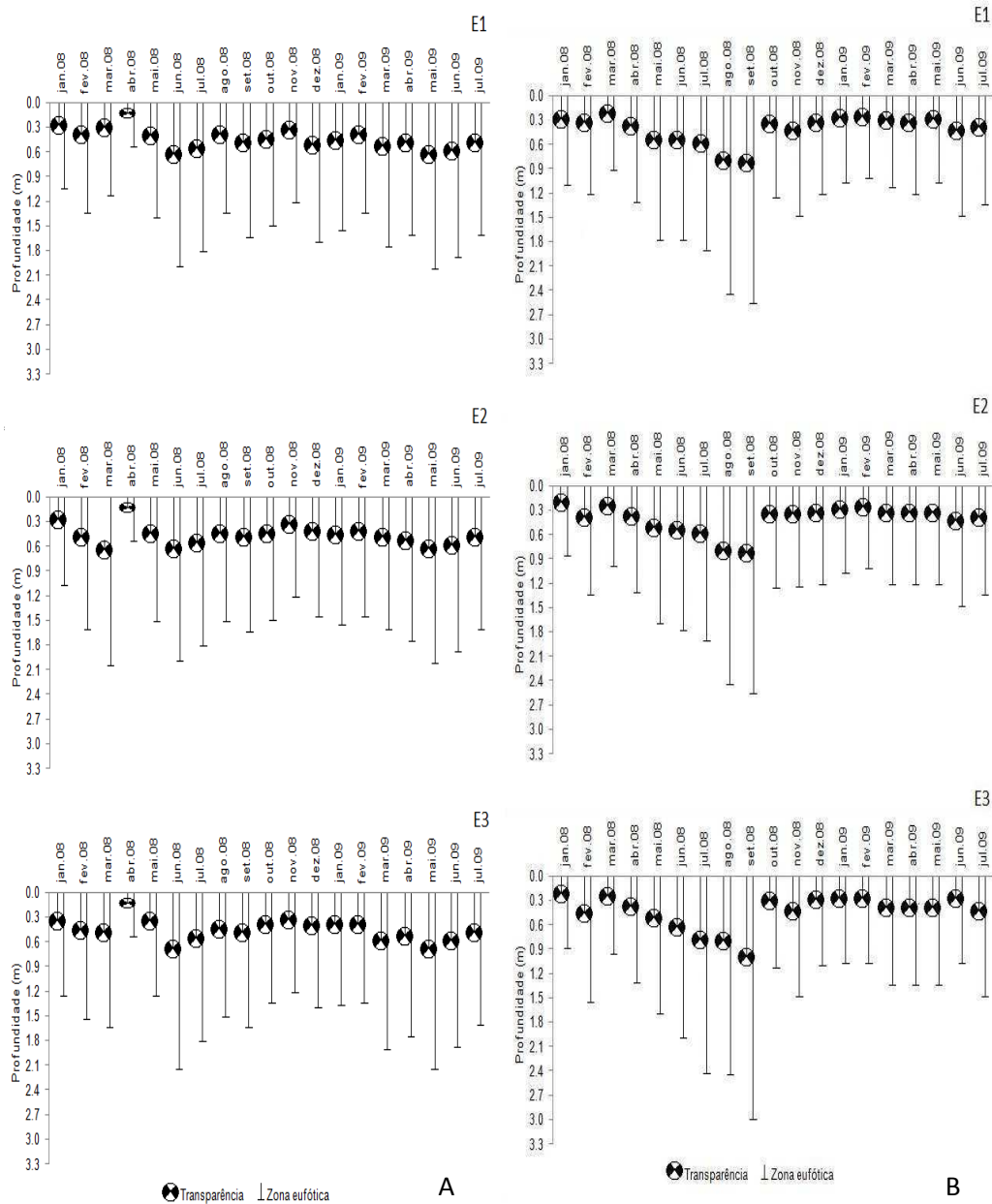
Em Cacimba da Várzea as chuvas entre os meses de março a julho de ambos os anos (máximas de 182,9 mm em abril/09) causaram enchimento do reservatório, provocando transbordamento da água nos meses de março, abril e julho de 2008 e desde abril até julho em 2009 (Gráfico 1.1). O maior volume refletiu no aumento da profundidade em todas as estações de coleta (máx 15,02m em E1) o que influenciou marcadamente na transparência, zona eufótica e na razão  $Z_{eu}/Z_{mis}$  (Tabela 1.1).

**Gráfico 1.2.** Volumes de acumulação, precipitação pluviométrica e sua média histórica, no reservatório Várzea Grande (Picuti,PB), no período de janeiro/2008 a julho/2009



Em ambos os reservatórios a transparência da água foi baixa, com valores extremos de 0,20m em abril/08, mês subsequente às chuvas de 166,5mm, aumentando com o passar dos dias após os eventos chuvosos, atingindo máximas 0,80m em Cacimba da Várzea e 1,11m em Várzea Grande (Gráfico 1.3) quando os reservatórios estavam mais cheios.

**Gráfico 1.3.** Valores de transparência (m) e Zona eufótica nos reservatórios Cacimba da Várzea (A) e Várzea Grande (B), nas três estações de coleta (E1, E2 e E3) no período de janeiro de 2008 a julho de 2009



Este comportamento está de acordo com o modelo de Guimarães (2006) para corpos aquáticos do semiárido que desenvolveu um modelo integrado quali-quantitativo de previsão de qualidade da água, com base em previsões hidrometeorológicas, no estado de conservação da bacia hidrográfica e na quantidade e qualidade da água do reservatório demonstrando que, quando os corpos aquáticos recebem grande aporte de materiais no início dos eventos de chuva, ao fim deste período, o sistema rapidamente recupera sua qualidade.

Destaca-se que, embora se recupere a qualidade observada através das medições de vários parâmetros, não ocorre um retorno total do corpo aquático ao seu estado inicial; fatores como assoreamento, nutrientes, extensão da coluna de água, entre outros, experimentam pequenas variações que se expressarão ao longo do tempo.

Em Cacimba da Várzea as chuvas ocorridas nos meses de março a agosto e de fevereiro até julho de 2009, exerceram influência sobre a transparência, sobremaneira no mês de abril de 2008 (Gráfico 1.2), mês subsequente às chuvas ocorridas em março, com a menor transparência (0,20 m) em todas as estações de coleta, refletindo as perturbações causadas pela contribuição do material alóctone trazido pelas primeiras chuvas através do escoamento superficial da bacia de drenagem.

Em Várzea Grande a transparência esteve mais elevada com valores mínimos de 0,32 m (E2 janeiro 2008) e máximos de 1,11m na E3 (setembro/08) período seco, em que se deve destacar que em Várzea Grande, embora tivesse comportamento temporal semelhante ao do outro município, a precipitação pluviométrica foi menor e ainda não se observaram eventos de transbordamento, contribuindo para o aumento da transparência da água.

A razão  $Z_{eu}/Z_{mis}$  foi reduzida em todas as estações de coleta dos dois reservatórios ( $Z_{eu}/Z_{mis} < 1$ ) durante todo o período de estudo, indicando que os mesmos podem ser considerados turvos, com forte limitação de luz para o fitoplâncton. Valores mínimos foram atingidos em Cacimba da Várzea no mês de abril /08, em todas as estações de coleta (E1 e E3= 0,04; E2 = 0,05) mês posterior às elevadas precipitações pluviométricas (166,5mm), as quais contribuíram com a atenuação vertical da luz ( $k$ ) ( $8,5 \text{ m}^{-1}$ ) e redução da profundidade da zona eufótica (0,54 m). Várzea Grande apresentou razão  $Z_{eu}/Z_{mis}$  levemente mais elevada, com valores mais altos próximos à entrada de tributários, em janeiro/08 ( $Z_{eu}/Z_{mis} = 0,27$ ) (Tabela 1.1 e Apêndices D e E).

**Tabela 1.1** Valores máximos, médios, mínimos e coeficiente de variação das variáveis físicas e químicas nos três pontos de coleta, dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro,PB) e Várzea Grande (Picuti,PB) no período de janeiro/2008 a julho/2009

	Cacimba da Várzea				Várzea Grande			
	Média (n=18)	Min.	Máx	C.V	Média	Min.	Máx	C.V
Transparência								
Secchi	0,57	0,20	0,80	4,33	0,54	0,32	1,11	2,99
Zeu	1,54	0,54	2,16	4,32	1,47	0,86	3,00	2,99
Zeu/Zmis	0,13	0,04	0,22	3,86	0,13	0,06	0,27	2,68
K <sub>o</sub> (m <sup>-1</sup> )	3,25	2,13	8,50	2,43	3,42	1,53	5,31	3,76
Profundidade (m)	12,55	7,43	15,02	6,49	12,02	4,05	17,90	3,40
Temperatura	27,36	24,87	29,50	24,5	26,38	23,00	28,40	19,2
Oxigênio dissolvido	7,66	2,79	13,25	3,55	7,42	2,30	12,80	5
pH	8,03	7,53	8,44	38,7	8,53	7,74	9,30	26,1
C.E	3095,71	2064,3	5323,3	1	1955,1	1337,0	3444,3	2
Ptotal	459,40	3	3	3,46	2	0	3	4,21
PRS	96,02	0,00	1269,1	1,13	583,34	78,13	3	1,70
NID	535,98	52,58	7	0,90	135,45	9,29	1139,9	1,37
NID/PID	11,67	0,01	2255,7	0,98	306,05	54,25	2	1,37
IET	65,88	36,42	0	5,92	70,39	42,17	88,99	6,09
Biomassa Total	1,29	0,10	10,15	0,73	38,81	0,08	128,56	1,17

**Legenda:** Zeu = zona eufótica; Zeu/Zmis = relação zona eufótica e zona de mistura; K<sub>o</sub> = Coeficiente de atenuação vertical da luz; C.E = condutividade elétrica; Ptotal = Fósforo total; PRS= Fósforo Reativo Solúvel; NID = Nitrogênio Inorgânico Dissolvido; NID/PID = Razão Nitrogênio Inorgânico Dissolvido e Fósforo Solúvel Reativo; IET = Índice do Estado Trófico

Nos dois reservatórios a temperatura da água foi elevada em todas as estações de coleta. Em Cacimba da Várzea foram registradas os valores de até 29,5°C na E1(maio/08) e na E3(abril/09). Em Várzea Grande o valor máximo ocorreu em maio/09 nas 3 estações (≈ 28,0 °C) (Tabela 1 e Apêndice E) após as chuvas deste mês atingirem 228,9 mm.

Os valores de pH foram elevados com máximo de 9,3 em junho/08 (E2- Várzea Grande) e 8,44 em Cacimba da Várzea no mesmo mês (E1) (Tabela 1).

A concentração do oxigênio dissolvido também foi elevada como produto da atividade fotossintética com valores máximos de sobressaturação de 13,25 mg/L na E3 (janeiro/09) em Cacimba da Várzea; entretanto, nas 3 estações ocorreu hipoxia em

fevereiro/08 (Tabela 1 e Apêndice D). Várzea Grande; apesar de também apresentar suas águas sobressaturadas, manteve-se levemente menos oxigenado do que Cacimba, com concentrações máximas de 12,80 mg/L nas três estações em agosto/08, no período considerado seco (Tabela 1 e Apêndice E).

A condutividade elétrica foi elevada nos dois açudes e associada à presença de rochas precambrianas do embasamento cristalino predominando águas cloretadas de sódio ou magnésio na região (LEPRUN, 1983). Na estiagem, Cacimba da Várzea atingiu valores máximos de 5.323  $\mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$  em março/08 (E1) e mínimos de 2.064  $\mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$  (E3 em maio/08) (Tabela 1.1 e Apêndice D) meses consecutivos de chuvas com intensidades de 166,50mm (março/08) e 117,50mm (maio/08). A redução desta variável evidencia claramente a influência das chuvas na variação temporal da qualidade da água armazenada.

Em Cacimba da Várzea o fósforo total se manteve elevado (máximas de 1269,17  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) na E2, correspondendo a até 40 vezes maior que as concentrações preconizadas pela resolução CONAMA 357/2005 (30  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) para as águas doces do território nacional de classe 2, com leve redução nos meses após transbordamento; Percebe-se, além disto, que as concentrações desse nutriente foram diminuindo com o passar dos meses da pesquisa, quando o açude se manteve com volume sempre elevado, sugerindo possível sedimentação do fósforo solúvel após combinação química; em Várzea Grande as concentrações máximas de P Total foram de 1170,83  $\mu\text{g}/\text{L}$  na E3-Tabela 1), e após as chuvas de 325mm, as concentrações permaneceram com médias de 583,34  $\mu\text{g}/\text{L}$

Em Cacimba da Várzea o fósforo reativo solúvel apresentou as maiores concentrações, de forma pontual (julho/08- 502,14  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) na E2, que foram menores valores em relação às de Várzea Grande (384,29  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) o que se deve ao fato de as águas deste reservatório apresentarem temperaturas mais elevadas, aumentando o metabolismo fitoplânctônico, assimilando-o rapidamente contribuindo, assim, com sua diminuição na água.

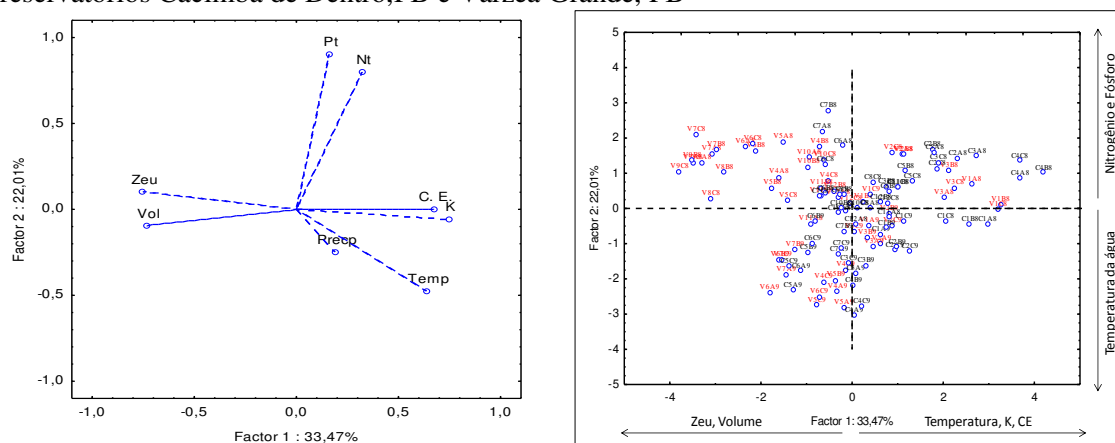
O IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr et al., (1983) mostrou condições eutróficas (IET >54) até hipereutróficas (IET >74) nas épocas secas, nos dois reservatórios, com eventuais condições transitórias de oligotrofia (IET < 44) em Cacimba da Várzea durante as chuvas (E1-jun/09) e em Várzea Grande (E3- maio/09) (Apêndice F).

As razões de NID/PSR demonstraram que ambos os reservatórios se mostraram limitados por nitrogênio (NID/PSR < 13) praticamente durante todo o período de estudo; Várzea Grande, apesar de apresentar máximos de até 123,73 de forma pontual no mês de Janeiro/08 (E1) (Tabela 1.1 e Apêndice D) apresentou-se mais continuamente (aproximadamente 17 meses dos 19 de pesquisa) limitado por nitrogênio do que Cacimba da Várzea, que teve máximos de 68,32  $\mu\text{g/L}$  –junho/08 – E3 (Tabela 1.1 e Apêndice D) e limitados 15 dos 19 meses do período amostral.

Com o objetivo de sintetizar os dados abióticos e evidenciar as diferenças entre os dois reservatórios estudados, realizou-se uma ordenação pela análise de componentes principais (ACP) que explicou 55,48% da variabilidade dos dados nos dois primeiros eixos de ordenação, sendo 33,47 % para o fator I e 22,01% para o fator II (Gráfico 3).

Para o fator I a temperatura da água, o coeficiente de atenuação de luz (K) e a condutividade elétrica, foram as variáveis de correlação no semieixo positivo; do lado negativo desse mesmo eixo, foram ordenadas as variáveis zona eufótica e o volume de água nos dois reservatórios, no momento da coleta, enquanto do lado positivo do eixo II, se agruparam as variáveis relacionadas aos maiores valores de nitrogênio total e fósforo total em Várzea Grande e em Cacimba da Várzea. Em relação ao semieixo negativo II, ordenaram-se as unidades amostrais relativas à temperatura da água.

**Gráfico 1.4** Ordenação pela ACP (eixos 1 e 2) das unidades amostrais em função das variáveis abióticas nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB



**LEGENDA:** Vol = volume; Zeu = zona eufótica; Pt = Fósforo total; Nt = NID = Nitrogênio Inorgânico Dissolvido; C.E = condutividade elétrica; K = Coeficiente de atenuação vertical da luz; Temp= Temperatura ; Precip= Precipitação

V=Várzea Grande, C=Cacimba, 1=janeiro, 2=fevereiro, 3=março, 4=abril, 5=maio, 6=junho, 7=julho, 8=agosto e/ou 2008, 9=setembro e/ou 2009, 10=outubro, 11=novembro, 12=dezembro; A=Estação1, B=Estação2, C=Estação3.



