



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

I-012 – PERSISTENTE FLORAÇÃO DA CIANOACTÉRIA *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek NO AÇUDE GAVIÃO, PACATUBA/CE, E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O ABASTECIMENTO DA CIDADE DE FORTALEZA

Andrea Cristina da Silva Ferreira¹

Bióloga pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, mestre em Botânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro/Museu Nacional e doutoranda em Engenharia Civil – Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará.

Valter Lúcio de Pádua

Engenheiro Civil pela UFMG, mestre e doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP, professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, pesquisador PROFIX/CNPq.

Endereço(1): Av. Borges de Melo, 1001, bl. E-10, aptº 202 – bairro Fátima – Fortaleza – CE – cep: 60.415-510

 andcrisfe@ig.com.br

RESUMO

Este estudo avalia e descreve o atual estado de qualidade das águas do açude Gavião com relação ao seu nível trófico e ao desenvolvimento do fitoplâncton. Também discute as causas deste desenvolvimento, localizando pontos de aportes de nutrientes. O mesmo foi realizado a partir de coletas mensais a partir de julho de 2002 até julho de 2003. As coletas foram realizadas em até nove postos, em três profundidades. Foram avaliadas as principais fontes inorgânicas de nitrogênio e fósforo para o fitoplâncton, além dos valores totais dos mesmos, entre outras análises. A partir do modelo de variação sazonal do fitoplâncton no açude, foram definidos dois períodos de ocorrência: a) de julho/02 a janeiro/03 – período de altas biomassas; b) de fevereiro/03 a junho/03 – período de declínio de biomassa. Tais períodos coincidiram, de forma geral, com o padrão histórico de distribuição das chuvas. Assim, durante o verão (julho a dezembro) predominam ventos fortes e quase total ausência de chuvas; e durante o inverno (janeiro a junho) predominam alta pluviosidade e redução da velocidade dos ventos. As águas do Açude Gavião podem ser definidas como: mesotróficas a eutróficas; de baixas razões nitrogênio/fósforo (N/P e $NID/PO_4^- < 20$), indicando limitação por nitrogênio; deficientes em nitrogênio inorgânico dissolvido, durante o primeiro período de ocorrência; e com pH levemente alcalino a levemente ácido, no inverno. A qualidade das águas que chegam ao açude através do canal do Riachão, em grande parte, define a qualidade das águas deste açude, assim em futuros programas de recuperação deste açude deve ser considerado o efeito da interligação de açudes de diferentes bacias hidrográficas. Com relação ao desenvolvimento fitoplanctônico verificado no açude Gavião e as implicações para o abastecimento da cidade de Fortaleza, de acordo com a proposta dos níveis de alerta relacionados por Azevedo & Brandão (2003), que foram adaptados à realidade brasileira e estão de acordo com a portaria 1469/MS/00, o manancial encontra-se no nível de alerta 2 que se caracteriza pela confirmação do estabelecimento de uma floração de cianobactérias causando problemas na qualidade da água e é recomendável preparar-se para a possibilidade de ser necessária a disponibilização de uma fonte alternativa de água.

PALAVRAS-CHAVE: Cianobactérias, *Planktothrix agardhii*, abastecimento e florações.

INTRODUÇÃO

O acelerado processo de eutrofização de corpos d'água superficiais, principalmente devido a influências antrópicas relacionadas ao desenvolvimento de atividades industriais, agropastoris, bem como pelo despejo do esgoto produzido em centros urbanos, tem levado a freqüentes eventos de desenvolvimento massivo de cianobactérias em todos os continentes do mundo.

Apesar da eutrofização ser a causa primária da ocorrência de florações de cianobactérias, parâmetros secundários ligados ao processo podem ser relacionados como fatores importantes para definir tais ocorrências. Huszar *et al.* (2000)

enumeraram os parâmetros mais comumente esperados, a partir da literatura, se relacionarem com a biomassa de cianobactérias, quais sejam: **a)** escassa turbulência; **b)** pouca luz; **c)** baixa razão zona eufótica/zona de mistura; **d)** altas temperaturas; **e)** baixo CO₂/alto pH; **f)** altas concentrações de fósforo total; **g)** baixos teores de nitrogênio total; **h)** baixas razões N-total/P-total e; **i)** baixas concentrações de N- inorgânico dissolvido. Além de características intrínsecas a estes organismos como: estratégias para estocagem de fósforo; habilidade para minimizar a herbivoria e; flutuabilidade autoregulada.