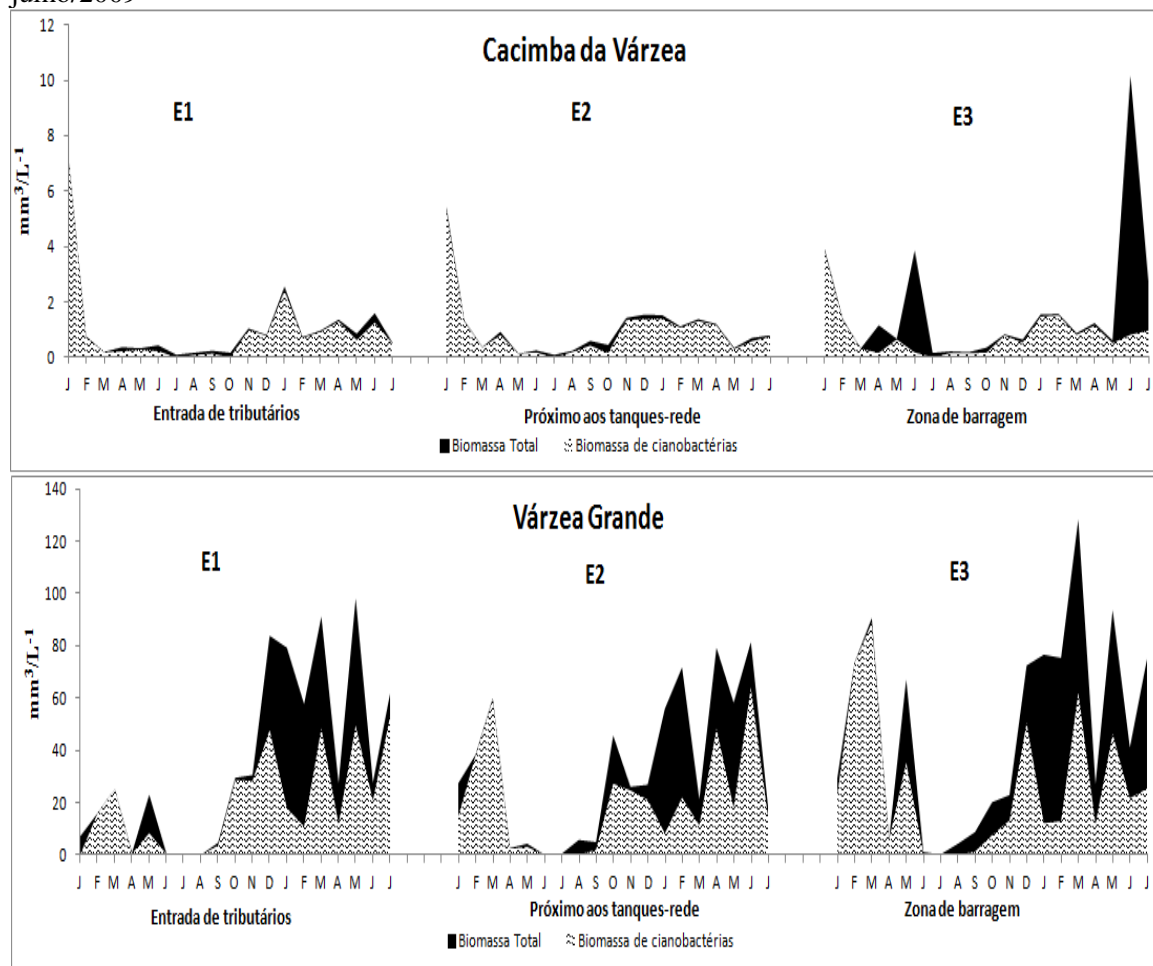
**Tabela 1.2.** Correlação das variáveis abióticas nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB, com os componentes principais I e II, nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009

Variáveis	Componentes Principais	
	Eixo 1	Eixo 2
K	<b>0,7447</b>	-0,0584
Zeü	<b>-0,752</b>	0,1021
Temperatura	<b>0,6374</b>	<b>-0,4747</b>
Condutividade elétrica	<b>0,6728</b>	0,0003
Pt	0,1594	<b>0,9014</b>
NID	0,3196	<b>0,7993</b>
Volume	<b>-0,7314</b>	-0,0963
Precipitação	0,1898	-0,2471

A partir da análise desses dados, percebe-se que nos reservatórios estudados os fatores mais influentes no desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica foram os volumes de água acumulada e seus efeitos hidrodinâmicos sobre o fitoplâncton e não necessariamente as concentrações de nutrientes disponíveis.

A comunidade fitoplactonica dos reservatórios esteve composta por 6 classes fitoplantônicas (Cianobactérias, Euglenophyceae, Baccillariophyceae, Zygnemaphyceae e Chlorophyceae) com destaque para a Cianobactéria, que se manteve predominante neste açude com 72,35 % da biomassa total, destacando-se as espécies *Planktothrix agardhii* (29,86%), *Pseudanabaena limnética* (22,78%) e *Cylindrospermopsis raciborskii* (17,06%) (Gráfico 1.5). Em Várzea Grande 98,48% da biomassa total foiram representados pelas cianobactérias *Oscillatoria sp* (35,92%), *Geitlherinema sp* (34,33%) e *Pseudoanabaena limnética* (16,21%).

**Gráfico 1.5.** Biomassa total e de cianobactérias nos três pontos de coleta (E1: Entrada de tributários, E2: Próximo aos tanques-rede e E3: zona de barragem, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB), no período de janeiro/2008 a julho/2009

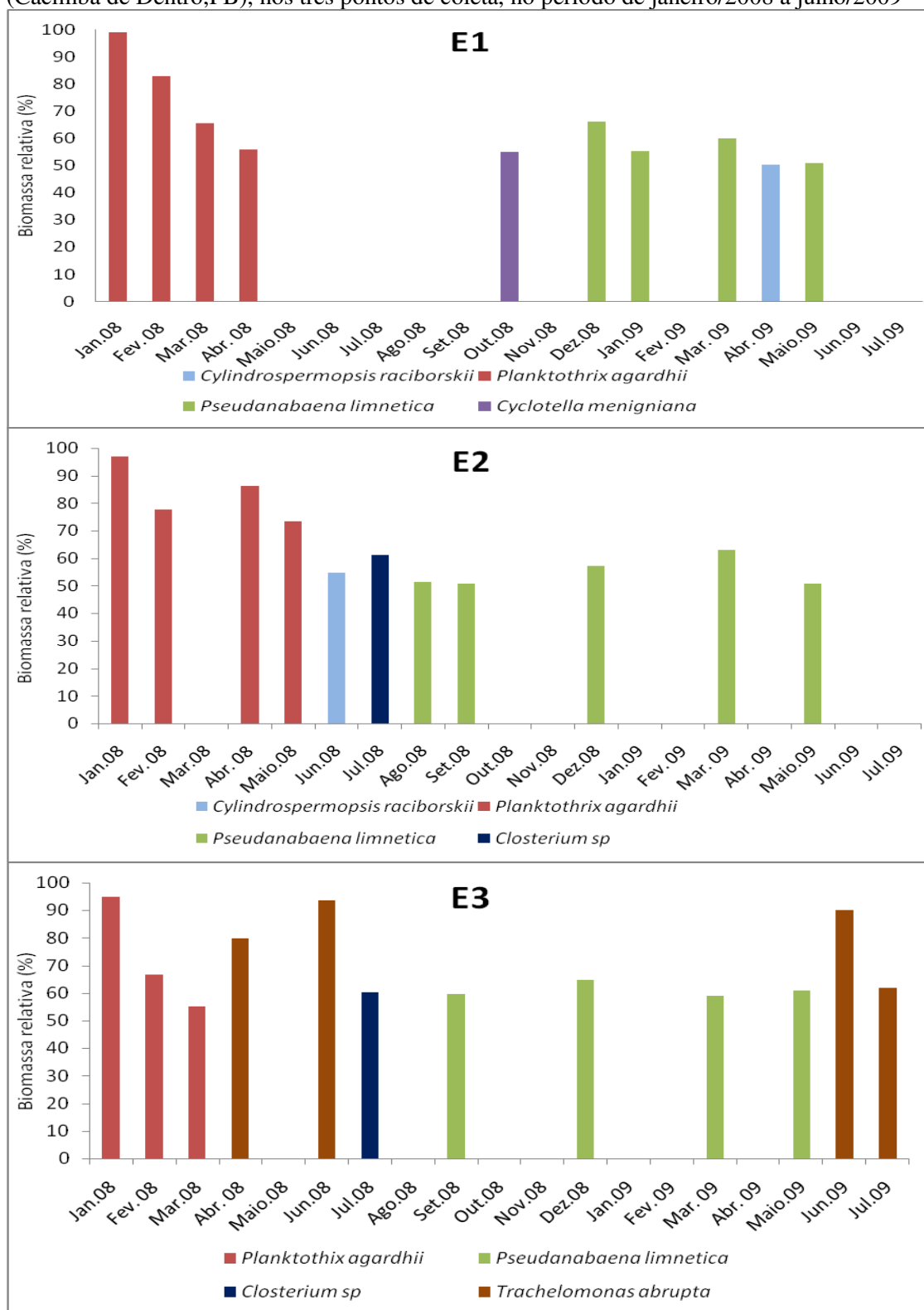


A biomassa total variou consideravelmente nos reservatórios, pois Várzea Grande apresentou biovolume total (máx 128,56  $\text{mm}^3/\text{L}$ ) aproximadamente 10 vezes maior que Cacimba da Várzea (máx 10,15  $\text{mm}^3/\text{L}$ ) (Gráfico 1.4). Em Cacimba da Várzea os maiores valores de biomassa total foram identificados na E3 junho/09 (Gráfico 1.5) mês com evento de transbordamento demonstrando a afinidade das espécies ali presentes com condições hidrodinâmicas mais intensas. As cianobactérias apresentaram maior biomassa no mês de janeiro/08 (E1) mês sem transbordamento e com água com elevada temperatura ( $>27^\circ\text{C}$ ) e pH ( $>8$ ). Várzea Grande apresentou maior biomassa total e de cianobactérias em meses que sucederam condições de menores volumes de água acumulados (março/08-36,4% do volume de acumulação e março/09-58%)

Em Cacimba da Várzea *Planktothrix agardhii* esteve dominando em janeiro (> 90% da biomassa total mensal) e fevereiro/08 (>60 a 80%) em todas as estações bem como nos meses de março, abril e maio/08 (E1 e E2) (Gráfico 1.6) em que a transparência foi mais baixa, com mínimos de 0,20 m (abril/08), menores relações de zeuf:zms (0,04), temperaturas elevadas (até 29,0 °C) e chuvas que alcançaram até 142,40mm. Também se evidenciou dominância *Pseudoanabaena limnética* (> 50% da densidade mensal), presente nos meses de dezembro/08, março e maio/09 com contribuições superiores a 52 % da biomassa total mensal, em todas as estações de amostragem. Percentuais próximos a esses foram observados em outros meses, na entrada dos tributários (janeiro/09), próximo aos tanques-rede (agosto e setembro/08) e na zona da barragem (setembro/08) (Gráfico 1.6). *Cylindrospermopsis raciborskii* foi detectada de forma pontual, apenas em junho/08 (E2) e abril/09 (E1), período de elevadas temperaturas (29,23°C –E1) pH (>8) e reduzida transparência (0,60m), condições que beneficiam esta cianobactéria.

De abril/08 (apenas na E3) a outubro/08, percebe-se substituição das cianobactérias por diatomáceas (*Cyclotella meneghiniana* – E1-out/08) clorofíceas (*Closterium sp* -E2 e E3 em julho/08) euglenofíceas (*Trachelomonas abrupta*) retratando a adaptação dessas espécies às condições hidrodinâmicas mais intensas, pois nesses períodos o reservatório apresentou eventos de transbordamento e chuvas marcantes, que desfavorecem as cianobactérias.

**Gráfico 1.6.** Biomassa relativa (%) das espécies dominantes do reservatório Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB), nos três pontos de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009



Em Várzea Grande as condições de ausência de eventos e transbordamento proporcionaram maior estabilidade na coluna d'água que, aliada a outros fatores, contemplaram a predominância de cianobactérias durante praticamente todo o período de estudo; *Oscillatoria sp* (janeiro/09 e fevereiro), *Pseudoanabaena limnética* (fevereiro, março, abril e junho/08) e *Geitlerinema sp* (novembro e dezembro de 2008) se sobressairam nas 3 estações de coleta, embora estivessem presentes em outros meses. Foi identificada ainda a *Aphanizomenon sp*, em forma pontual (maio/08 – E1 e outubro/08- E3) (Gráfico 1.7). Entre os meses de julho e setembro/08 verificou-se a substituição da cianobactéria *Pseudoanabaena limnética* pela diatomácea *Aulacoseira granulata*, favorecida por menores temperaturas da água (entre 23 e 26 °C) registradas neste período.

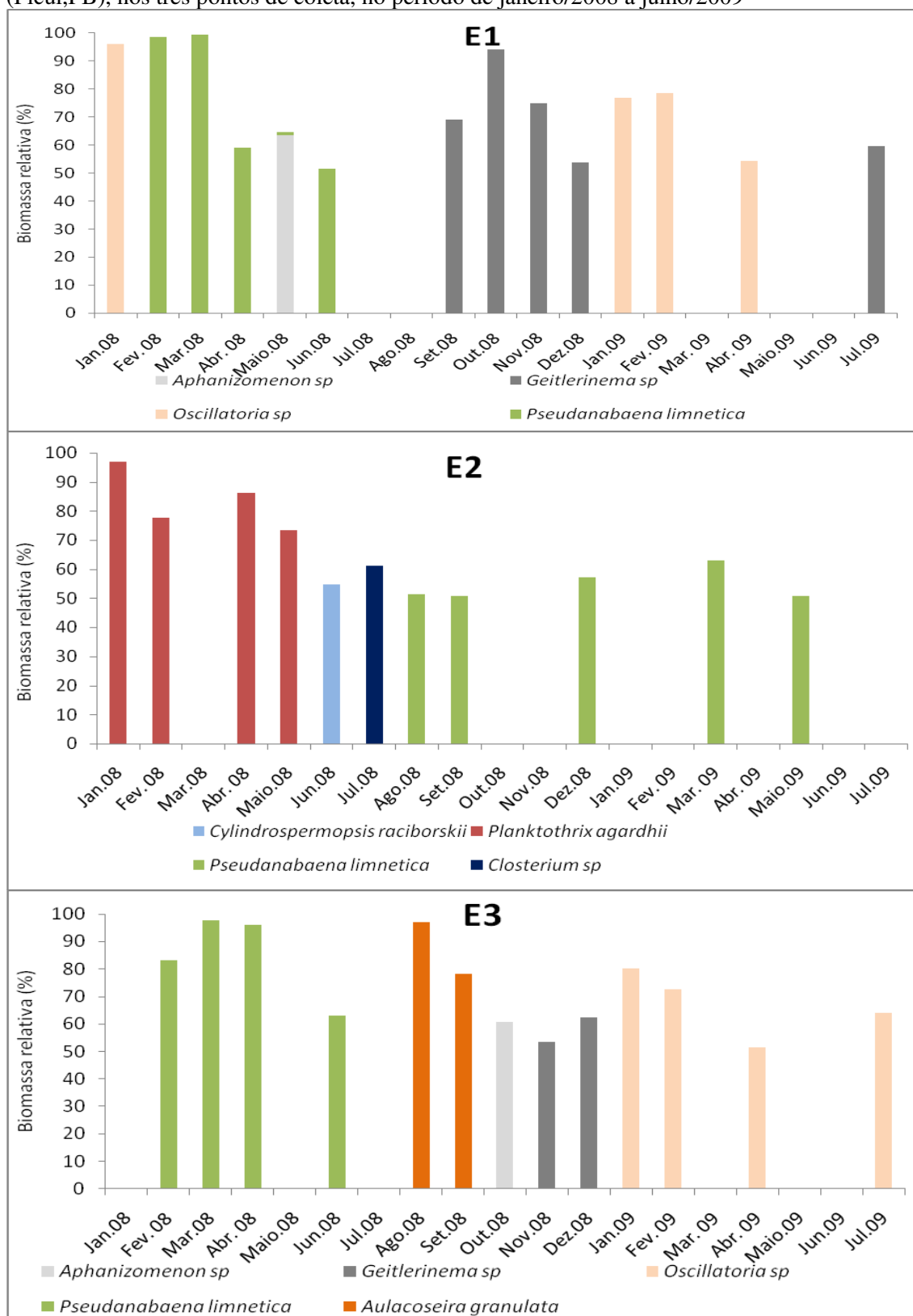
**Tabela 1.3.** Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as espécies de cianobactérias dominantes, algas, concentração de microcistinas LR e variáveis abióticas do reservatório Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro/PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009

	Prec	Vol	Z <sub>eu</sub>	ko	Temp	TP	TN	Microcistina
Biomassa Total	-	<u>S***</u>	-	-	-	-	-	-
Cianobactérias	S*	<u>S***</u>	-	-	S*	-	<u>S**</u>	-
Algas	-	-	-	-	-	-	-	-
Microcistina	S**	<u>S***</u>	-	-	-	-	S*	ns
CR	-	-	-	-	S**	-	-	-
CMG	-	-	-	-	<u>S**</u>	-	-	-
CSP	<u>S*</u>	-	-	-	<u>S***</u>	-	-	-
TA	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	S***	<u>S***</u>	-	-	-	-	-	-
PL	<u>S*</u>	S*	-	-	S**	ns	<u>S**</u>	ns

**LEGENDA:** Prec= precipitação; Vol.=volume; Z<sub>eu</sub>=Zona eufótica; K<sub>O</sub>= Coeficiente de atenuação vertical da luz; Temp.= Temperatura; TN = nitrogênio total inorgânico; TP= fósforo total; S=significativo (\* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001); ns = não significativo (p> 0.10); - = ausente; sublinhado= relação negativa significativa; não sublinhado= relação positiva significativa; CR=*Cylindrospermopsis raciborskii*; CMG= *Cyclotella menegheniana*; CSP= *Closterium sp*; PA=*Planktothrix agardhii*; PL=*Pseudanabaena limnetica*; TA= *Trachelomonas abrupta*

As variáveis limnológicas que mais influenciaram a diversidade das cianobactérias em Cacimba da Várzea, foram: volume de acumulação, precipitação pluviométrica, temperatura e nitrogênio total inorgânico e em Várzea Grande (R<sup>2</sup> = 0,73, p<0,05) temperatura, Ptotal e precipitação pluviométrica. Os resultados evidenciam a importância dos níveis de água acumulados no corpo hídrico, tal como da temperatura e dos nutrientes nitrogenados e fosfatados para o crescimento fitoplanctônico, favorecendo especialmente as cianobactérias (Tabela 1.3).

**Gráfico 1.7** Biomassa relativa (%) das espécies dominantes do reservatório Várzea Grande (Picuí,PB), nos três pontos de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009



**Tabela 1.4.** Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as espécies de cianobactérias dominantes, algas, concentração de microcistinas LR e as variáveis abióticas encontradas no reservatório Várzea Grande (Picuí,PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009

	Prec	Vol	Z <sub>eu</sub>	ko	Temp	TP	TN	Microcistina
Biomassa Total	<u>S**</u>	-	-	-	S***	<u>S**</u>	-	-
Cianobactérias	<u>S**</u>	-	-	-	S***	<u>S**</u>	-	-
Outras algas	-	-	S***	S**	-	-	-	-
Microcistina	-	-	-	-	S*	<u>S**</u>	-	-
AG	-	-	S***	S**	-	-	-	-
ASP	<u>S***</u>	S***	-	-	S**	-	-	-
GSP	<u>S***</u>	S**	-	-	S***	<u>S*</u>	-	-
PL	-	<u>S***</u>	-	-	-	-	-	-
OSP	-	-	-	S*	S*	<u>S***</u>	S*	-

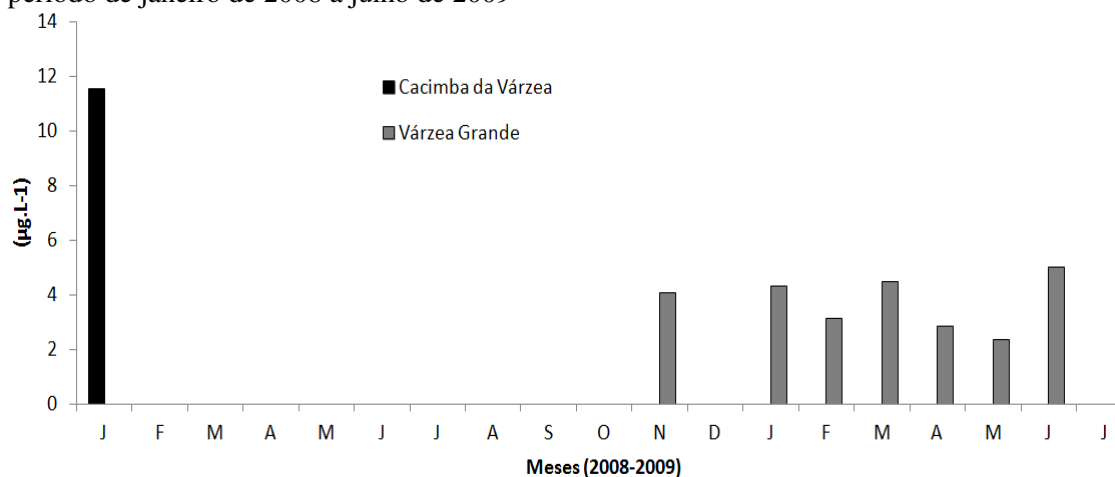
Prec= precipitação; Vol.=volume; Z<sub>eu</sub>=Zona eufótica; K<sub>O</sub>= Coeficiente de atenuação vertical da luz; Temp.= Temperatura; TN = nitrogênio total inorgânico; TP= fósforo total; S=significativo (\* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001); ns = não significativo (p> 0.10); - = ausente; sublinhado= relação negativa significativa, não sublinhado= relação positiva significativa; AG= *Aulacoseira granulata*; ASP= *Aphanizomenon sp*; GSP= *Geitlerinema sp*; PL=*Pseudanabaena limnetica*; OSP= *Oscillatoria sp*

Observou-se presença de microcistina LR nos dois reservatórios. Em Cacimba da Várzea foi detectada a concentração de 11,54 µg.L em janeiro /2008 (Gráfico 1.8), mês no qual *Planktothrix agardhii* foi dominante (94%) (Gráfico 1.6); nos meses restantes o fitoplâncton coletado não foi suficiente para fazer as análises.

Em Várzea Grande os teores de microcistina LR atingiram valores mínimos de 2,36 µg.L (maio/2009) e máximos de 5,03 µg.L em junho/2009) (Gráfico 1.8); no ano de 2009 esta cianotoxina esteve presente em praticamente todos os meses de amostragem.

Considerando que Várzea Grande é destinado ao abastecimento humano, as concentrações de microcistinas detectadas representariam sérios riscos à saúde pública se não fossem eliminadas durante o tratamento de potabilização; considerando-se que neste ambiente há peixes usados para consumo humano, é importante verificar suas possibilidades de bioacumulação de cianotoxinas.

**Gráfico 1.8.** Concentrações de microcistinas LR ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) determinadas nos reservatórios nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009



A análise dos componentes principais (ACP) em relação às espécies dominantes nos dois reservatórios, explicou 38,67% da variabilidade dos dados nos dois primeiros eixos de ordenação (Tabela 5) sendo 25,42 % para o fator I e 13,25% para o fator II (Gráfico 8).

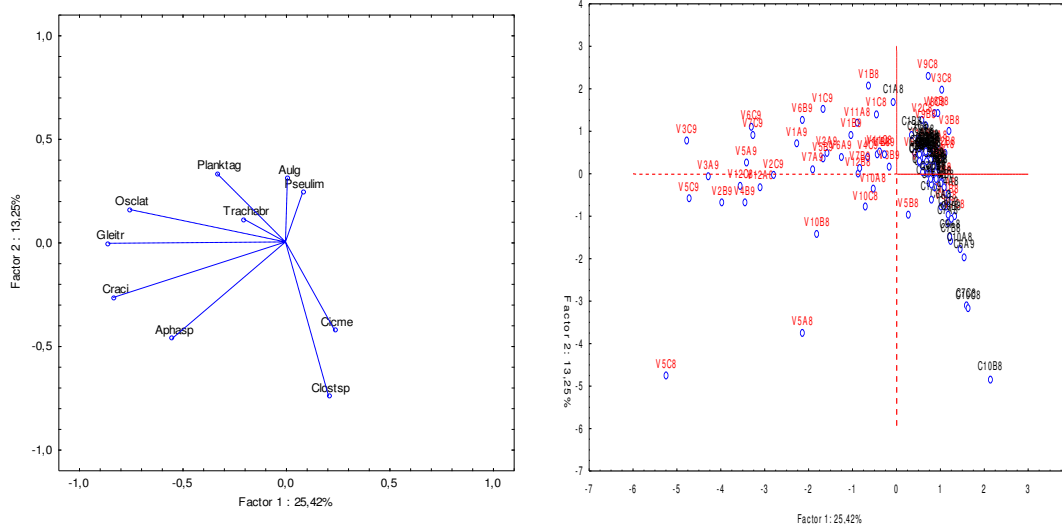
Para o fator I, no semieixo positivo foram reunidas as espécies *Cyclotella menegheniana* e *Closterium* sp, associadas às menores temperaturas da água, precipitações pluviométricas, k e CE.

Do lado negativo do eixo I ordenaram-se as espécies *Aphanizomenom* sp., *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Geitlerinema* sp, associadas aos meses com maiores volumes de água acumulada e com as elevadas temperaturas que favoreceram essas espécies; já do lado positivo do eixo II se agregaram *Aulacoseira granulata* e *Pseudanabaena limnetica* sob condições de menores concentrações de NID e P total, mas ainda elevadas, beneficiando essas espécies que têm afinidade por águas eutróficas.

No lado negativo do eixo II se agruparam *Planktothrix agardhii*, *Trachelomonas abrupta*, *Oscillatoria* sp, *Geitlerinema* sp, associadas aos meses de menor eutrofização e com volumes mais baixos de água acumulada, confirmando a afinidade dessas espécies por condições de águas misturadas e túrbidas.



**Gráfico 1.9.** Ordenação pela ACP (eixos 1 e 2) em função das espécies dominantes nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB



**LEGENDA:** V=Várzea Grande, C=Cacimba, 1=janeiro, 2=fevereiro, 3=março, 4=abril, 5=maio, 6=junho, 7=julho, 8=agosto e/ou 2008, 9=setembro e/ou 2009, 10=outubro, 11=novembro, 12=dezembro; A=Estação1, B=Estação2, C=Estação3

**Tabela 1.5.** Correlações de espécies dominantes nos reservatórios Cacimba de Dentro, PB e Várzea Grande, PB, com os componentes principais I e II, nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009

Espécies	Componentes Principais	
	Eixo 1	Eixo 2
<i>Aulacoseira granulata</i> (Alaug)	0,0092	0,30814
<i>Cyclotella menegheniana</i> (Ciclome)	0,2382	<b>-0,4281</b>
<i>Oscillatoria</i> sp (Oscisp)	<b>-0,7513</b>	0,1562
<i>Aphanizomenom</i> sp (Aphasp)	<b>-0,5471</b>	<b>-0,4661</b>
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Craci)	<b>-0,8315</b>	-0,2677
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Pseulim)	0,0829	0,2381
<i>Geitlerinema</i> sp (Geithsp)	<b>-0,8546</b>	-0,0066
<i>Planktothrix agardhii</i> (Planktag)	-0,3307	0,3302
<i>Closterium</i> sp (Clotsp)	0,2084	-0,7454
<i>Trachelomonas abrupta</i> (Trachabr)	-0,1997	0,1098
<b>Total %</b>	<b>25,42</b>	<b>13,25</b>

Com a análise das 2 Componentes Principais constatou-se que as espécies que dominaram nos reservatórios são aquelas que apresentam afinidade por ambientes turbidos e misturados e, desta forma, os fatores hidráulicos presentes nos reservatórios foram os principais determinantes da composição fitoplanctônica.

## Discussão

As características físicas e químicas da água, os fatores climatológicos de cada região e os volumes de acumulação de água armazenadas nos ecossistemas lênticos aqui analisados, influenciaram as comunidades aquáticas na sua diversidade, densidade e distribuição. A biomassa fitoplanctônica nos dois reservatórios esteve relacionada principalmente aos volumes de acumulação de água no momento da coleta.

As maiores intensidades e duração das chuvas na bacia do Curimataú, na qual se situa o reservatório Cacimba da Várzea, causaram efeitos significativos nas variáveis físicas e químicas da água como, por exemplo, a diminuição da transparência, a qual levou à redução da disponibilidade de luz na coluna de água e, em consequência, afetou a distribuição do fitoplâncton nas diferentes profundidades. Os altos valores de condutividade elétrica, embora tenham diminuído no período de chuvas, com a maior acumulação de água, ainda assim se mantiveram elevados durante todo o período de amostragem. Bouvy et. al., (2000) constataram ao desenvolverem pesquisas em 39 açudes do semiárido pernambucano, condutividade elétrica elevada, ou seja, 50% desses açudes atingiram valores superiores a  $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}^3$  e apenas dois apresentaram valores menores que  $300 \mu\text{S}/\text{cm}^3$

Essas condições, aliadas aos eventos de transbordamento, ocorridos nos meses de março, abril e julho de 2008 e abril, maio, junho e julho de 2009, podem ser a causa principal da reduzida biomassa ( $\text{máx } 10,15 \text{ mm}^3.\text{L}$ ) verificada neste ecossistema. Em Várzea Grande a biomassa total foi mais elevada que em Cacimba da Várzea devido à ausência de transbordamento e à maior concentração de nutrientes dissolvidos como o PRS, assim como à maior penetração de energia luminosa ( $Z_{eu}/Z_{ms}$  levemente mais elevada) e maior transparência, que favoreceu o desenvolvimento do fitoplâncton, com predominância das cianobactérias. Relatos de florações de cianobactérias têm sido frequentes em reservatórios do nordeste do Brasil (BOUVY et al., 2000; CHELLAPPA; COSTA, 2003; DANTAS et al., 2011; MOURA et al., 2011; BITTENCOURT-OLIVEIRA, et al., 2012)

Estudos têm procurado a causa do sucesso das cianobactérias em ambientes tão diversos como quanto aqueles que elas podem colonizar. Dokulil; Teubner (2000) analisando as causas da dominância de Cyanobacteria em lagos rasos e misturados, profundos e estratificados de regiões temperadas e subtropicais, consideram que sua

ocorrência é devida a sua versatilidade fisiológica, a qual proporciona ampla tolerância e sucesso competitivo em diferentes ambientes aquáticos. Neste estudo os fatores que se correlacionaram significativamente com as cianobactérias foram os fatores físicos ambientais, como a precipitação pluviométrica e os impactos por ela causados; entre essas consequências se destaca o aumento do volume de água acumulada. A temperatura da água e, como esperado, as concentrações de fósforo e nitrogênio, entretanto com menor evidência, foram fatores que favoreceram a presença abundante de cianobactérias.

A dinâmica desses fatores contribuiu com a predominância de cianobactérias filamentosas, heterocitadas ou não, principalmente aquelas da ordem Oscillatoriales, com destaque para *Plankthotrix agardii* que foi dominante em Cacimba da Várzea, em todas as estações de coleta nos meses de fevereiro e março (período com os menores níveis de água acumulada). Essas espécies apresentaram forte correlação significativa positiva com a precipitação pluviométrica ( $p < 0,001$ ) e relação negativa significativa com o volume de água acumulado ( $p < 0,001$ ). Não houve relação significativa com nutrientes, temperatura, pH e condições de luz, demonstrando a forte influência dos fatores físicos em detrimento dos químicos. De acordo com Bittencourt-Oliveira (2012) em reservatórios eutróficos dominados por cianobactérias as variáveis físicas explicam melhor as alterações da comunidade fitoplanctônica do que as químicas. O aumento da turbidez causada pelos materiais particulados transportados pelas chuvas, favoreceu o surgimento e o estabelecimento de *Planktothrix agardhii*, que é uma espécie adaptada a ambientes misturados, turvos e rasos, com baixa disponibilidade de luz (PADISÁK et al. 2009) e baixas proporções TN/TP (RÜCKER et al., 1997) Kokocinski et al. (2010) relataram maior desenvolvimento da *Planktothrix agardhii* associada ao elevado grau de turbidez em lagos hipertróficos na Polônia, sendo muito comum em lagos e reservatórios em todo o mundo e podem formar blooms persistentes em ambientes de águas rasas, por vários anos consecutivos (POULÍ KOVÁ; HASLER; KITNER. 2004)

A *Pseudoanabaena limnética* dominou nos dois reservatórios, sendo que em Cacimba da Várzea foi favorecida pelas altas temperaturas, precipitação e elevados volumes de acumulação de água no reservatório, coincidindo sua presença com meses nos quais houve transbordamento da água pela barragem do reservatório causando forte turbulência da água o que, acoplado às chuvas, proporcionou a mistura das camadas de água e aumento de turbidez, favorecendo a presença desta espécie e de outras bem

adaptadas à alta turbidez e às águas bem misturadas (REYNOLDS et al, 2002;. PADISÁK et al, 2009).

De acordo Chorus e Barthram (1999) a dominância das cianobactérias em relação aos demais grupos é decorrente de suas estratégias adaptativas, que tornam possível seu intenso desenvolvimento em condições eutróficas, em águas túrbidas e com perturbações. Nesta pesquisa as cianobactérias estiveram presentes em todas as estações de coleta com comprovada produção de microcistina LR, principalmente em Várzea Grande, onde também é utilizado para abastecimento humano, indicando prováveis riscos para a saúde pública pois a tecnologia de potabilização da água no Estado é a convencional, ou seja, não usa processos avançados para eliminação das toxinas dissolvidas na água como, por exemplo, uma última filtração através de coluna de carvão ativado granular ou adição de carvão ativado em pó em etapas do processo. De acordo com o IBGE (2010) os municípios de Cacimba da Várzea e Várzea Grande apresentam uma população de 16.748 e 18.222 pessoas, respectivamente, e dessas praticamente a metade (7.589 e 6.103 habitantes) reside na zona rural desses municípios, correspondendo à população que não é abastecida por água tratada e recorre a outras fontes de água como chafarizes, bicas, poços particulares, carros-pipas, cisternas, barreiros e água bruta dos açudes; isto é uma realidade no semiárido brasileiro. Essas pessoas estão submetidas a sérios riscos à saúde por doenças infecciosas de veiculação hídrica e a intoxicações por cianotoxinas, por exemplo. De acordo com a Portaria 2914/2011, o açude Várzea Grande (Picuí) deveria ser monitorado semanalmente quanto à sua composição fitoplânctonica e à presença de cianotoxinas; ainda a companhia de águas e esgoto do estado deveria monitorar a água de saída a ETA, antes de ser distribuída.

Verifica-se que os reservatórios estudados, assim como muitos outros da região (VASCONCELOS et al., 2011; LINS, 2011) apresentam condições propícias à dominância de cianobactérias; efetivamente, essas são dominantes na maioria dos meses do ano.

Os níveis de água acumulada e a limitação de luz na coluna de água são fatores que exercem forte influência (e talvez a maior) sobre a dinâmica fitoplanctônica nos dois reservatórios, ambos com elevadas concentrações de nutrientes e dominância de cianobactérias que apresentam características morfofisiológicas adaptadas às condições

ambientais de águas túrbidas e misturadas, as quais são limitantes para outras espécies fitoplanctônicas.

## Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 2005.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C.; DIAS, S.N.; MOURA, A.N.; CORDEIRO-ARAÚJO, M.K. ; DANTAS, E.W. Seasonal dynamics of cyanobacteria in a eutrophic reservoir (Arcoverde) in a semi-arid region of Brazil. **Braz. J. Biol.** vol. 72, n. 3, p. 533-544. 2012.

BOUVY, M., FALCÃO, D., MARINHO, M., PAGANO M.; MOURA, A.N. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. **Aquatic Microbial Ecology**, vol. 23, n. 1, p. 13-27. 2000.

BLOMQUISTET, P. PETTERSSON, A. HYENSTRAND, P. Ammonium-nitrogen: a key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen-fixing cyanobacteria in aquatic systems. **Archiv für Hydrobiologie**, 132: 141-164. 1994.

CHELLAPPA, N.T; COSTA, M.A.M., Dominant and co-existing species of cyanobacteria from an eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte state, Brazil. **Acta Oecologica**, vol. 24, no. 1, p. 3-10. 2003.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. London: E & FN Spon, 416 p. 1999.

COLE, G. **Textbook of limnology**. 3 ed. London: The C.V. Mosby Co. 436 p. 1983.

DANTAS, E.W., MOURA, A.N., BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C., ARRUDA-NETO, J.D.T., CAVALCANTI, A.D.C. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. **Acta Bot. Brasil.** 22(4), 970-982, 2008.

DANTAS, E.W.; MOURA, A.N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C. Cyanobacterial blooms in stratified and destratified eutrophic reservoirs in semi-arid region of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 83, no.4, p. 1327-1338. 2011.

DOKULIL, M.T.; TEUBNER, K. Cyanobacterial dominance in lakes. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 438, p. 1-12, 2000.

FEIO, M. J.; COIMBRA, C. M.; GRAÇA, M. A. S; NICHOLS, S. J.; NORRIS, R. H. The influence of extreme climatic events and human disturbance on macroinvertebrate

community patterns of a Mediterranean stream over 15 y **Journal N. Am. Benthol. Soc.**, 29(4):1397–1409, 2010.

FERNÁNDEZ-ALÁEZ, C., M. FERNÁNDEZ-ALÁEZ, E. BÉCARES, Influence of water level fluctuations on the structure and composition of the macrophyte vegetation in two small temporary lakes in the northwest of Spain. **Hydrobiologia** 415: 155–1999.

FERNÁNDEZ-ALÁEZ, M., C. FERNÁNDEZ-ALÁEZ, E. BÉCARES, M. VALENTÍN, J. GOMA ; P. CASTRILLO. A two-year experimental study on nutrient and predator influences on food web constituents in a shallow lake of north-west Spain. **Freshwater Biology** 49: 1574–1592 , 2004.