Metabólitos secundários produzidos pelas cianobactérias causam sérios problemas à qualidade da água, mais sérios ainda quando destinada ao abastecimento humano. Estes metabólitos podem ser alergênicos, conferir gosto e odor à água ou serem tóxicos. Embora pouco estudados, registros de sintomas alérgicos em banhistas de águas com massivo desenvolvimento de cianobactérias são amplamente conhecidos (CHORUS 1992), incluindo relatos de sintomas como conjuntivites, dermatites e distúrbios gastrintestinais. Com relação aos compostos que podem conferir gosto e odor à água, há uma quantidade de metabólitos algais voláteis, resultantes da decomposição de certos compostos celulares, que têm tal propriedade, dos quais dois muito potentes e comumente relatados são a geosmina e 2-methylisoborneol (2-MIB). Tais compostos são documentados como fonte de odor de terra e de mofo (KENEFFICK *et al.* 1992), provém da degradação de pigmentos (CHORUS 1992) e não têm relação com a produção de toxinas (KENEFFICK *et al.* 1992). O terceiro grupo de metabólitos que pode ser produzido por cianobactérias, o das cianotoxinas, é dos mais preocupantes com relação à sua presença, sendo hoje mais um parâmetro para a avaliação da qualidade da água para consumo humano no Brasil, pela portaria 1469/00/MS. Comprovadamente foi a intoxicação por microcistina, uma cianotoxina, que causou a morte de 60 pacientes renais crônicos, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica na cidade de Caruaru (PE-Brasil), em 1996 (AZEVEDO 1998).

A remoção do fitoplâncton, e em especial das cianobactérias e seus metabólitos, de águas superficiais tem sido um problema constante para as Estações de Tratamento de Água pelo potencial risco à saúde pública decorrente da possibilidade da presença de cianotoxinas. Preservando-se a integridade das células de cianobactérias e em florações não senescentes, uma eficiente remoção das células nas ETAs pode eliminar com grande eficiência as cianotoxinas. Lathi (1997) defende que não deve haver fitoplâncton na água tratada, mas pela dificuldade na eliminação total do mesmo, ressalta, citando estudos de Janssens & Buekens (1993), que a meta de remoção para um tratamento eficiente deve ser de 99,9%.

Estudos para o manejo e restauração de reservatórios eutrofizados podem ser eficientes neste propósito, reduzindo efeitos indesejáveis do desenvolvimento massivo de cianobactérias. Exemplo bem sucedido foi o programa realizado no Lago Paranoá, DF/Brasília, iniciado em 1976, cujas principais ações implementadas foram: treinamento de técnicos, construção de um laboratório de limnologia para um permanente programa de monitoramento de qualidade da água e a construção de um sistema de tratamento de esgotos. Pela compreensão do fósforo como fator limitante do crescimento do fitoplâncton naquele ambiente e para a implementação do programa de restauração, foram desenvolvidos modelos matemáticos descrevendo a dinâmica do fósforo no lago e seus níveis aceitáveis para uma restrição do crescimento fitoplanctônico (MATTOS *et al.* 1992).

Tendo sido observada a formação de visível floração de cianobactérias no açude Gavião em fevereiro de 2002, foi iniciado programa de monitoramento desta floração concomitantemente com o de parâmetros físicos, químicos e físico-químicos do açude, além da avaliação da toxicidade da floração, a partir de julho de 2002, objetivando-se compreender as causas deste desenvolvimento massivo de cianobactérias e dar subsídios para posteriores estudos de restauração que possam prever e minimizar este tipo de evento e suas implicações para a saúde da população.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local de estudos: O Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza, inaugurado em 1981, atende Fortaleza e cidades circunvizinhas, que conjuntamente compõe a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), e o I Distrito Industrial. Para garantir o suprimento deste sistema, mananciais formados pelo barramento de rios de diferentes bacias foram interligados, tendo como corpo receptor final o Açude Gavião (figura 1), onde funciona a Estação de Tratamento de Águas do Gavião. O açude Gavião localiza-se no município de Pacatuba – CE, com as seguintes coordenadas de seus vértices: **1)** 03°54'16.85"S e 038°34'53.83"W; **2)** 03°54'35.94"S e 038°33'04.57"W e; **3)** 03°56'57.65"S e 038°34'44.22"W (datum horizontal Córrego Alegre). Todos os pontos amostrados durante este estudo estão demarcados na figura 2, mas somente os pontos 1, 5, 6, 7 e 9 foram selecionados para serem monitorados por dois anos (até agosto/2004). Os demais foram monitorados somente durante o primeiro semestre num curto período. A profundidade média do açude é de 5m, mas chega a 12m no ponto 9.

Coletas no açude: Foram realizadas mensalmente de julho de 2002 a julho de 2003, em cinco pontos distintos. Durante as coletas foram aferidos os seguintes parâmetros: pH (sonda YSI-60), perfil de oxigênio dissolvido e de temperatura na coluna d'água (sonda YSI-55), profundidade de extinção da luz (disco de Secchi), condutividade elétrica da água e

salinidade (condutivímetro ORION). Durante as coletas também foram armazenadas amostras tomadas em até três profundidades, com ajuda de garrafa de Van Dorn, para serem realizadas as seguintes análises em laboratório: identificação e quantificação do fitoplâncton, nitrito, nitrato, amônio, ortofosfato, fósforo e nitrogênio totais, carga sestônica, percentual de matéria orgânica particulada, clorofila *a* e feofitina.