GOLTERMAN, H.L., CLYNO, R.S; OHNSTAD, M.A.M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. IBP HANDBOOK, ed. Melbourne, Oxford London, nº 8, 215p. 1978

GUIMARÃES, A. O. **Formulação de um modelo de previsão da qualidade de água para gestão de reservatório de abastecimento urbano no semi-árido**. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2006

HILLEBRAND, H.; DURSELEN, C. D. ; KIRSCHTEL, D.; POLLINGER, U. ; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelgic and benthic microalgae. **J. Phycol.** v. 35, p. 403-424, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico - 2010. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 10 de janeiro de 2012.

JENSEN, P.; JEPPESEN, E.; OLRİK, K.; KRISTENSEN, P. Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow danish lakes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 51: 1692–1699. 1994.

KOKOCINSKI, M., STEFANIAK, K., MANKIEWICZ-BOCZEK, J., IZYDORCZYK, K. and SOININEN, J., The ecology of the invasive cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyta) in two hypereutrophic lakes dominated by *Planktothrix agardhii* (Oscillatoriales, Cyanophyta). **European Journal of Phycology**, vol. 45, no. 4, p. 365-374. 2010.

LEPRUN, P. **Primeira avaliação das águas superficiais do nordeste**. Relatório final de convênio, SUDENE, Recife, 141p. 1983.

MCCUNE, B.; MEFFORD M.J. **Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 3.0. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon. 1997.

MORRIS, D. P.; LEWIS Jr., W. M. Phytoplankton nutrient limitation in Colorado Mountain lakes. **Freshw. Biol.** 20: 315–327. 1988

MOURA, A.N., DANTAS, E.W., OLIVEIRA, H.S.B ; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C. Vertical and temporal dynamics of cyanobacteria in the Carpina potable water reservoir in northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 71, no. 2,p. 451-459, 2011.

NASELLI-FLORES, L. Man-made lakes in Mediterranean semi-arid climate: the strange case of Dr Deep Lake and Mr Shallow Lake. **Hydrobiologia** 506–509: 13–21, 2003.

PADISÁK, J.; CROSSETTI L.O; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, 621: 1-19. 2009.

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

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Governo do Estado da Paraíba. SECTMA/AESA. Brasília DF. 2006.

POOLE, H.H.; ATKINS, W.R.G Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. **Journal of the Marine Biological Association of India**, 16: 297-324. 1929.

POULÍ KOVÁ, A., P. HASLER M. KITNER.. Annual cycle of *Planktothrix agardhii* (GOM.) Anagn. & Kom. Nature Population. Int. Rev. **Hydrobiologia** 89: 278-288. 2004

REYNOLDS, C.S.; HUSZAR, V.; KRUK,C.; NASELLI-FLORES,L; MELO,S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **J. Plankton Res.** 24: 417-428. 2002.

ROS, J. **Práticas de Ecologia**. Barcelona: Ediciones Omega, p. 181. 1979.

RÜCKER, J.;WIEDNER, C.; ZIPPEL, P. Factors controlling the dominance of *Planktothrix agardhii* and *Limnothrix redekei* in eutrophic shallow lakes. **Hydrobiologia**, 342/343: 107–115. 1997.

SHAPIRO, J. Currents beliefs regarding dominance by blue-greens: the case of the importance of CO<sub>2</sub> and pH. **Verhandlungendes international envereinig ungfür Theore tscheund Ange wanted limnologie**, 24: 38-54. 1990.

SHEPHERD, G.J. **FITOPAC 1**: manual de usuário. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 95 p. 1996.

SMITH, V. Low nitrogen to phosphorous rations favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. **Science**, 221: 669-671, 1983.

SUN, J. ; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research** 25: 1331-1346. 2003.

TOLEDO Jr., A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1.34. 1983.

TUNDISI, J. G. Distribuição espacial, sequência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. **Rev. Brasil. Biol.** 50 (4): 937-955, 1990

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. Mitt it Verein. Theor. Angew. **Limnol.** 9, pp 1-38, 1958.

VASCONCELOS, J.F.; BARBOSA, J.E.L.; DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O. Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. **Boletim da Associação Brasileira de Limnologia.** 39(2), 2011.

WATSON, S.B.; MCCAULEY, E.; DOWNING, J.A. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status, **Limnol. Oceanogr.** 4:. 487-495. 1997.



*CAPÍTULO 2*

## Aspectos funcionais adaptativos dos grupos funcionais fitoplanctônicos em dois reservatórios eutrofizados do semiárido

### Resumo

Modificações nas condições ambientais dos corpos d'água podem ser previstas utilizando-se agrupamentos de espécies que respondem a tais modificações, em função de suas similaridades de requerimentos, morfologia e processos funcionais. Este estudo objetivou identificar os grupos funcionais e seus traços funcionais adaptativos como hábito de vida, estrutura de tamanho (MDL e volume celular) e sua distribuição espacial nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande, PB, Brasil e sua aplicabilidade como indicadores das condições ambientais dos ecossistemas aquáticos. As amostras foram coletadas mensalmente, em 3 pontos de amostragem (E1 – Entrada de tributários, E2- Próximo aos tanques-rede e E3- Zona de barragem) ao longo de 19 meses (janeiro 2008- julho 2009), abrangendo dos ciclos hidrológicos (seca e chuva) na região; foram identificados 19 grupos funcionais nos reservatórios sendo 10 em Várzea Grande (C, H1, J, Lo, Mp, P, S1, Sn, W2, X1) e 9 em Cacimba da Várzea (C, J, Lo, P, S1, Sn, W2, X1). Os grupos S1 e Sn dominaram nos dois reservatórios praticamente durante todo o período de estudo, sobressaindo-se sobretudo quando os reservatórios apresentaram menores volumes de acumulação. O grupo F foi encontrado apenas em Cacimba da Várzea enquanto H1 e Mp são exclusivos de Várzea Grande. As espécies filamentosas foram predominantes (>80% da biomassa total) nos dois reservatórios, com a maior contribuição de algas e cianobactérias de elevada MDL: maiores que 50 $\mu\text{m}$  (grupo IV) e elevado volume celular, sendo marcante a presença de táxons de volume entre  $10^3$  e  $10^4 \mu\text{m}^3$  (> 60-98%) em Cacimba da Várzea e (>  $10^4 \mu\text{m}^3$ ) em Várzea Grande. Durante todo o período de estudo os reservatórios apresentaram dominância de cianobactérias (>50-99,7%) R estrategistas (distúrbios tolerantes) e, eventualmente, C (invasoras), sobremaneira em Várzea Grande e pertencentes sobretudo às associações de cianobactérias S1 e Mp e diatomáceas (P) que se caracterizam por uma grande adaptação à turbulência, turbidez e variações bruscas de intensidade luminosa, características encontradas nos reservatórios estudados. Os resultados demonstram que a utilização de grupos funcionais, em conjunto com a caracterização morfológica e estrutural, se constituiu uma ferramenta eficaz no monitoramento dos ecossistemas aquáticos sempre que se prevê e sintetiza as relações entre ambiente e espécies.

**Palavras-chave:** grupos funcionais; condições ambientais, reservatórios; semiárido

## **Adaptive functional aspects of phytoplankton functional groups in two eutrophic reservoirs in semiarid regions**

### **Abstract**

Changes in environmental conditions of water bodies can be predicted, using groupings of species that respond to such changes due to their similarities in requirements, morphology and functional processes. This study aimed to identify the functional groups as well as their functional adaptive traits such as life habit, structure size (CDMs and cell volume) and their spatial distribution in the Cacimba da Várzea and Várzea Grande reservoirs and applicability of these as indicators of aquatic ecosystems environmental conditions. The samples were collected monthly at three sampling points (E1- junction of tributary rivers, E2 - near pisciculture fish-cages and E3- and near the dam) over 19 months (January 2008 - July 2009), covering the hydrological cycles (dry and rainfall) in the region, 19 functional groups were identified in the tanks having and 10 in Várzea Grande (C, H1, J, Lo, Mp, P, S1, Sn, W2, X1) and 9 in Cacimba da Várzea (C, J, Lo, P, S1, Sn, W2, X1). The groups S1 and Sn dominated in both reservoirs during the virtually the whole study period, highlighting mainly when the reservoirs had lower volumes of accumulation. Group F was only found in the Cacimba da Várzea, while H1 and Mp are unique to Várzea Grande. The filamentous species were predominant (> 80% of the total biomass) in the two reservoirs, with the largest contribution of algae and cyanobacteria high in MDL: larger than 50 $\mu\text{m}$  (group IV) and high cellular volume, the presence of taxa was noteworthy in volume between 10<sup>3</sup> and 10<sup>4</sup>  $\mu\text{m}^3$  (> 60-98%) in the Cacimba da Várzea and (> 104  $\mu\text{m}^3$ ) in Várzea Grande. Throughout the whole study period, the reservoirs showed the dominance of cyanobacteria (> 50 to 99.7%) R strategists (disturbance tolerant) and possibly C (invasive), predominantly in Várzea Grande and mainly belonging to associations of cyanobacteria and S1 and Mp diatoms (P), which are characterized by a great adaptation to turbulence, turbidity and rapid changes in light intensity, characteristics found in the reservoirs studied. The results demonstrate that the use of functional groups, together with the morphological and structural characterization, constituted an effective tool in monitoring aquatic ecosystem as it provides and summarizes the relationships between ambient and species.

**Keywords:** functional groups, environmental conditions, reservoirs; semiarido

## Introdução

Modificações nas condições ambientais dos corpos d'água podem ser previstas utilizando-se agrupamentos de espécies que respondem a tais modificações em função de suas similaridades de requerimentos, morfologia e processos funcionais. Essas respostas biológicas se dão através de variações na composição e na biomassa de grupos de espécies adaptadas às características em mudança, definidas como grupos funcionais, os quais têm caracterizado as condições ambientais recentes mais acuradamente que os grandes grupos filogenéticos (HUSZAR e CARACO 1998; KRUK et al., 2002; WEITHOFF, 2003).

Este esquema avalia a tolerância ou a sensibilidade das espécies às variáveis físicas e químicas inerentes ao sistema aquático por elas colonizado (FONSECA e BICUDO, 2010). Contempla também a avaliação da influência das condições hidráulicas de um reservatório (por exemplo, tempo de residência), da morfometria e de uso e ocupação da bacia hidrográfica sobre as algas (BORGES, TRAIN e RODRIGUES, 2008).

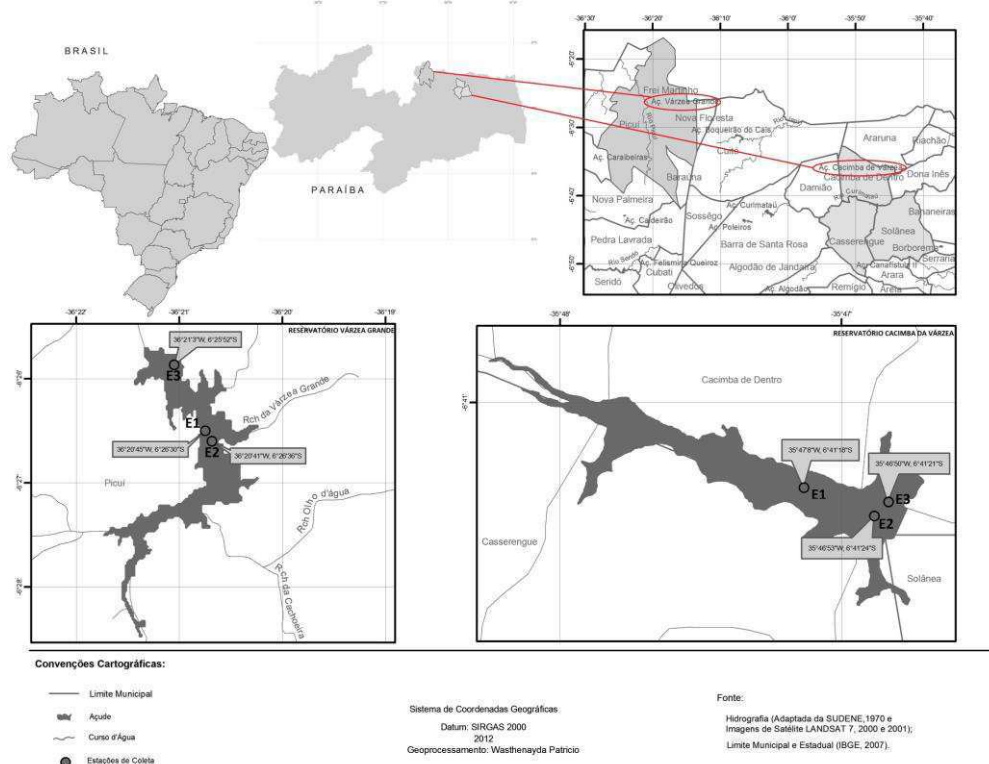
Desta forma, estudos que enfocam as mudanças do fitoplâncton abordando suas estratégias adaptativas (C, S, R-estrategistas) e grupos de espécies (grupos funcionais) descritoras das condições ambientais, são mais apropriados pois o tamanho e a forma das algas estão diretamente ligados às suas adaptações fisiológicas permitindo prever, de maneira mais efetiva as condições do ambiente do que os grupos filogenéticos (REYNOLDS, 1997,1998 ; PADISÁK ; REYNOLDS, 1998; HUSZAR ; CARACO, 1998; HUSZAR et al., 2000; REYNOLDS et al., 2002; MARINHO ; HUSZAR, 2002).

A ocorrência de alguns grupos está diretamente relacionada ao estado trófico do sistema aquático e, neste sentido, tal abordagem pode oferecer indicativos do grau de enriquecimento em nutrientes (nível de eutrofização) do lago ou reservatório estudado (CUNHA; CALIJURI, 2011). Neste contexto o objetivo principal da presente pesquisa objetivou identificar os grupos funcionais e seus traços funcionais adaptativos, como hábito de vida, estrutura de tamanho (MDL e volume celular) e sua distribuição espacial nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande e a aplicabilidade dos mesmos como indicadores das condições ambientais dos ecossistemas aquáticos.

## Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida nos açudes Cacimba de Várzea e Várzea Grande, localizados no estado da Paraíba, nos municípios de Cacimba de Dentro e Picuí, respectivamente (Mapa 1).

**Mapa 2.1.** Localização dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro/PB) e Várzea Grande (Picuí,PB) e os respectivos pontos de coleta



**Fonte:** AESA/PB. Técnico: Washenayda Patricio Santos

## Açude Cacimba da Várzea

O açude Cacimba da Várzea está situado entre as coordenadas  $6^{\circ}41'18,30''$  de latitude e longitude de  $35^{\circ}46'56,73''$ , na bacia hidrográfica do rio Curimataú; possui capacidade máxima de acumulação de  $9.264.321 \text{ m}^3$ ; dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos mencionam que mais de 70% da área da bacia do rio Curimataú estão antropizadas por causa das atividades agropecuárias e desmatamento, com mata escassa ciliar ao redor dos corpos de água e pequenas manchas de preservação permanente. A maioria dos açudes está bastante assoreada e com sérios riscos de poluição crescente.

Nesta bacia as águas superficiais e subterrâneas são de elevada salinidade, com sérias restrições ao consumo humano e animal (PARAÍBA, 2006).

### Açude Várzea Grande

Localizado no município de Picuí (6°25'42,5" de latitude e 36°21'19,2" de longitude) na sub-bacia do Seridó. Destaca-se por sua importância como reservatório de abastecimento. O tipo de clima dominante é semiárido quente, classificado como BWwh', que indica um clima seco do tipo desértico, apresentando pluviometrias médias anuais entre 400 e 600 mm (PARAÍBA, 2006).

### Material e Métodos

As amostras foram coletadas mensalmente em 3 pontos de amostragem em cada açude, ao longo de 19 meses (janeiro 2008-julho 2009), abrangendo dois ciclos hidrológicos – seca e chuva na região (Tabela 1).

**Tabela 2.1** Localização geográfica das estações de amostragem dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro,PB) e Várzea Grande (Picuí,PB)

Reservatório	Estação	Localidade	Latitude	Longitude
Cacimba da Várzea	1	Entrada de tributários	6° 41' 18"	35° 47' 08"
	2	Próximo aos tanques-rede	6° 41' 24"	35° 46' 53"
	3	Zona de barragem	6° 41' 21"	35° 46' 50"
Várzea Grande	1	Entrada de tributários	6° 26' 30"	36° 20' 45"
	2	Próximo aos tanques-rede	6° 26' 36"	35° 20' 41"
	3	Zona de barragem	6° 25' 52"	36° 21' 03"

A transparência da água (m) foi calculada através da profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi ( $Z_{ds}$ ) correspondente a 10% da luz incidente na superfície (COLE 1983). A zona eufótica ( $Z_{eu}$ ) foi calculada empiricamente multiplicando-se o valor obtido pelo disco de Secchi (10% de incidência de luz) por 2,7

(Cole 1983) e coeficiente de atenuação vertical da luz ( $k$ ) o qual foi calculado por meio da relação  $k = 1,7 \times Z_{DS}^{-1}$  (POOLE ; ATKINS, 1929). A razão entre  $Z_{eu} / Z_{mix}$  foi utilizada como índice de avaliação de disponibilidade de luz na camada de mistura (JENSEN et. al., 1994).

O fósforo solúvel reativo (SRP) seguiu a metodologia do molibdato de amônio e o nitrogênio dissolvido inorgânico (DIN) foi calculado pela soma de amônio, nitrito e nitrato, obtidos pelos métodos do fenol, da diazotação sulfanilamida-NED e pela redução do cádmio, respectivamente (APHA, 1998). O Índice de Estado Trófico de Carlson adaptado por Toledo Jr. et al. (1983) para as regiões tropicais, foi usado para caracterizar o estado trófico dos reservatórios.

Para a análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica as amostras foram coletadas com amostrador do tipo van Dorn e fixadas com solução de formol (4%). A quantificação do fitoplâncton foi realizada conforme Utermöhl (1958) e o tempo de sedimentação com Lund et. al., (1958), que definiu 4 h para cada centímetro de altura da câmara. A contagem foi feita em microscópio invertido da marca Carl Zeiss com aumento de até 40X, sendo realizada em transectos horizontais e verticais. O número mínimo de campos contados em cada câmara de sedimentação dependeu da quantidade de material disponível na amostra. Foram contados, no mínimo, 100 indivíduos das espécies mais frequentes.

O biovolume de cada espécie foi calculado a partir da análise do(s) sólido(s) geométrico(s) que mais se aproximem da forma celular, isolados ou combinados, segundo Sun;Liu (2003) e Hillebrand et. al., (1999) para isto, multiplicou-se a densidade de cada espécie pelo volume médio das medidas de 20 a 30 indivíduos, quando possível.

As espécies fitoplânctônicas foram classificadas conforme os seguintes critérios:

**Descritores biológicos:** as espécies que totalizarem biovolume relativo  $\geq 5\%$  e densidade total da ordem de 80%.

**Hábito ou forma de vida:** unicelular flagelado (UF), colonial flagelado (CF), unicelular não flagelado (UNF), colonial não flagelado, inclusive cenóbios (CNF) e filamentosos (Fi).

**Estrutura de tamanho e volume do fitoplâncton:** avaliados através dos valores da maior dimensão linear axial (MDL) e do volume celular (VC).

**MDL** (SIEBURTH; SMETACEK, LENZ, 1978): **Classe 1:** <10  $\mu\text{m}$  (ultraplâncton); **Classe 2:** entre 11 e 20  $\mu\text{m}$  (nanoplâncton); **Classe 3:** entre 21 e 50  $\mu\text{m}$  (microplâncton); **Classe 4:** > 50  $\mu\text{m}$  (plâncton de rede) **Volume celular:** **Classe 1:** <  $10^2 \mu\text{m}^3$ ; **Classe 2:** entre  $10^2$  e  $10^3 \mu\text{m}^3$ ; **Classe 3:** entre  $10^3$  e  $10^4 \mu\text{m}^3$ ; **Classe 4:** >  $10^4 \mu\text{m}^3$

**C-R-S Estrategistas:** definidas segundo Reynolds (1997).

**Grupos funcionais fitoplanctônicos:** determinados a partir de espécies que representaram mais de 5% do biovolume (KRUK et al., 2002) e a partir de Reynolds (2002) revisado por Padisák et. al., (2009).

### **Análises estatísticas**

A análise descritiva dos dados foi realizada através de médias aritméticas que foram utilizadas como medida de tendência central e o desvio padrão como medida de dispersão absoluta. Análises de regressão múltipla foram realizadas para descrever as relações entre as algas e cianobactérias dos grupos funcionais e as variáveis ambientais. Para avaliar as relações entre as variáveis ambientais e os grupos funcionais (aqueles que apresentaram acima de 5% da biomassa total) utilizou-se a Análise de Correspondência Canônica (ACC). Os Programas utilizados para a análise foram o STATISTIC 8.0 e o Canoco 4.5.

### **Resultados**

Os reservatórios estudados apresentaram volumes de acumulação praticamente constantes durante vários meses após os eventos de chuva. Essas foram mais intensas e duradouras em Cacimba da Várzea, provocando o transbordamento do reservatório no ano de 2008 (março, abril e julho) e de 2009 (abril até julho). Neste período as águas se apresentaram menos turvas (>0,40 a 0,80m), exceto no mês de abril de 2008, mês subsequente às chuvas (142,4mm), com temperaturas levemente menores com o passar dos dias de transbordamento, embora no mês de abril, principalmente do ano de 2009, foram registradas temperaturas de até 29,5°C próximo aos tanques rede de piscicultura. Os valores de pH também apresentaram redução atingindo valores próximos à



neutralidade (mínimos de 7,7 em jun/08 e julho/09 E1 e E3), embora nos demais meses de transbordamento os valores de pH tenham permanecido levemente mais elevados.

A condutividade elétrica em Cacimba da Várzea foi mais alta em períodos em que o reservatório esteve com menor volume de acumulação de água, com valores máximos próximos a  $5.000 \mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$  em março/08 nas 3 estações; o transbordamento provocou diluição dos sais, sendo detectados valores próximos a  $2.000 \mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$ , nos meses subsequentes ao transbordamento.

O transbordamento em Cacimba da Várzea também contribuiu com a redução nas concentrações das formas de nitrogênio e fósforo; entretanto, os dois reservatórios foram considerados eutróficos ao longo de todo o período de estudos, visto que possuem condições nutricionais ideais para o desenvolvimento de cianobactérias

Várzea Grande não apresentou eventos de transbordamento porém as concentrações das variáveis abióticas e a densidade da comunidade fitoplanctônica estiveram mais elevadas quando o reservatório apresentou menores volumes de acumulação da água.

### **Caracterização da comunidade Fitoplanctônica**

Foram identificados 19 grupos funcionais nos reservatórios, dentre os quais 10 em Várzea Grande (C, H1, J, Lo, Mp, P, S1, Sn, W2, X1) e 9 em Cacimba da Várzea (C, J, Lo, P, S1, Sn, W2, X1) (Tabela 1). Os grupos H1 e Mp são exclusivos de Várzea Grande e F encontrado apenas em Cacimba da Várzea (Gráficos 1 e 2) com predominância de grupos adaptados às condições de eutrofização. Durante praticamente todo o estudo, verificou-se a codominância dos grupos S1, representados por *Dolichospermum macrospora*, *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena limnetica* e *Geitlerinema sp* e Sn (*Cylindrospermopsis raciborskii*) em Cacimba da Várzea e S1 e Mp (*Oscillatoria sp*) em Várzea Grande.

O grupo funcional S1 dominou nos dois reservatórios praticamente durante todo o período de estudo (Gráficos 2.1 e 2.2) sobressaindo-se quando os reservatórios apresentaram menores volumes de acumulação. Em Cacimba da Várzea o grupo S1 foi desfavorecido apenas nos meses de maior volume e transbordamento ( $r = -0,80$ ,  $p < 0,001$ ); entretanto, prevaleceu com percentuais  $>40\%$  da biomassa total; o grupo Sn esteve codominando com o S1, em menores proporções, entretanto os grupos P

(*Dictyosphaerium pulchellum*, *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, *Aulacoseira granulata* e *Closterium* sp) e W2 (*Trachelomonas* sp) predominaram em períodos de maior volume de água acumulado no reservatório; entretanto, o W2 mostrou-se mais adaptado aos meses com transbordamento, sobretudo na zona de barragem.

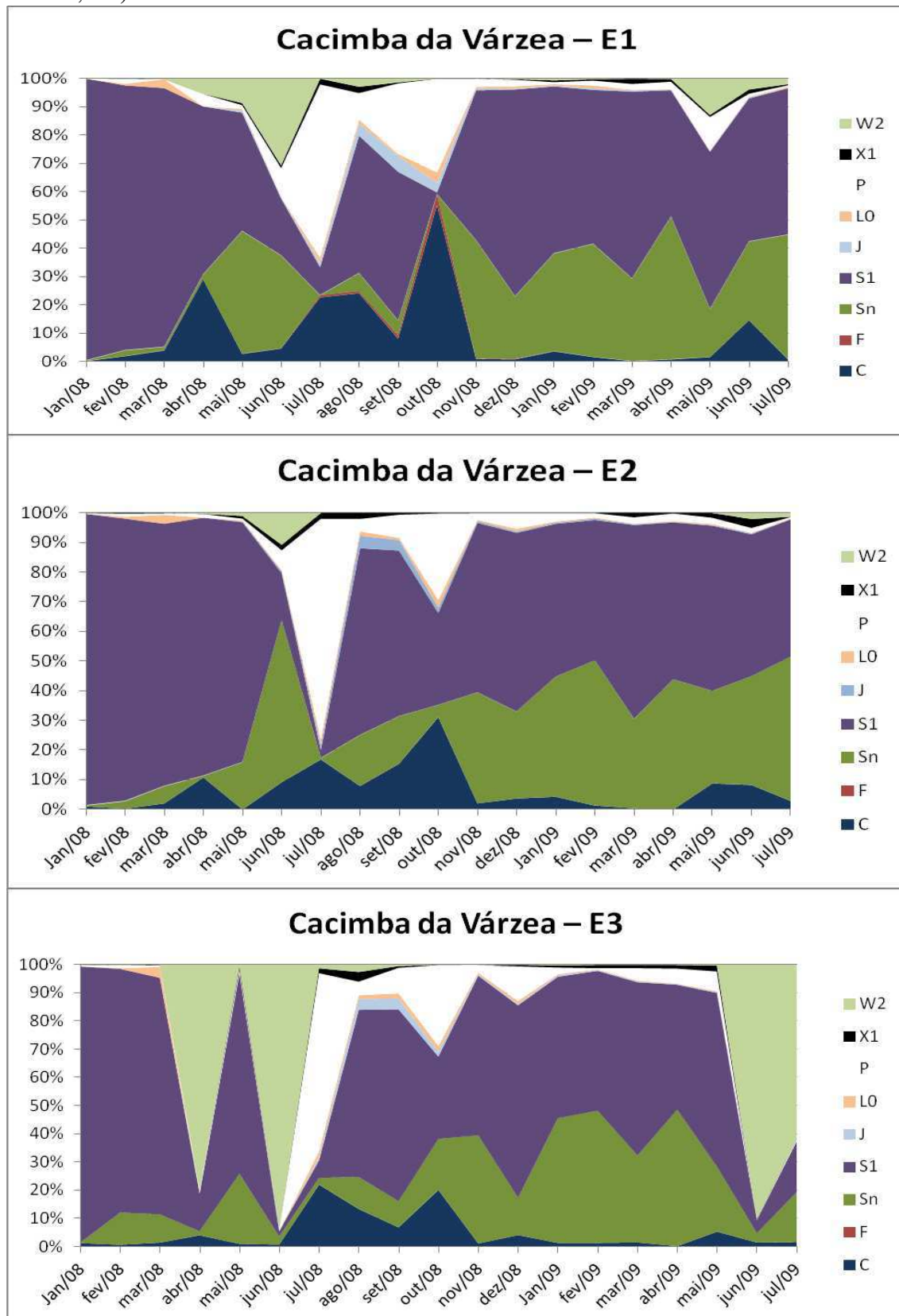
Além dos grupos já mencionados ainda foi verificada em menores proporções (geralmente < 10% ) a presença dos grupos C (*Cyclotella meneghiniana*), X1 (*Chlorella vulgaris*, *Monoraphidium contortum* e *griffithii*), Lo ( *Merismopedia tenuissima* e *Chroococcus minor* ), J (*Scenedesmus acuminatus* , *Crucigenia crucifera*, e *Crucigenia crucifera*) e P (*Dictyosphaerium pulchellum*, *Flagillaria* sp e *Closterium* sp) que tiveram leve aumento populacional nos períodos de transbordamento do reservatório.

**Tabela 2.2.** Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as algas e cianobactérias dos grupos funcionais encontrados no reservatório Cacimba da (Cacimba de Dentro,PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009

	C	F	SN	S1			J			LO		X1			W2			P		
	CMG	OOSP	CR	PA	PL	GSP	SA	CC	TT	CM	MT	CV	MC	MGF	TA	TSP	TV	DP	FSP	CSP
CE	-	-	-	-	-	S*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TN	-	-	<u>S***</u>	S***	<u>S***</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S*	-	-	-	<u>S*</u>	-
ZEUF	-	-	<u>S*</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	<u>S*</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S*
NID/PID	-	-	-	<u>S*</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TEMP	-	-	S**	-	S**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>S***</u>
PRS	-	-	S**	<u>S***</u>	<u>S***</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PREC	-	-	-	S**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VOL	-	-	-	<u>S***</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S*

CE= condutividade elétrica; TN = nitrogênio total inorgânico;  $Z_{eu}$ =Zona eufótica;  $K_0$ = Coeficiente de atenuação vertical da luz; NID/PID: razão nitrogênio inorgânico dissolvido e fósforo solúvel reativo; Temp.= Temperatura; PRS= fósforo solúvel reativo total; Prec= precipitação; Vol.=volume; s=significativo (\* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001); ns = não significativo (p> 0.10); - = ausente; sublinhado= relação negativa significativa, não sublinhado= relação positiva significativa; CMG= Cyclotella menegheniana; OOSP = Oocystis sp1; CR=*Cylindrospermopsis raciborskii*; PA=*Planktothrix agardhii*; PL=*Pseudanabaena limnetica*; GSP= *Geitlerinema sp*; SA= *Scenedesmus acuminatus*; CC = *Crucigenia crucifera*; TT = *Tetraedron trigonum*; CM= *Chroococcus minor*; MT= *Merismopedia tenuissima*; CV= *Chlorella vulgaris*; MC= *Monoraphidium contortum*; MGF = *Monoraphidium griffithii*; TA= *Trachelomonas abrupta*; TSP= *Trachelomonas sp*; TV= *Trachelomonas volvocina*; DP= *Dictyosphaerium pulchellum*; FSP= *Flagillaria sp*; CSP = *Closterium sp*.

**Gráfico 2.1.** Percentual de contribuição dos grupos funcionais nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, no reservatório (Cacimba de Dentro, PB)



Em Várzea Grande, houve codominância dos grupos S1 e Mp que foram mais evidentes quando o reservatório esteve com menor volume de água; portanto, mais turbido e misturado, condições ideais para a prevalência de cianobactérias pertencentes a tais grupos. Correlações negativas entre *Pseudanabaena limnetica*, transparência e K ( $r = - 0,35$ ,  $p < 0,05$ ) e entre *Oscillatoria sp* e K ( $r = - 0,59$ ,  $p < 0,05$ ) (Tabela 3.2) confirmam tal afinidade.

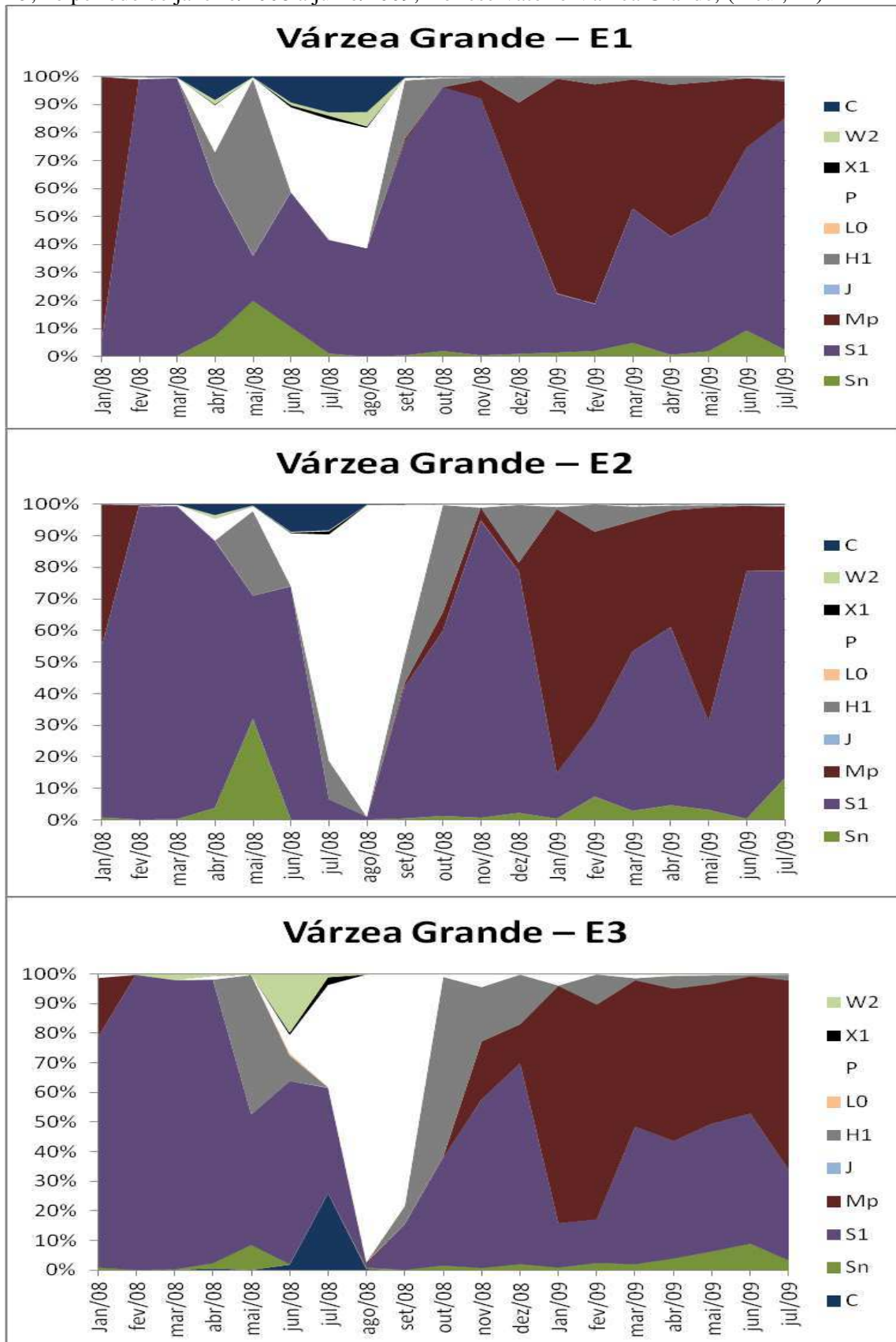
As associações P e H1 (*Aphanizomenon sp*) se apresentaram melhor adaptadas às condições de elevada cota hídrica (> 70% de acumulação) e maior estabilidade; o grupo H é representado por formas heterocitadas e portanto, com habilidade para fixar nitrogênio atmosférico e que se relacionaram com os maiores volumes ( $r = 0,27$ ,  $p < 0,05$ ) e temperatura ( $p < 0,01$ ).

**Tabela 2.3** Resumo da análise de regressão múltipla realizada com as algas e cianobactérias dos grupos funcionais encontrados no reservatório Várzea Grande (Picuí/PB), no período de janeiro de 2008 a julho de 2009

	C	MP	SN	S1				J				LO		P				X1		H1	W2	
	CMG	OSP	CR	DM	PA	PL	GSP	SQ	CA	CC	TT	MG	PSP	DP	DE	AG	FSP	CSP	MI	CV	ASP	TSP
CE	-	-	-	S*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S*
TN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S**	-	-
ZEUF	-	-	-	-	-	S*	-	-	-	S***	S*	-	-	-	-	S**	S*	-	-	-	-	-
K	-	S*	-	-	-	S*	-	-	-	S**	S*	-	-	-	-	S*	S*	-	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NID/PID	-	-	-	-	-	-	-	S*	S**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TEMP	S***	S*	S***	-	-	-	S***	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S***	S***	-	-	-	S**
PRS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S*	-	-
PREC	S*	-	-	S**	-	-	S***	-	S**	S*	S***	S*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S**
VOL	-	S**	-	S**	-	S**	S***	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S*	-	-	-	S*

CE= condutividade elétrica; TN = nitrogênio total inorgânico;  $Z_{eu}$ =Zona eufótica;  $K_0$ = Coeficiente de atenuação vertical da luz; NID/PID: razão nitrogênio inorgânico dissolvido e fósforo solúvel reativo; Temp.= Temperatura; PRS= fósforo solúvel reativo total; Prec= precipitação; Vol.=volume; s=significativo (\* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001); ns = não significativo (p> 0.10); - = ausente; sublinhado= relação negativa significativa, não sublinhado= relação positiva significativa; CMG= *Cyclotella menegheniana*; OSP= *Oscillatoria sp*; CR=*Cylindrospermopsis raciborskii*; DM= *Dolichospermum macrospora*; PA=*Planktothrix agardhii*; PL=*Pseudanabaena limnetica*; GSP= *Geitlerinema sp*; SQ= *Scenedesmus quadricauda*; CA= *Coelastrum astroideum*; CC = *Crucigenia crucifera*; TT = *Tetraedron trigonum*; MG= *Merismopedia glauca*; PSP= *Peridinium sp*; DP= *Dictyosphaerium pulchellum*; DE= *Dictyosphaerium ehrenbergianum*; AG= *Aulacoseira granulata*; FSP= *Flagillaria sp*; CSP = *Closterium sp*; MI= *Monoraphidium irregulari*; CV= *Chlorella vulgaris*; ASP= *Aphanizomenon sp*; TSP= *Trachelomonas sp*.