Análises em laboratório: a quantificação dos nutrientes (séries nitrogenada e fosfatada) foi realizada através de métodos espectrofotométricos com limites de detecção adequados para análise de água (relativamente baixas concentrações presentes); carga sestônica e percentual de matéria orgânica particulada foram determinados a partir de método gravimétrico e; clorofila *a* e feofitina, pelo método monocromático (espectrofotometria). Os procedimentos para estas análises estão descritos em Eaton *et al.* (1995).

Enumeração e identificação do fitoplâncton: a quantificação foi realizada em microscópio óptico, marca PZO, a 200 aumentos em câmara de Sedgwick-Rafter, segundo procedimentos descritos em Eaton *et al.* (1995) e a partir de amostras fixadas com lugol no momento da coleta. Foram contados pelo menos 100 indivíduos da espécie dominante, sendo o erro padrão estimado em 20%. A densidade, em número de células, das espécies dominantes (formas filamentosas) foi estimada multiplicando-se a densidade do organismo (indiv. mL⁻¹) pelo número médio de células por tricoma (comprimento total/comprimento celular), valor obtido a partir de aproximadamente 100 medições para cada amostra. O biovolume (mm³ L⁻¹) foi estimado apenas para as cianobactérias, multiplicando-se as densidades das mesmas pelo seu volume médio, considerando as dimensões médias tomadas em, pelo menos, 30 indivíduos de cada espécie. O volume dos organismos foi calculado a partir de modelos geométricos aproximados à forma dos indivíduos.

Os organismos fitoplanctônicos foram identificados em nível específico, sempre que possível, de acordo com literatura recente. A identificação dos táxons foi feita com base no material fixado em solução de Transeau, solução de Lugol e/ou material vivo. Os sistemas de classificação para a circunscrição infraclassa das cianobactérias (Divisão Cyanophyta/Cyanobacteria, classe Cyanophyceae) foram os de Komárek & Anagnostidis (1986; 1999) e Anagnostidis & Komárek (1988).

Ensaio de toxicidade do fitoplâncton: as amostras destinadas a este ensaio foram coletadas nos pontos 1, 5, 6 e 7, mostrados na Figura 2, com rede de fitoplâncton de abertura de malha de 25µm. Os animais utilizados foram camundongos *albino-swiss*, machos. Os extratos foram obtidos com a utilização de ácido acético, secos e ressuspensos em solução salina estéril para injeção intraperitoneal. A dose inicial foi de 1.000 mg de massa fitoplanctônica seca por kg de peso corpóreo.

Técnicas de geoprocessamento: A distribuição espacial dos nutrientes foi estimada através de método de interpolação (krigagem), pela análise prévia da continuidade espacial das amostras e ajuste dos dados a uma equação descritora desta continuidade (neste caso, a linear), utilizando-se o software SURFER v. 7. O mapa do açude (figuras 2) foi gerado a partir do georreferenciamento e vetorização de imagem digitalizada do açude cedida pela COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos) e com o auxílio de cartas da SUDENE (escala 1:100.000, datum horizontal Córrego Alegre). A partir da vetorização do açude e dos mapas de interpolação, foram geradas as figuras 5 e 6.