**Gráfico 2.2.** Percentual de contribuição dos grupos funcionais nas estações de coleta E1, E2 e E3, no período de janeiro/2008 a julho/2009, no reservatório Várzea Grande, (Pícuí,PB)



## Traços Funcionais

Com relação aos traços funcionais das espécies, percebe-se que as espécies filamentosas foram predominantes (>80% da biomassa total) nos dois reservatórios; em Várzea Grande, apenas nos meses de junho e julho/08 em todas as estações houve menor predomínio (40 a 80%) dessas espécies; em Cacimba da Várzea, nos eventos de transbordamento as algas filamentosas foram geralmente substituídas pelas unicelulares não flageladas, nos pontos de entrada de tributários e próximo aos tanques-rede em julho/08 e por unicelulares flageladas na zona de barragem (abril/08, junho e julho/09) (Gráfico 2.3)

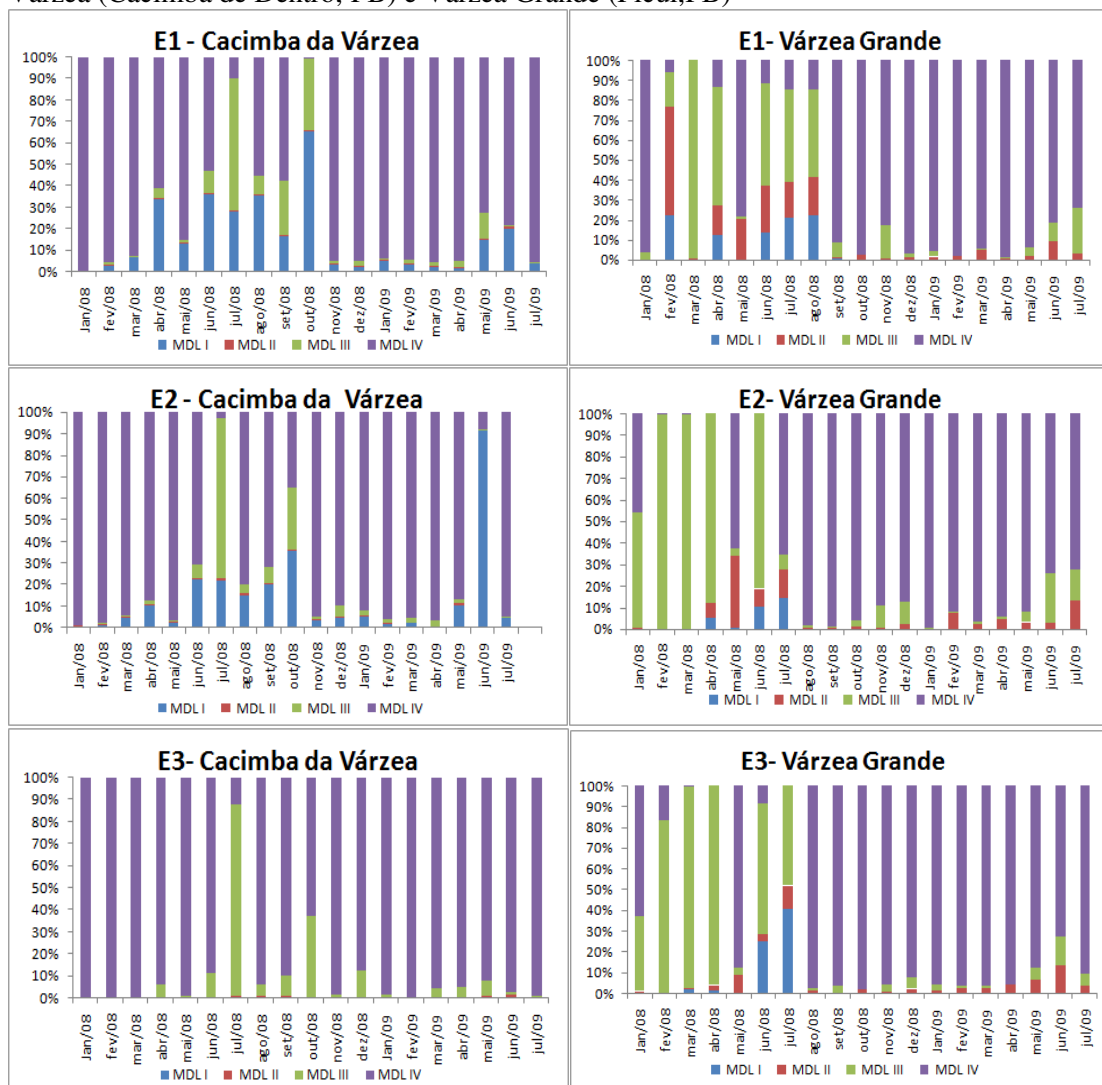
**Gráfico 2.3** Diversidade morfológica da comunidade fitoplanctônica nas três estações de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande, (Picuí, PB)





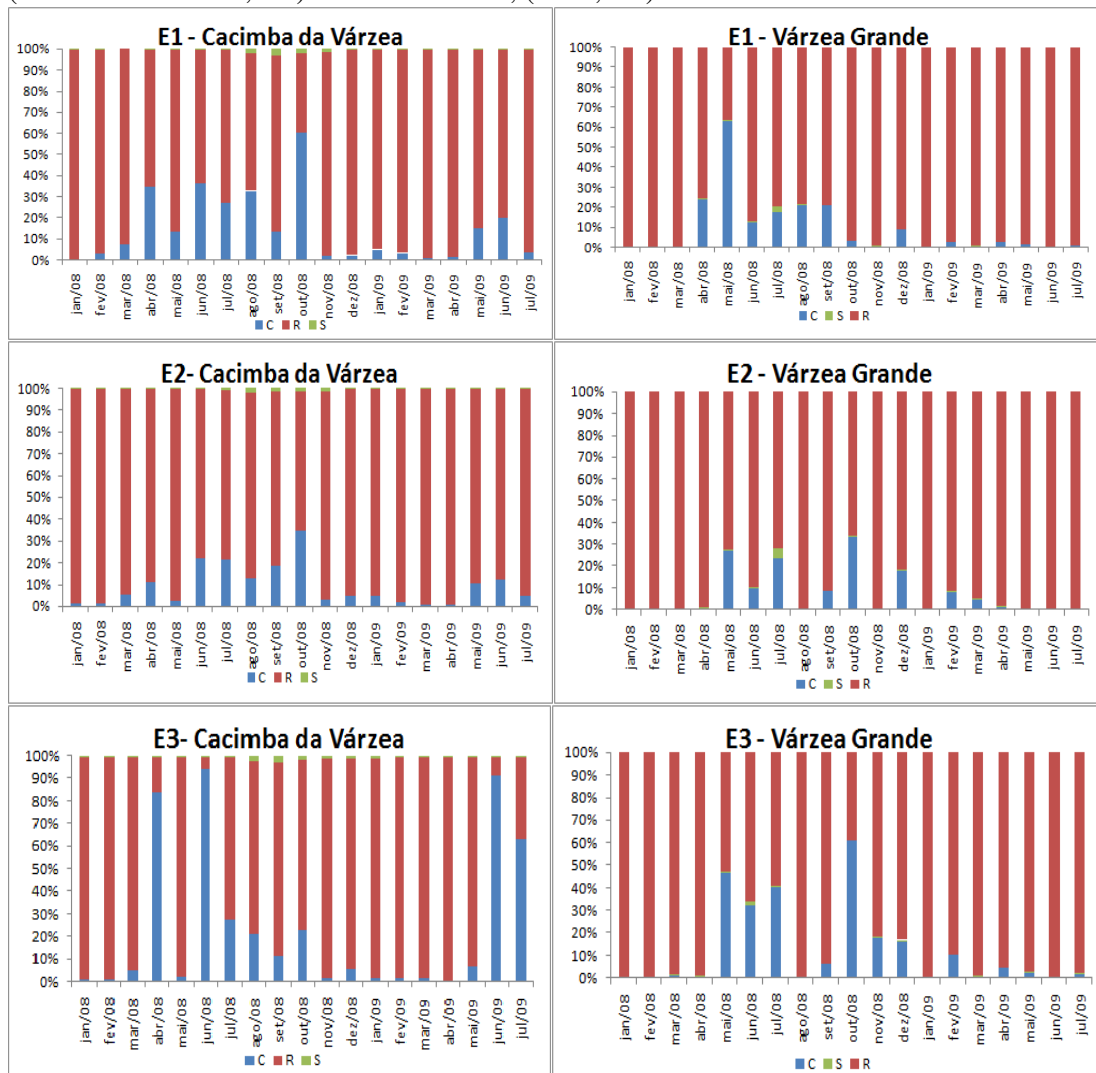
Quanto à contribuição das classes de MDL para a densidade fitoplanctônica, algas maiores que  $50\mu\text{m}$  (grupo IV) foram as que mais contribuíram para os valores deste atributo durante todo o período de estudo, para ambos os reservatórios (Gráfico 2.4) exceto no período de março a outubro/08, período com chuvas e até transbordamento que se configuraram como distúrbio limitando o crescimento de algas e cianobactérias, sobressaindo-se espécies com MDL >10 (ultraplânctônicas) e microplânctônicas (MDL 3) que perduraram em todas as estações de coleta. Em Várzea Grande também prevaleceram espécies de elevada MDL, exceto nos meses de fevereiro, março, abril e junho/08, por influência de chuvas de 325 mm ocorridas em março/08 que se constituíram em distúrbio sobressaindo-se, neste período espécies com menores MDL (I, II e III) (Gráfico 2.4)

**Gráfico 2.4** Máxima dimensão linear (MDL) da comunidade fitoplanctônica nas três estações de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB)



Os reservatórios foram caracterizados pela dominância de cianobactérias (>50-99,7%) de espécies R estrategistas (distúrbio tolerantes) e, eventualmente, C (invasoras), principalmente em Várzea Grande (Tabela 2.4) pertencentes às associações de cianobactérias (S1 e Mp) e diatomáceas (P) que se caracterizam por grande adaptação à turbulência, turbidez e variações bruscas da intensidade luminosa, características encontradas nos reservatórios estudados. Apenas nos meses de maio/08 na E1 e em outubro/08 na E3, as espécies C-estrategistas, representados pela cianobactéria *Aphanizomenon sp* (grupo H1), filamentososa heterocitada, apesar da água se apresentar aquecida e com baixa transparência (Gráfico 2.5)

**Gráfico 2.5** Estratégia de vida da comunidade fitoplanctônica nas três estações de coleta, no período de janeiro/2008 a julho/2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande, (Picuí, PB)





Em Cacimba da Várzea foi marcante (> 60-98%) a presença de táxons de volume entre  $10^3$  e  $10^4 \mu\text{m}^3$  (classe III) e em Várzea Grande da classe IV (>  $10^4 \mu\text{m}^3$ ->40-99,6%) embora em ambos tenham sido identificadas espécies que contemple as duas classes de volume. Nos meses de novembro e dezembro/08 houve predomínio de espécies da classe III em todas as estações de coleta em Várzea Grande enquanto em Cacimba da Várzea, nos meses de janeiro a maio/08, a classe IV predominou em todas as estações de coleta (Gráfico 2.6).

**Tabela 2.4** Máxima dimensão linear (MDL), volume celular, hábito de vida, estratégia e grupo funcional das espécies descritoras dos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB) no período de janeiro/2008 a julho/2009

Espécies	Cacimba da Várzea					Várzea Grande				
	MDL	Vol. Celular	Hábito	Estratégia	Grupo funcional	MDL	Vol. Celular	Hábito	Estratégia	Grupo funcional
<i>Aphanizomenom sp.*</i>	-	-	-	-	-	IV	IV	FI	C	H1
<i>Aulacoseira granulata*</i>	-	-	-	-	-	IV	IV	FI	R	P
<i>Chlorella vulgaris</i>	I	III	UNF	C	X1	-	-	-	-	-
<i>Chroococcus minor</i>	I	II	UNF	C	Lo	-	-	-	-	-
<i>Closterium sp Δ</i>	III	III	UNF	R	P	II	III	UNF	R	P
<i>Coelastrum astroideum</i>	-	-	-	-	-	I	II	CNF	S	J
<i>Crucigenia crucífera</i>	I	II	CNF	S	J	-	-	-	-	-
<i>Cyclotella menegheniana Δ</i>	I	IV	UNF	C	C	I	III	UNF	C	C
<i>Cylindrospermopsis raciborskii Δ</i>	IV	III	FI	R	Sn	II	III	FI	R	Sn
<i>Dictiosphaerium ehrenbergianum</i>	-	-	-	-	-	I	III	CNF	S	P
<i>Dictiosphaerium pulchelon</i>	I	II	CNF	S	P	I	III	CNF	S	P
<i>Dolichospermum macrospora</i>	-	-	-	-	-	I	II	FI	S	S1
<i>Fragillaria SP</i>	III	III	UNF	R	P	II	III	UNF	R	P
<i>Geitlerinema sp*</i>	IV	III	FI	R	S1	IV	III	FI	R	S1
<i>Merismopedia glauca</i>	-	-	-	-	-	I	III	CNF	C	Lo

**Tabela 2.4.** Continuação

Espécies	Cacimba da Várzea					Várzea Grande				
	MDL	Vol. Celular	Hábito	Estratégia	Grupo funcional	MDL	Vol. Celular	Hábito	Estratégia	Grupo funcional
<i>Merismopedia tenuissima</i>	I	III	CNF	C	Lo	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium contortum</i>	I	II	UNF	R	X1	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium griffithii</i>	II	II	UNF	C	X1	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium irregulare</i>	-	-	-	-	-	I	II	UNF	C	X1
<i>Oscillatoria sp.*</i>	-	-	-	-	-	IV	IV	FI	R	Mp
<i>Oocystis sp1</i>	I	II	CNF	R	F	-	-	-	-	-
<i>Peridinium SP</i>	-	-	-	-	-	I	IV	UF	C	Lo
<i>Planktothrix agardhii</i> Δ	IV	IV	FI	R	S1	III	III	FI	R	S1
<i>Pseudanabaena limnetica*</i> Δ	IV	III	FI	R	S1	III	IV	FI	R	S1
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	I	II	CNF	C	J	I	II	CNF	C	J
<i>Tetraedron trigonum</i>	I	II	UNF	C	J	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas abrupta</i> Δ	I	IV	UF	C	W2	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas volvocina</i>	I	III	UF	C	W2	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas sp</i>	I	III	UF	C	W2	I	IV	UF	C	W2

Δ - Espécies dominantes em Cacimba da Várzea; \* Espécies dominantes em Várzea Grande

Os resultados da análise de correspondência canônica (ACC) estão apresentados nos gráficos 3 e 4. O teste de Monte Carlo demonstrou que os eixos 1 e 2 foram estatisticamente significativos ( $p \leq 0.05$ ), sinalizando que houve correlação entre as variáveis ambientais e a comunidade fitoplanctônica; os autovalores dos eixos 1 e 2 considerando as variáveis ambientais, foram 43,4% e 25,8 respectivamente.

**Tabela 2.5.** Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre os grupos funcionais e as variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande, PB, no período de janeiro de 2008 a julho de 2009

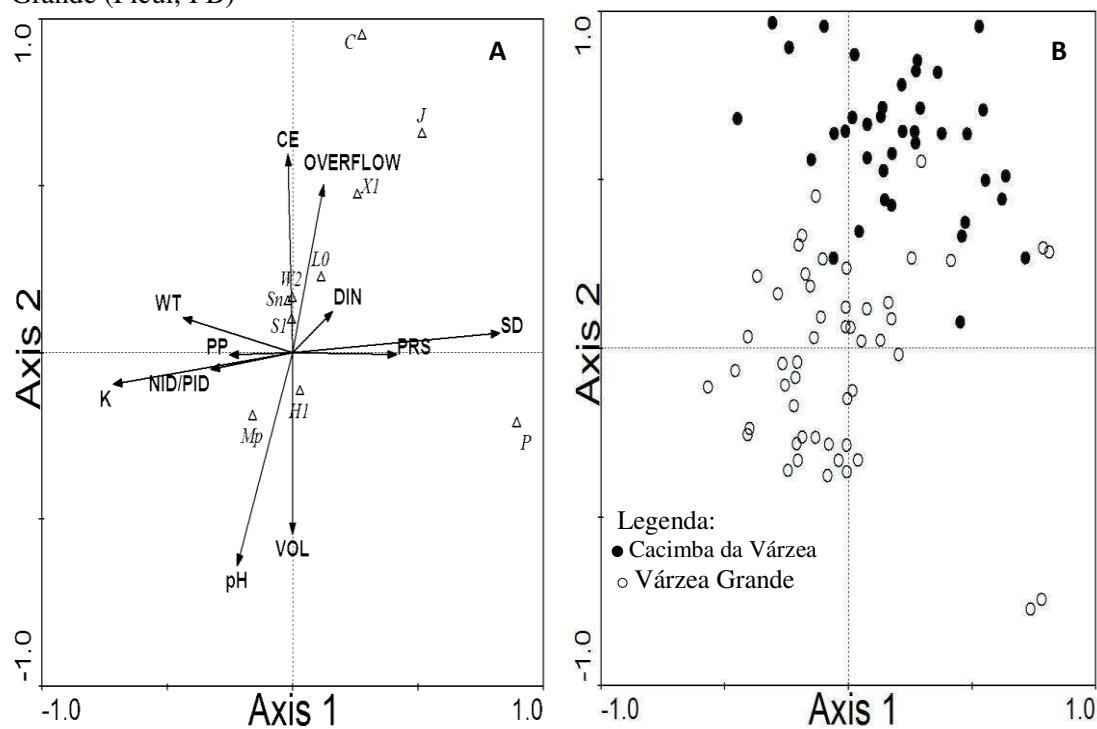
	Eixo 1		Eixo 2	
Eigenvalues	0.22		0.13	
Variância acumulada dos dados bióticos (%)	18.1		28.9	
Variância acumulada da relação associação-ambiente (%)	43.4		69.2	
Correlação associação-ambiente	0.77		0.78	
Teste de Monte Carlo	0.01			
Significância do primeiro eixo canônico – p	0.001			
Significância de todos os eixos canônicos – p	0.001			
	Coeficiente canônico		Correlação intra-set	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
WT	-0.33	0.08	-0.44	0.10
pH	-0.17	-0.50	-0.22	-0.64
CE	-0.01	0.46	-0.02	0.59
PRS	0.32	-0.00	0.41	-0.00
DIN	0.12	0.01	0.16	0.12
VOL	-0.00	-0.43	-0.00	-0.54
OVERFLOW	0.09	0.39	0.12	0.50
PP	-0.19	-0.01	-0.25	-0.00
SD	0.63	0.05	0.82	0.06
K	-0.55	-0.07	-0.71	-0.01
NID/PID	-0.25	-0.04	-0.32	-0.05

As variáveis mais importantes na ordenação positiva do eixo 1 foram a presença de transbordamento, PRS e DIN, que contribuíram para evidenciar a presença dos grupos C, J, X1, Lo em maior proporção em Cacimba da Várzea e S1 e Sn (comumente elevado nos dois reservatórios). No eixo 2 negativo as variáveis pH e volume influenciaram na presença dos grupos Mp e H1, exclusivos do reservatório Várzea Grande. Positivamente, o eixo 2 destacou a transparência de disco de Sechhi (SD) e a

presença de transbordamento, influenciando a presença dos grupos comuns aos dois reservatórios.