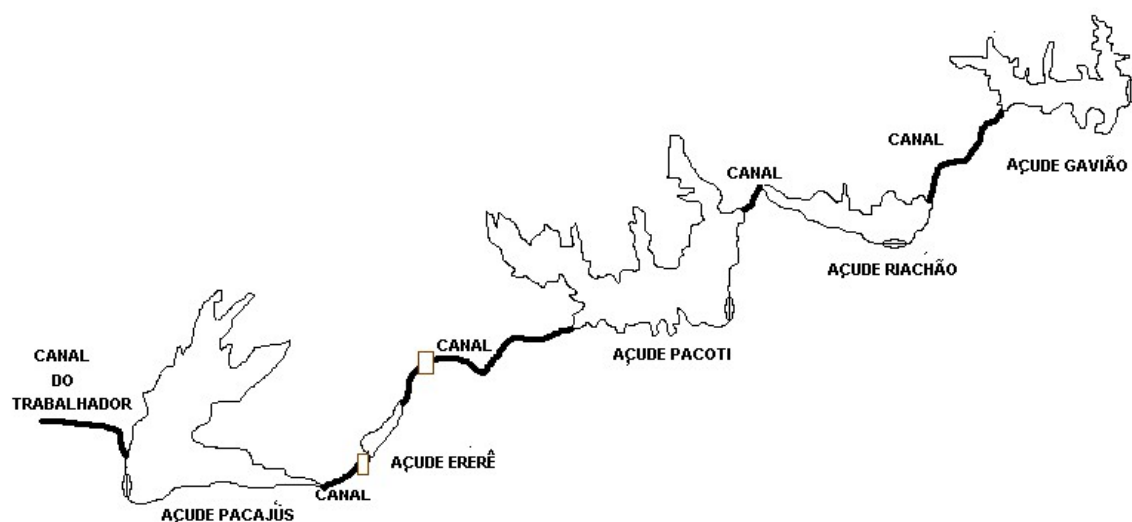


Figura 1 . Esquema do sistema de interligação dos açudes (fonte: CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará).

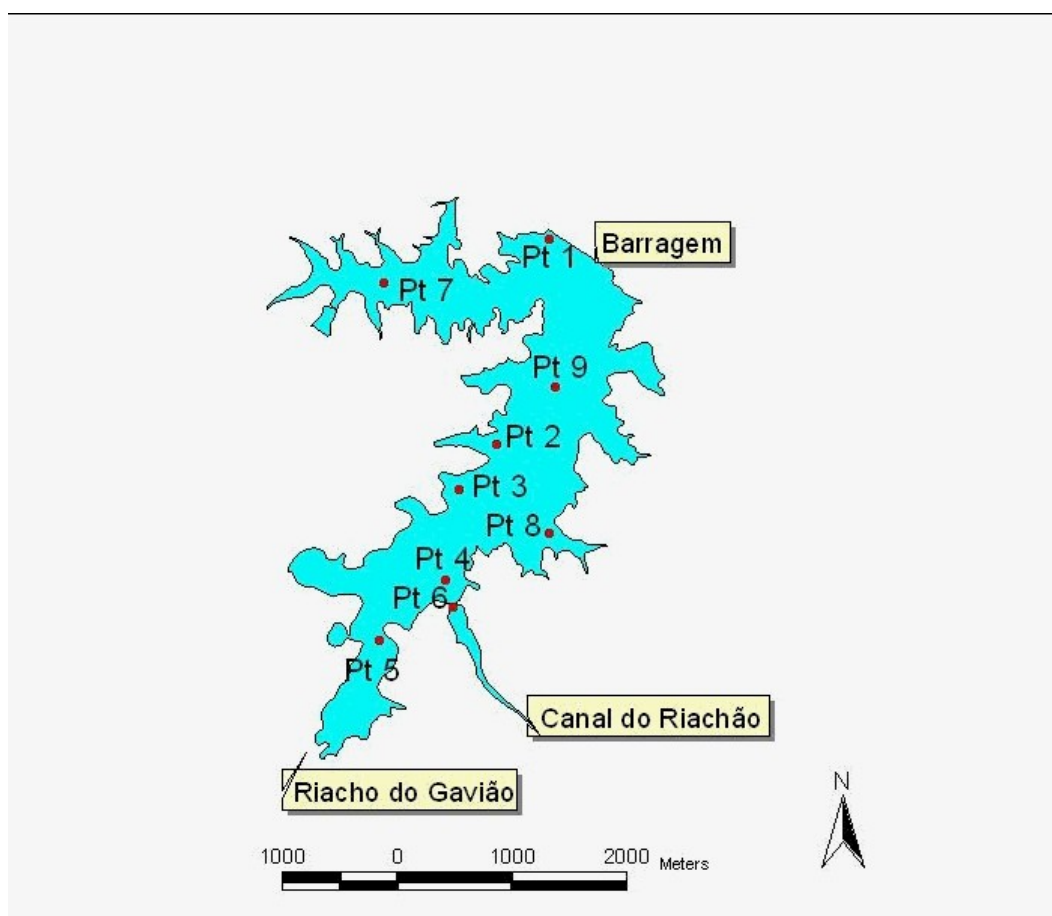


Figura 2 . Esquema do Açude Gavião com demarcação dos pontos de amostragem.

RESULTADOS

A partir do modelo de variação sazonal do fitoplâncton no açude, foram definidos dois períodos de ocorrência: a) de julho/02 a janeiro/03 – período de altas biomassas; b) de fevereiro/03 a junho/03 – período de declínio de biomassa. Tais períodos coincidiram, de forma geral, com o padrão histórico de distribuição das chuvas para o município de Pacatuba (figura 3) e que descreve bem as duas estações regionais: verão seco e inverno chuvoso. Durante o verão (julho a dezembro) predominam ventos fortes e quase total ausência de chuvas; e durante o inverno (janeiro a junho) predominam alta pluviosidade e redução da velocidade dos ventos.

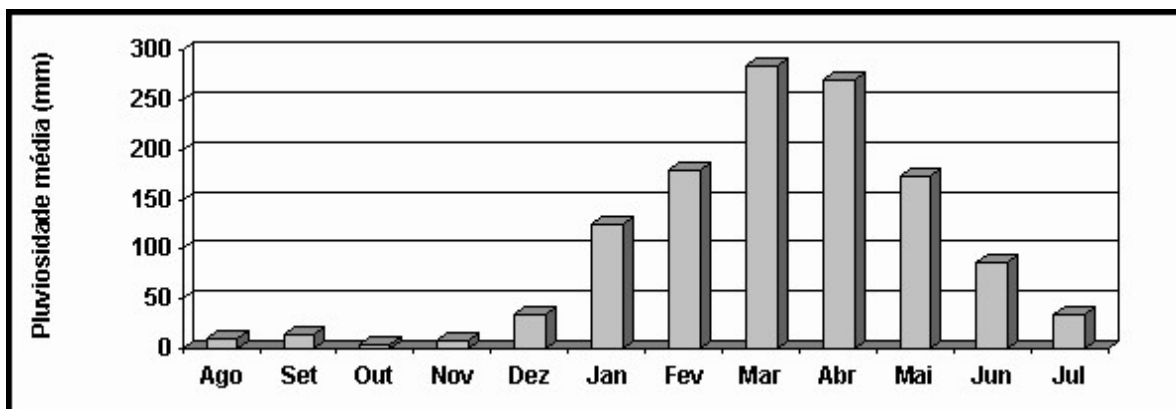


Figura 3 . Distribuição mensal das chuvas, no município de Pacatuba, a partir das média dos totais históricos de pluviosidade (de 1979 a 2001). (Fonte: FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

A partir da análise dos dados médios dos parâmetros abióticos aferidos (Tabela 1), as águas do Açude Gavião podem ser definidas como: mesotróficas a eutróficas, de acordo com sistemas internacionais de classificação do estado trófico (OECD 1992) e os valores totais de nutrientes (N e P) e de clorofila @; de baixas razões nitrogênio/fósforo (N/P e NID/PO₄⁻ < 20), indicando limitação por nitrogênio; deficiente em nitrogênio inorgânico dissolvido, durante o primeiro período de ocorrência; de elevada contribuição de material orgânico no total do material particulado em suspensão (carga sestônica) e; de pH levemente alcalino a levemente ácido, no segundo período.

O açude apresentou padrão de circulação da coluna d'água do tipo polimítico descontínuo, apresentando estratificação térmica duradoura nos pontos 6 e 9, durante períodos no inverno (figura 4). Os aportes de nutrientes se deram de forma mais acentuada durante o inverno, quando as chuvas aumentam a vazão do rio Gavião (represamento do qual originou o açude) e do canal do açude Riachão (canal que liga ambos açudes), ponto de maior aporte de nutrientes (figuras 5 e 6). Também ocorre carregamento interno de nutrientes pela liberação, principalmente de fósforo, a partir do sedimento, no ponto mais profundo e central do açude (ponto 9). Este aporte ocorre mais intensamente durante o inverno, quando os ventos são mais fracos e o hipolimnion se torna anóxico.

Tabela 1: Valores médios para os parâmetros abióticos aferidos durante o período de estudos, onde: P e N-totais são, respectivamente, fósforo e nitrogênio totais; N/P, razão nitrogênio-fósforo (os totais); NID, nitrogênio inorgânico dissolvido e; M.O.P., material orgânico particulado.

	1º período (jul/02-jan/03)	2º período (fev/03-jun/03)
NH_4^+ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	46,1	84,9
NO_2^- ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,2	3,4
NO_3^- ($\mu\text{g L}^{-1}$)	18,7	16,1
NID ($\mu\text{g L}^{-1}$)	68,7	94,3
N-total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	601,6	499
PO_4^- ($\mu\text{g L}^{-1}$)	6,3	16,8
P-total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	49,1	58,3
N/P ($\mu\text{g L}^{-1}$)	12	8
NID/ PO_4^- ($\mu\text{g L}^{-1}$)	12	8
Clorofila @ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	43,8	33,5
Feofitina @ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	11,8	31,6
pH	7,6	6,4
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	464	323
Salinidade (ppm)	0,2	0,1
Matéria orgânica (%)	89,2	85,3
Extinção da luz (m)	2,6	2,9