A ACC separou as unidades amostrais de Cacimba da Várzea no lado positivo do eixo 1 e aquelas relacionadas a Várzea Grande, nos lados positivo e negativo do eixo 2; entretanto, não separou os meses que apresentaram transbordamento em Cacimba da Várzea (Gráfico 2.7B).

**Gráfico 2.7.** Dispersão dos escores das variáveis abióticas e grupos funcionais (A) e das unidades amostrais (B) ao longo dos dois primeiros eixos da CCA, durante o período de janeiro 2008 a julho de 2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB)



**LEGENDA:** CE= condutividade elétrica; K = coeficiente vertical de atenuação da luz; WT= temperatura da água; PP= precipitação; DIN= nitrogênio inorgânico dissolvido; NID/PID= razão nitrogênio dissolvido inorgânico e fósforo; PRS= fósforo reativo solúvel; SD= Tansparência do disco de Sechhi; VOL= volume de acumulação



O diagrama da ACC evidenciou distinção entre os reservatórios sendo possível observar agrupamento entre os meses nos quais o reservatório Cacimba da Várzea apresentou transbordamento, sendo alocados no lado positivo do eixo 1 (Gráfico 2.8B) agrupando unidades amostrais influenciadas pela transparência, concentrações de nitrogênio e presença de transbordamento, com predominância das espécies C e S, unicelulares não flageladas e flageladas com menores MDL ( $<10 \mu\text{m}$ ) e volume celular (entre  $10^2$  e  $10^3 \mu\text{m}^3$ ); no lado negativo do eixo 1 foram agrupadas as unidades amostrais associadas aos elevados pH; o eixo 2 influenciou negativamente a condutividade elétrica, o coeficiente de atenuação e o NID/PID sendo correlacionadas a eles, espécies R estrategistas, filamentosas com MDL III e VC IV.

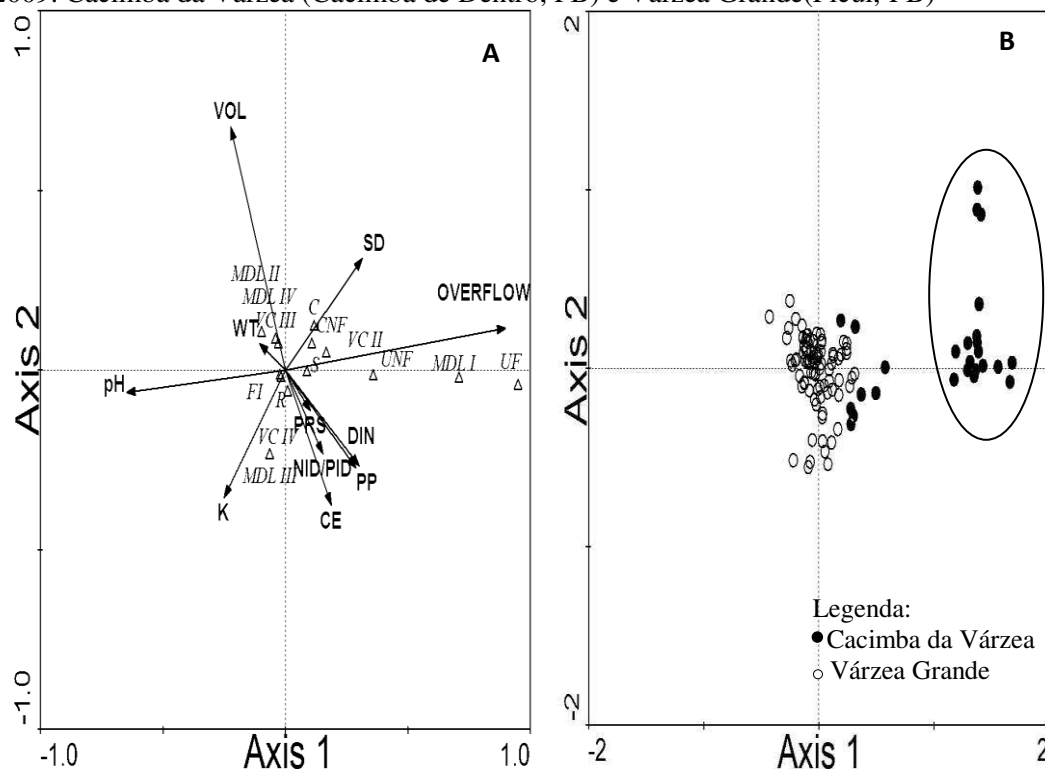
**Tabela 2.6** Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre os traços funcionais e as variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande, PB, no período de janeiro de 2008 a julho de 2009

	Eixo 1	Eixo 2
Eigenvalues	0.11	0.05
Variância acumulada dos dados bióticos (%)	20.3	29.5
Variância acumulada da relação associação-ambiente (%)	52.3	76.1
Correlação associação-ambiente	0.66	0.67
Teste de Monte Carlo	0.01	
Significância do primeiro eixo canônico – p	0.001	
Significância de todos os eixos canônicos – p	0.001	

	Coeficiente canônico		Correlação intra-set	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
WT	-0.07	0.05	-0.11	0.07
pH	-0.43	-0.04	-0.65	-0.06
CE	0.12	-0.25	0.19	-0.37
PRS	0.07	-0.07	0.10	-0.11
DIN	0.11	-0.18	0.30	-0.27
VOL	-0.15	0.45	-0.22	0.68
OVERFLOW	0.59	0.08	0.81	0.12
PP	0.19	-0.18	0.27	-0.27
SD	0.21	0.21	0.31	0.31
K	-0.16	-0.23	-0.25	-0.35
NID/PID	0.10	-0.15	0.15	-0.23

**Gráfico 2.8** Dispersão dos escores das variáveis abióticas e traços funcionais (A) e das unidades amostrais (B) ao longo dos dois primeiros eixos da ACC, no período de janeiro 2008 a julho de 2009. Cacimba da Várzea (Cacimba de Dentro, PB) e Várzea Grande (Picuí, PB)



**LEGENDA:** CE= condutividade elétrica; K = coeficiente vertical de atenuação da luz; WT= temperatura da água; PP= precipitação; DIN= nitrogênio inorgânico dissolvido; NID/PID= razão nitrogênio dissolvido inorgânico e fósforo; PRS= fósforo reativo solúvel; SD= Tansparencia do disco de Sechhi; VOL= volume de acumulação. MDL (Máxima dimensão linear) MDL I (<10  $\mu\text{m}$ ); II (entre 11 e 20  $\mu\text{m}$ ) III (entre 21 e 50  $\mu\text{m}$ ); IV (> 50  $\mu\text{m}$ ); VC= Volume celular: I (<  $10^2 \mu\text{m}^3$ ); II (entre  $10^2$  e  $10^3 \mu\text{m}^3$ ); III (entre  $10^3$  e  $10^4 \mu\text{m}^3$ ) e IV (>  $10^4 \mu\text{m}^3$ )

## Discussão

A maioria dos grupos funcionais encontrados neste estudo é característico de ambientes eutróficos ou em início de eutrofização. Nos dois reservatórios constatou-se predominância do grupo funcional S1, durante praticamente todo o período de estudo; em Cacimba da Várzea as cianobactérias, que se destacaram no grupo S1, foram *Pseudanabaena limnetica* e *Planktothrix agardhii* e em Várzea Grande *Geitlerinema sp*; o grupo S1 reúne cianobactérias filamentosas tolerantes à reduzida luminosidade; foi descrito para águas turvas, turbulentas, rasas e ricas em nutrientes (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009) sugerindo a adaptação desses táxons às condições ecológicas

de ambientes aquáticos sob a influência do clima semiárido. Conforme Morabito et al., (2007) a plasticidade morfológica é uma adaptação individual às restrições ambientais. A distorção da forma esférica é uma adaptação para se utilizar baixas intensidades de luz (BRASIL; HUSZAR, 2011), diminuição das perdas por sedimentação (KRUK et al., 2010) bem como resistência à herbivoria pelo zooplâncton pois os longos filamentos podem bloquear o sistema de filtração desses organismos (DEMOTT et al., 2001)

O grupo Sn esteve codominando com S1, em menores proporções. De acordo com Reynolds (2002) a dominância das associações S1, Sn, H1 e Mp é comum em ambientes eutróficos; muitos desses grupos também foram relatados em diversos reservatórios, incluindo os eutróficos localizados no semiárido do Nordeste Brasileiro (BOUVY et al, 2000; HUSZAR et al, 2000; CHELLAPPA e COSTA, 2003; MOURA, et al., 2007; MOLISANI, 2010)

A ACC diferenciou os dois reservatórios em termos de grupos funcionais, pela maior representatividade dos grupos C, J e X1 em Cacimba da Várzea, já que os grupos S1 e Sn se mantiveram constantemente em proporções elevadas nos dois reservatórios. Desta forma, os eventos de transbordamento, aliados à diminuição das concentrações iônicas (condutividade elétrica), ao aumento da transparência da água e redução das concentrações de nitrogênio inorgânico favoreceram, em Cacimba da Várzea, a presença mais evidente de clorofitas unicelulares (X1 e J) e de diatomáceas (C) refletindo as condições hidrodinâmicas deste reservatório principalmente durante o transbordamento. Vários autores concordam que a predominância de organismos menores reflete a turbulência do sistema. Melo e Huszar (2000) estudando um lago amazônico durante condições de águas mais elevadas, verificaram que, neste período o fitoplâncton se restringiu a algas pequenas e de crescimento rápido e invasivo (C-estrategistas) pertencentes ao grupo funcional X1 (MELO; HUSZAR 2000).

As espécies fitoplanctônicas de diferentes sistemas aquáticos não apresentam as mesmas tolerâncias e sensibilidades, sendo influenciadas por seus traços morfológicos e fisiológicos, os quais favorecem o predomínio de espécies melhor adaptadas às condições ambientais prevalecentes. Nos ambientes estudados houve predomínio de espécies R estrategistas distribuídas nos grupos S1 e Sn. Essas espécies são altamente tolerantes ou dependentes da mistura com elevada MDL e Vc, conferindo resistência às condições limitantes de luz, razão de sua dominância quanto aos demais grupos bem como a competição entre esses dois grupos. De acordo com Nixdorf et al., 2003,

espécies pertencentes ao grupo H1, Sn e S1, estão frequentemente em competição. Neste estudo a S1 se sobressaiu em relação às demais, sendo que *Pseudanabaena limnetica* e *Planktothrix agardhii* estiveram mais adaptadas às condições de mistura de Cacimba da Várzea e *Geitlerinema sp.*, aquelas apresentadas por Várzea Grande.

De modo geral, a utilização de grupos funcionais, em conjunto com a caracterização morfológica e estrutural fitoplanctônica que traduzem as adaptações necessárias às condições ambientais prevalentes, se constituiu em uma ferramenta eficaz no monitoramento dos ecossistemas aquáticos na medida em que prevê e sintetiza as relações entre ambiente e espécies.

## Referências

BORGES, P.A.F.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L.C. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. **Hydrobiologia, The Hague**, v. 607, p. 63-74, 2008.

BRASIL, J.; HUSZAR, V.L.M. O papel dos traços funcionais na Ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis** 15(4): 799-834, 2011.

BOUVY, M.; FALCÃO, D., MARINHO, M.; PAGANO, M.; MOURA, A. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. **Aquat Microb Ecol.** 23:13–27, 2000.

CHELLAPPA, N.T.; COSTA, M.A.M. Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a Eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. **Acta Oecologica**, 24: S3–S10, 2003.

COLE, G. (1983) **Textbook of limnology**. 3 ed. London: The C.V. Mosby Co. 436.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. Variação sazonal dos grupos funcionais fitoplanctônicos em braços de um reservatório tropical de usos múltiplos no estado de São Paulo (Brasil) **Acta Botanica Brasilica** 25(4): 822-831, 2011.

DEMOTT, W.; GULATI, R.; VAN DONK, E. Daphnia food limitation in three hypereutrophic Dutch lakes: Evidence for exclusion of large-bodied species by interfering filaments of cyanobacteria. **Limnol. Oceanogr.** 46(8):2054 -2060, 2001.

FONSECA, B.M.; BICUDO, C.E.M. How important can the presence/ absence of macrophytes be in determining phytoplankton strategies in two tropical shallow reservoirs with different trophic status? **Journal of Plankton Research**, 32: 31– 46 . 2010.

HILLEBRAND, H.; DURSELEN, C.D.; KIRSCHTEL, D.; POLLINGER, U.; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. **J. Phycol.** 35: 403-424. 1999.

- HUSZAR, V.L.M.; CARACO, N.F. The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological functional descriptors in six temperate lakes. **Freshwater Biology**, 40: 679- 696. 1998.
- HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L.H.S; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C.L. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical brazilian waters. **Hydrobiologia**, 424: 67–77, 2000.
- JENSEN, P.; JEPPESEN, E.; OLRİK, K.; KRISTENSEN, P. Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 51: 1692–1699. . 1994.
- KRUK, C.; MAZZEO, N.; LACEROT, G.; REYNOLDS, C.S. Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. **Journal Plankton Research**, 24: 1191-1216, 2002.
- KRUK, C.; HUSZAR, V.L.M.; PEETERS, E.; BONILLA, S.; COSTA, L.; LURLING, M.; REYNOLDS, C.S.; SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biol.** 55: 614-627, 2010.
- LUND, J.W.G.; KIPLING, C.; LE CREN, D. The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimation by counting. **Hydrobiologia**, 11: 143-170. 1959.
- MARINHO, M.M.; HUSZAR, V.L.M. Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). **Arch Hydrobiol** 153: 443-468, 2002.
- MELO, S.; HUSZAR, V.L.M. Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brasil): dielvariation and species strategies. **J. Plank. Research** 22 (1):63-76, 2000.
- MOURA, A.N.; DANTAS, E.W.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C. Structure of the phytoplankton in a water supply system in the state of Pernambuco – Brazil. **Braz. Arch. Biol. Technol.** 50(4): 645-654, 2007
- MOLISANI, M.M.; BARROSO, H.S.; BECKER, H.; MOREIRA, M.O.P.; HIJO, C.A.G.; DO MONTE, T.M.; VASCONCELLOS, G.H. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão Reservoir, CE, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 22: 1-12, 2010.
- MORABITO, G.; OGGIONI, A.; CARAVATI, E.; PANZANI, P. Seasonal morphological plasticity of phytoplankton in Lago Maggiore (N. Italy). **Hydrobiologia**, 578: 47-57, 2007.
- NIXDORF, B.; MISCHKE, U.; RÜCKER, J. Phytoplankton assemblages and steady state in deep and shallow eutrophic lakes – an approach to differentiate the habitat properties of Oscillatoriales. **Hydrobiologia**, v.502, n.1-3, p.111-121, 2003.

PARAÍBA, **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Governo do Estado da Paraíba. SECTMA/AESA. Brasília DF, 2006.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L.O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, 621: 1-19, 2009.

PADISÁK, J.; REYNOLDS, C.S. Selection of phytoplankton association in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokaryotes. **Hydrobiologia**, 384: 41-53, 1998.

POOLE, H.H.; ATKINS, W.R.G. Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. **Journal of the Marine Biological Association of India**, 16: 297-324, 1929.

REYNOLDS, C.S. **Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory**. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe. 371 p. 1997

REYNOLDS, C.S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? **Hydrobiologia** 369/370: 11–26. 1988.

REYNOLDS, C.S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of plankton research** , n. 5, 24:417-428. 2002.

SHAPIRO, J. Currents beliefs regarding dominance by blue-greens: the case of the importance of CO<sub>2</sub> and pH. **Verhand lungendes international envereinig ungfür Theore tscheund Ange wanted limnologie**, 24: 38-54, 1990.

SIEBURTH, J.M.C.N.; SMETACEK, V.; LENZ, J. Pelagic ecosystem structure:heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions **Limnology and Oceanography**, 23:1256-1263, 1978.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research** 25: 1331-1346, 2003.

TOLEDO Jr, A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J., AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1.34, 1983.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. Mitt it Verein. Theor. Angew. **Limnol.** 9: 1-38, 1958.

WEITHOFF, G. The concepts of ‘plant functional types’ and ‘functional diversity’ in lake phytoplankton – a new understanding of phytoplankton ecology? **Freshwater Biology**, 48: 1669-1675, 2003.

***CONSIDERAÇÕES FINAIS***

Sendo a comunidade fitoplanctônica a discriminadora das condições ambientais prevaescentes, o predomínio de cianobactérias retratou as condições eutróficas evidenciadas nos reservatórios estudados, sobressaindo-se principalmente espécies com elevados MDL e volume celular, R estrategistas e filamentosas, demonstrando a presença de traços adaptativos para explorar ambientes misturados, com forte limitação de luz e presença de distúrbios hidráulicos como, por exemplo, o transbordamento. Referida constatação corrobora com a hipótese de que o processo de eutrofização favorece a dominância de cianobactérias nos reservatórios.