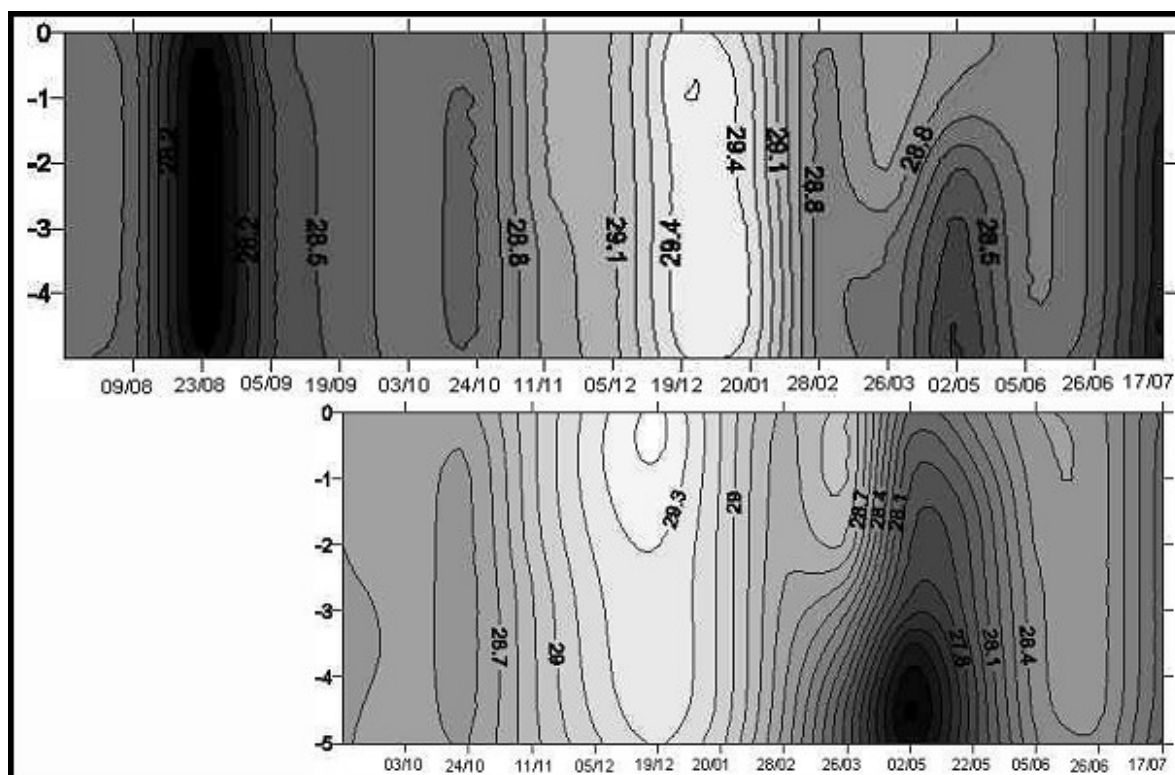


Figura 4 . Isolinhas do perfil de temperatura da água do ponto 1 (acima) e do ponto 6 (abaixo), durante o período de estudos, em profundidades de até 5m (eixo das ordenadas).