Os grupos funcionais S1e Sn dominaram em Cacimba da Várzea, e S1 e Mp em Várzea Grande, durante todo o período de estudo, sobressaindo-se principalmente quando os reservatórios apresentaram menores volumes de acumulação; já os grupos H1, C, P, X1, Lo, J e W2 predominaram em períodos de níveis de águas acumuladas mais elevados. Confirma-se a hipótese de que a distribuição de grupos funcionais fitoplanctônicos responde temporal e espacialmente, à variação de volume de acumulação de água dos açudes do semiárido.

Quanto às espécies identificadas dentro dos grupos funcionais dominantes, *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena limnetica* (S1), *Cylindrospermopsis raciborskii* (Sn) *Oscillatoria sp* (Mp) e *Aphanizomenon sp* (H1) são potencialmente toxigênicas. Considerando os usos para recreação, piscicultura e abastecimento humano e a presença de microcistinas em 6 meses consecutivos de avaliação (janeiro a junho/2009) com concentrações de até 5 µg/L em Várzea Grande, faz-se necessário o monitoramento sistemático dos mesmos e dos peixes ali criados.

As florações de cianobactérias potencialmente toxigênicas representam, atualmente, um dos principais problemas para a qualidade da água dos reservatórios do semiárido do Nordeste brasileiro e, certamente um dos principais desafios para os diferentes setores responsáveis pela gestão dos recursos hídricos.

Medidas de manejo desses corpos de água deveriam ser discutidas pelos órgãos de gestão para que atividades como a piscicultura intensiva respondam às condições da capacidade suporte desses ecossistemas, principalmente na época com menor renovação de água, para que os açudes possam atender aos seus usos múltiplos, sobretudo ao abastecimento humano.

A análise de viabilidade econômica versus custo ambiental do empreendimento de piscicultura intensiva nos açudes do semiárido nordestino, é recomendada, com a



redução do número de tanques de criação em épocas de estiagem. Recomenda-se, ainda, a avaliação da presença de microcistinas nos músculos dos peixes para conhecer se o consumo de pescado oferece risco à saúde da população consumidora.

***APÊNDICES***

## APÊNDICE A

Espécies descritoras fitoplanctônicas e os respectivos grupos funcionais (GF) dos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea Grande, durante o período de janeiro de 2008 a julho de 2009.

Grupos Funcionais	Cacimba da Várzea Espécies representantes	Várzea Grande Espécies representantes
<b>C</b>	<i>Cyclotella menegheniana</i>	<i>Cyclotella menegheniana</i>
<b>F</b>	<i>Oocystis sp1</i>	
<b>H1</b>		<i>Aphanizomenom sp</i>
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<b>J</b>	<i>Crucigenia crucifera</i> <i>Tetraedron trigonum</i>	<i>Coelastrum astroideum</i>
<b>Lo</b>	<i>Chroococcus minor</i> <i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Peridinium sp</i> <i>Merismopedia glauca</i>
<b>Mp</b>		<i>Oscillatoria sp.</i>
	<i>Dictiosphaerium pulchelon</i> <i>Fragillaria sp.</i>	<i>Dictiosphaerium pulchelon</i> <i>Dictiosphaerium ehrenbergianum</i>
<b>P</b>	<i>Closterium sp</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> <i>Fragillaria sp.</i> <i>Closterium sp</i>
<b>Sn</b>	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> <i>Dolichospermum macrospora</i>
<b>S1</b>	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Pseudanabaena limnetica</i> <i>Geitlerinema sp</i> <i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Pseudanabaena limnetica</i> <i>Geitlerinema sp</i>
<b>X1</b>	<i>Monoraphidium contortum</i> <i>Monoraphidium griffithii</i> <i>Trachelomonas abrupta</i>	<i>Monoraphidium irregulari</i>
<b>W2</b>	<i>Trachelomonas sp.</i> <i>Trachelomonas volvocina</i>	<i>Trachelomonas sp</i>

## APÊNDICE B 1

Contribuição relativa (%) mensal e habitat das espécies dominantes no período de janeiro/08 a julho/2009, na E1, Cacimba da Várzea.

	<b>Espécies</b>	<b>%</b>	<b>GF</b>	<b>Habitat</b>
Jan.08	<i>Planktothrix agardhii</i>	98,84	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Fev. 08	<i>Planktothrix agardhii</i>	82,96	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mar.08	<i>Planktothrix agardhii</i>	65,45	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 08	<i>Planktothrix agardhii</i>	55,81	S1	Águas misturadas,túrbidas e rasas
Mai.09				
Jun.08				
Jul.08				
Ago.08				
Set.08				
Out.08	<i>Cyclotella menigniana</i>	55,13	C	Ambientes pequenos ou médios, eutróficos e misturados
Nov.08				
Dez.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	66,08	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jan.09	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	55,28	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Fev. 09				
Mar. 09	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	59,97	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 09	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	50,41	Sn	Camadas misturadas, quentes
Mai.09	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	50,77	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jun.09				
Jul.09				

## APÊNDICE B2

Contribuição relativa (%) mensal e habitat das espécies dominantes no período de janeiro/08 a julho/2009, na E2, Cacimba da Várzea

	<b>Espécies</b>	<b>%</b>	<b>GF</b>	<b>Habitat</b>
Jan.08	<i>Planktothrix agardhii</i>	97,04	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Fev. 08	<i>Planktothrix agardhii</i>	77,62	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mar.08			S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 08	<i>Planktothrix agardhii</i>	86,39	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mai.08	<i>Planktothrix agardhii</i>	73,56	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jun.08	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	54,64	Sn	Camadas misturadas, quentes
Jul.08	<i>Closterium sp</i>	61,28	P	Epilimnio eutrófico
Ago.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	51,35	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Set.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	50,91	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Out.08				
Nov.08				
Dez.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	57,22	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jan.09				
Fev. 09				
Mar. 09	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	62,99	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 09				
Mai.09	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	50,88	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jun.09				
Jul.09				

### APÊNDICE B3

Contribuição relativa (%) mensal e habitat das espécies dominantes no período de janeiro/08 a julho/2009, na E3, Cacimba da Várzea

	<b>Espécies</b>	<b>%</b>	<b>GF</b>	<b>Habitat</b>
Jan.08	<i>Planktothix agardhii</i>	94,95	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Fev. 08	<i>Planktothix agardhii</i>	66,81	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mar.08	<i>Planktothix agardhii</i>	55,05	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 08	<i>Trachelomonas abrupta</i>	79,94	W2	Águas rasas, meso-eutrófica
Mai.08				
Jun.08	<i>Trachelomonas abrupta</i>	93,58	W2	Águas rasas, meso-eutrófica
Jul.08	<i>Closterium sp</i>	60,41	P	Epilimnio eutrófico
Ago.08				
Set.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	59,70	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Out.08				
Nov.08				
Dez.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	64,74	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jan.09				
Fev. 09				
Mar. 09	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	58,84	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 09				
Mai.09	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	60,98	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jun.09	<i>Trachelomonas abrupta</i>	90,11	W2	Águas rasas, meso-eutrófica
Jul.09	<i>Trachelomonas abrupta</i>	61,84	W2	Águas rasas, meso-eutrófica

## APÊNDICE C1

Contribuição relativa (%) mensal e habitat das espécies dominantes no período de janeiro/08 a julho/2009, na E1, Várzea Grande.

	<b>Espécies</b>	<b>%</b>	<b>GF</b>	<b>Habitat</b>
Jan.08	<i>Oscillatoria</i> sp	96,10	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Fev. 08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	98,58	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mar.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	99,51	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	59,01	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mai.08	<i>Aphanizomenon</i> sp	63,45	H1	Eutróficos, rasos com baixas concentrações de nitrogênio
Jun.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	51,51	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jul.08				
Ago.08				
Set.08	<i>Geitlerinema</i> sp	68,94	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Out.08	<i>Geitlerinema</i> sp	94,24	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Nov.08	<i>Geitlerinema</i> sp	75,00	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Dez.08	<i>Geitlerinema</i> sp	53,89	S1	Águas misturadas, turbidas e rasas
Jan.09	<i>Oscillatoria</i> sp	76,84	Mp	Águas rasas túrbidas, túrbidos e inorgânicos
Fev. 09	<i>Oscillatoria</i> sp	78,50	Mp	Águas rasas túrbidas, túrbidos e inorgânicos
Mar. 09				
Abr. 09	<i>Oscillatoria</i> sp	54,35	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Mai.09				
Jun.09				
Jul.09	<i>Geitlerinema</i> sp	59,60	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas

## APÊNDICE C2

Contribuição relativa (%) mensal e habitat das espécies dominantes no período de janeiro/08 a julho/2009, na E2, Várzea Grande.

	<b>Espécies</b>	<b>%</b>	<b>GF</b>	<b>Habitat</b>
Jan.08				
Fev. 08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	98,92	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mar.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	99,40	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	87,74	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Maio.08				
Jun.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	81,23	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jul.08	<i>Aulacoseira granulata</i>	52,11	P	Epilimnio eutrófico
Ago.08	<i>Aulacoseira granulata</i>	98,30	P	Epilimnio eutrófico
Set.08				
Out.08	<i>Geitlerinema sp</i>	56,01	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Nov.08	<i>Geitlerinema sp</i>	83,91	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Dez.08	<i>Geitlerinema sp</i>	66,09	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jan.09	<i>Oscillatoria sp</i>	83,63	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Fev. 09	<i>Oscillatoria sp</i>	60,53	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Mar. 09	<i>Geitlerinema sp</i>	50,68	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 09	<i>Geitlerinema sp</i>	55,50	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Maio.09	<i>Oscillatoria sp</i>	67,84	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Jun.09	<i>Geitlerinema sp</i>	51,16	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jul.09	<i>Geitlerinema sp</i>	51,93	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas



### APÊNDICE C3

Contribuição relativa (%) mensal e habitat das espécies dominantes no período de janeiro/08 a julho/2009, na E3, Várzea Grande.

	<b>Espécies</b>	<b>%</b>	<b>GF</b>	<b>Habitat</b>
Jan.08				
Fev. 08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	83,01	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Mar.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	97,66	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Abr. 08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	96,15	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Maio.08				
Jun.08	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	62,92	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jul.08				
Ago.08	<i>Aulacoseira granulata</i>	96,89	P	Epilimnio eutrófico
Set.08	<i>Aulacoseira granulata</i>	78,20	P	Epilimnio eutrófico
Out.08	<i>Aphanizomenon</i> sp	60,76	C	Ambientes pequenos ou médios, eutróficos e misturados
Nov.08	<i>Geitlerinema</i> sp	53,55	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Dez.08	<i>Geitlerinema</i> sp	62,41	S1	Águas misturadas, túrbidas e rasas
Jan.09	<i>Oscillatoria</i> sp	80,12	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Fev. 09	<i>Oscillatoria</i> sp	72,44	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Mar. 09				
Abr. 09	<i>Oscillatoria</i> sp	51,47	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas
Maio.09				
Jun.09				
Jul.09	<i>Oscillatoria</i> sp	63,98	Mp	Águas rasas túrbidas e inorgânicas

## APÊNDICE D

Valores mínimos (Min), medios (Méd), máximos (Máx) e desvios padrões (DP) das variáveis ambientais, índice do estado trófico e biomassa total nos 3 pontos de coleta, no período de janeiro/2008 a julho de 2009, no reservatório Cacimba da Várzea, Cacimba de Dentro, PB.

CACIMBA DA VÁRZEA			
Variáveis	Entrada de tributários (E1)	Próximo aos tanques redes (E2)	Zona de barragem (E3)
	Méd DP Min-Máx	Méd DP Min-Máx	Méd DP Min-Máx
Transparência (Secchi)	0,56 ± 0,13 (0,2-0,75)	0,58 ± 0,13 (0,2-0,76)	0,57 ± 0,14 (0,2-0,8)
Zeü	1,50 ± 0,35 (0,54-2,03)	1,57 ± 0,35 (0,54-2,05)	1,55 ± 0,37 (0,54-2,16)
Zeü/Zmis	0,11 ± 0,02 (0,04-0,14)	0,15 ± 0,03 (0,05-0,22)	0,12 ± 0,03 (0,04-0,17)
K <sub>o</sub> (m <sup>-1</sup> )	3,34 ± 1,34 (2,27-8,5)	3,19 ± 1,34 (2,24-8,5)	3,24 ± 1,33(2,13-8,5)
Profundidade (m)	13,89 ± 1,59 (9,53-15,02)	10,83 ± 1,25 (7,43-11,71)	12,94 ± 1,50 (8,87-13,99)
Temperatura	27,32 ± 1,15 (24,87 - 29,50)	27,41 ± 1,11 (25,03 - 29,13)	27,36 ± 1,09 (25,67- 29,5)
Oxigênio dissolvido	7,52 ± 1,92(3,97-10,71)	7,45 ± 2,05(3,04 -10,15)	8,01 ± 2,42 (2,79-13,25)
pH	8,03 ± 0,21(7,54-8,44)	7,99 ± 0,22 (7,53-8,28)	8,06 ± 0,19(7,67-8,37)
C.E	3090,79 ± 877,47(2153,33-5323,33)	3088,18 ± 882,02(2185-5199,67)	3108,18± 926,15(2064,33-5165,67)
Ptotal	481,18 ± 378,11 (79,43-1257,50)	470,04 ± 302,63(125,74-1269,17)	427 ± 256,10(90,57-935,83)
PRS	86,56 ± 76,67(1,57-265,43)	113,64±101,96(0-502,14)	87,87±70(2,29-293,57)
NTI	514,74 ± 579,37(52,58-2108,56)	592,37±680,98(106,57-2255,70)	500,83±507,58(85,69-1751,52)
NID/PID	10,52 ± 8,01 (1,77-31,35)	11,56 ± 10,91 (0,01-40,58)	12,92 ± 15,48 (3,22-68,32)
IET	64,49 ± 12,44 (36,42-83,36)	67,13± 9,64(47,38-84,94)	66,02± 11 (45,99-81,73)
Biomassa Total	1,10± 1,60 (0,11-7,41)	1,05± 1,13(0,10-1,13)	1,71± 2,27(0,17-10,15)

## APÊNDICE E

Valores mínimos (Min), médios (Méd), máximos (Máx) e desvios padrões (DP) das variáveis ambientais, índice do estado trófico e biomassa total nos 3 pontos de coleta, no período de janeiro/2008 a julho de 2009, no reservatório Várzea grande, Picuí, PB.

VÁRZEA GRANDE						
Variáveis	Entrada de tributários (E1)		Próximo aos tanques redes (E2)		Zona de barragem (E3)	
	Méd	DP Min-Máx	Méd	DP Min-Máx	Méd	DP Min-Máx
Transparência (Secchi)	0,53± 0,17	(0,34-0,95)	0,53± 0,17	(0,32-0,95)	0,56± 0,21	(0,33-1,11)
Zeü	1,44± 0,45	(0,92-2,57)	1,44± 0,45	(0,86-2,57)	1,52± 0,56	(0,89-3)
Zeü/Zmis	0,15± 0,05	(0,09-0,27)	0,14± 0,04	(0,09-0,25)	0,11± 0,04	(0,06-0,22)
K <sub>o</sub> (m <sup>-1</sup> )	3,44± 0,86	(1,79-5)	3,46± 0,88	(1,79-5,31)	3,36± 0,98	(1,53-5,15)
Profundidade (m)	10,29±2,49	(4,05-12,50)	11,03±2,67	(4,34-13,40)	14,73±3,57	(5,8-17,90)
Temperatura	26,17±1,46	(23-28,27)	26,24±1,29	(23-28,10)	26,74±1,29	(23,67-28,4)
Oxigênio dissolvido	7,86±2,63	(2,82-12,80)	6,89±2,26	(2,57-10,43)	7,51±2,52	(2,30-12,80)
pH	8,53±0,34	(7,86-9,22)	8,52±0,33	(7,99-9,3)	8,54±0,30	(7,74-9,02)
C.E	1935,65±488,43	(1337-3444,33)	1962,68±450,54	(1371,33-3397,33)	1967,04±452,67	(1396-3415,67)
Ptotal	571,32±347,45	(78,13-1087,50)	593,09±321,16	(119,54-1162,50)	585,61±356,88	(80,20-1170,83)
PRS	122,02±101,23	(9,29-384,29)	137,03±101,31	(14,29-342,14)	147,30±92,70	(15,67-363,57)
NTI	279,45±244,28	(58,75-1139,92)	330,25±223,01	(116,18-1010,56)	308,46±198,32	(54,25-825,44)
NID/PID	12,44±26,88	(1,92-123,73)	9,89±13,13	(1,81-50,79)	6,61±5,61	(1,10-24,07)
IET	69,11±11,79	(47,65-82,13)	71,13±9,86	(50,07-82,51)	70,94±12,71	(42,17-88,99)
Biomassa Total	35,15±32,47	(0,08-98,35)	33,05±26,99	(0,23-81,17)	48,23±37,19	(0,34-128,56)

**APÊNDICE F**

Valores médios do índice do estado trófico nos 3 pontos de coleta, no período de janeiro/2008 a julho de 2009, nos reservatórios Cacimba da Várzea e Várzea grande.

	Cacimba da Varzea			Varzea Grande		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
jan/08	75,93	72,85	73,80	80,49	76,32	75,32
fev/08	73,09	75,93	77,44	72,85	80,34	82,64
mar/08	81,87	84,94	81,73	80,49	82,00	81,06
abr/08	81,06	81,06	81,73	80,49	81,60	82,38
mai/08	83,36	67,91	71,56	76,13	79,59	75,93
jun/08	71,29	72,35	71,29	82,13	82,51	82,88
jul/08	67,56	67,56	67,91	78,64	77,79	88,99
ago/08	66,84	77,26	77,44	71,83	72,35	80,20
set/08	71,56	71,83	75,12	77,79	78,80	76,51
out/08	49,58	61,48	51,85	75,93	73,56	69,23
nov/08	63,49	64,84	69,85	75,53	74,90	74,02
dez/08	68,59	74,69	64,40	76,89	75,73	80,77
jan/09	63,96	65,67	67,56	62,97	68,32	69,23
fev/09	60,82	62,14	61,91	61,46	62,52	62,57
mar/09	57,09	59,14	59,59	61,21	62,42	61,49
abr/09	46,78	47,38	46,58	52,48	58,76	62,83
mai/09	50,30	50,09	45,99	47,65	57,22	42,17
jun/09	36,42	58,49	55,55	48,36	50,07	46,88
jul/09	55,65	59,83	52,99	49,84	56,58	52,82