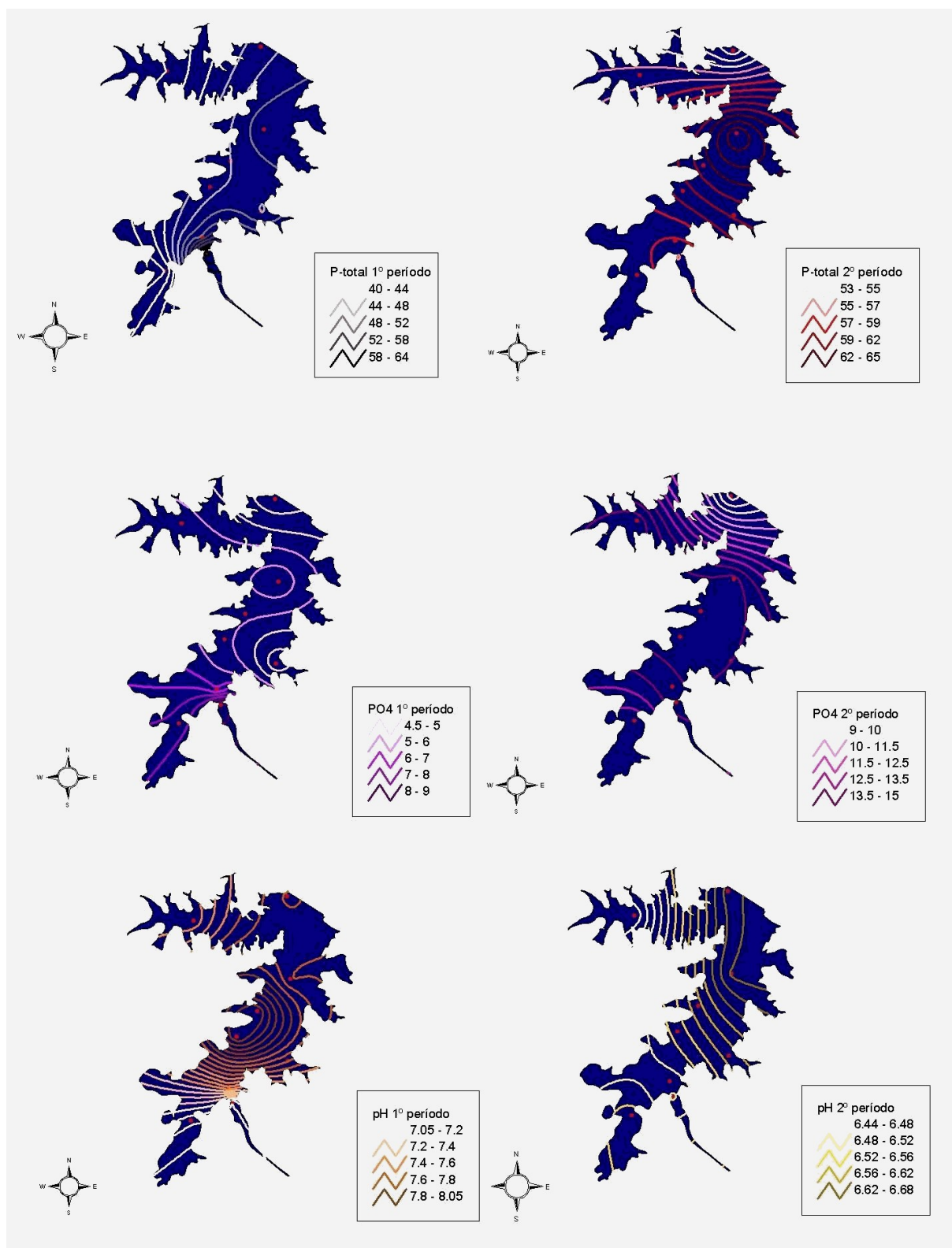


Figura 5 . Estimativa da distribuição horizontal de parâmetros abióticos no açude, utilizando método de interpolação (krigagem) dos valores médios pontuais por período de ocorrência. Foram plotados os valores do primeiro período (julho/02 – janeiro/03) do lado esquerdo e os valores do segundo período (fevereiro/03 – junho/03) do lado direito e, de cima para baixo, os parâmetros: fósforo total, ortofosfato (ambos em $\mu\text{g.L}^{-1}$) e pH.

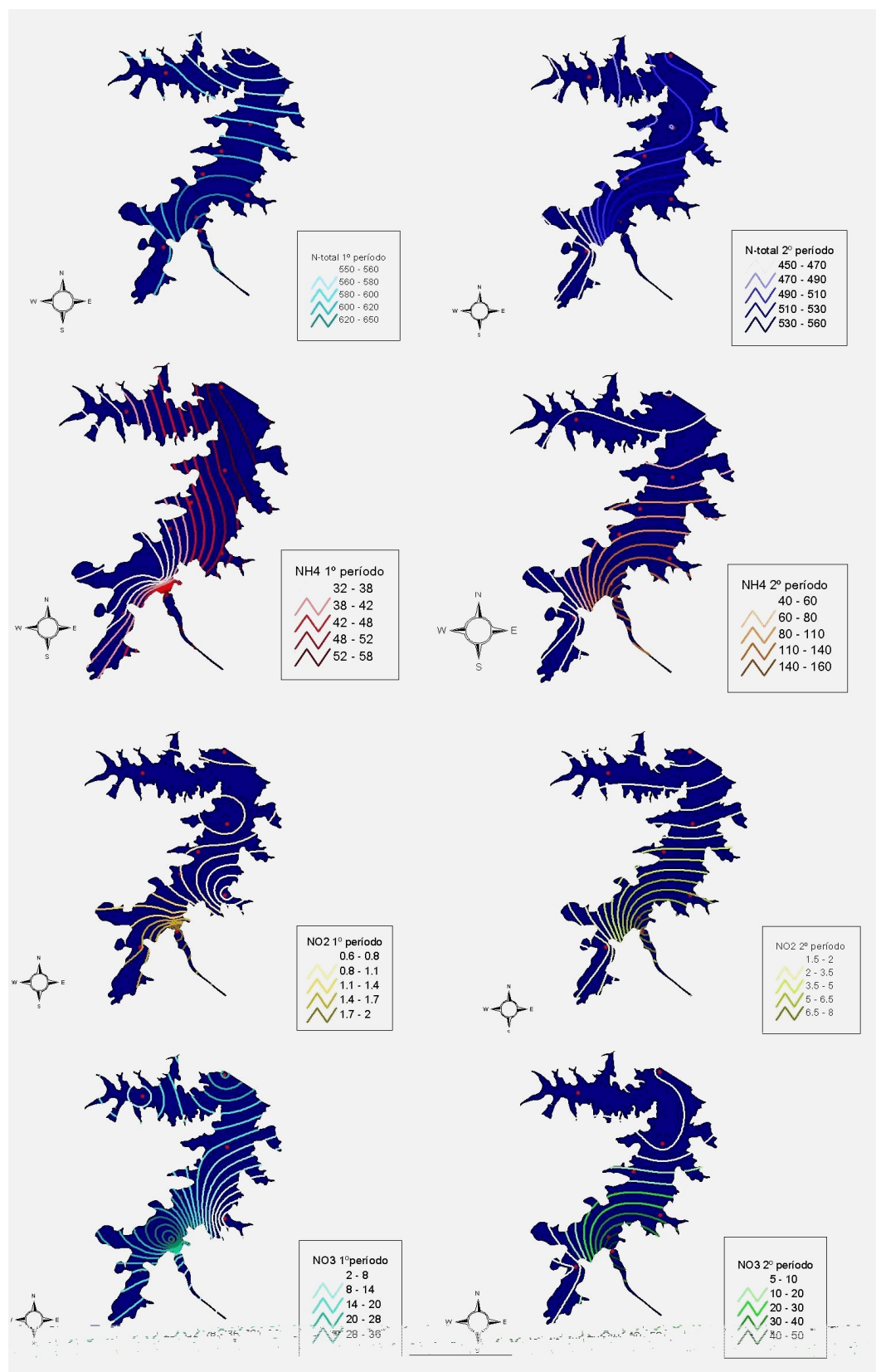


Figura 6 . Estimativa da distribuição horizontal de parâmetros abióticos no açude, utilizando método de interpolação (krigagem) dos valores médios pontuais por período de ocorrência. Foram plotados os valores do primeiro período (julho/02 – janeiro/03) do lado esquerdo e os valores do segundo período (fevereiro/03 – junho/03) do lado direito e, de cima para baixo, os parâmetros: nitrogênio total, amônio, nitrito e nitrato (todos em $\mu\text{g.L}^{-1}$).

Uma avaliação qualitativa aliada à quantificação do fitoplâncton indicou a predominância quase absoluta de cianobactérias, classe Cyanophyceae (figura 7), destacando-se a espécie *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek como dominante e observando-se importante contribuição da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*

(Woloszynska) Seenayya *et* Subba Raju, ambas potencialmente tóxicas.

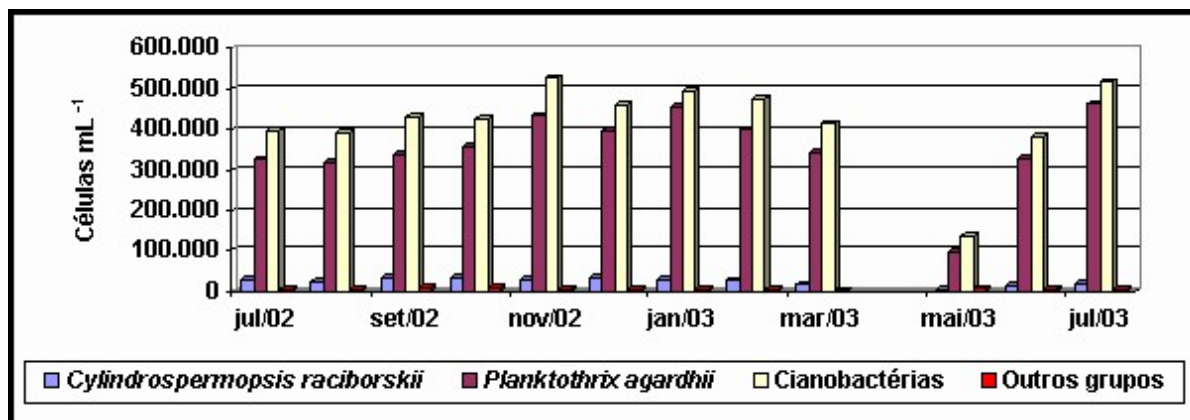


Figura 7. Contribuição, em número de células por mililitro, das principais espécies de cianobactérias, do total de cianobactérias e dos demais grupos fitoplânctônicos juntos (Diatomáceas, Clorofíceas, Zignematofíceas, Criptofíceas e Dinofíceas) no fitoplâncton total.

O fitoplâncton, na água bruta, perfez totais de $1,4 \times 10^5$ a $5,3 \times 10^5$ em densidade de células por mL, sendo que as espécies *P. agardhii* e *C. raciborskii*, variaram de $1,0 \times 10^5$ a $4,6 \times 10^5$ e de $0,02 \times 10^5$ a $0,3 \times 10^5$, respectivamente, durante todo o período de estudos. Em termos de biovolume, estas últimas apresentaram valores de $4,5$ a $21,7 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ e $0,1$ a $1,3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$, respectivamente.

O modelo sazonal de distribuição de densidades do fitoplâncton no açude (figura 8) foi de altas densidades durante o verão regional, e declínio das densidades após o início do inverno regional (janeiro a junho).

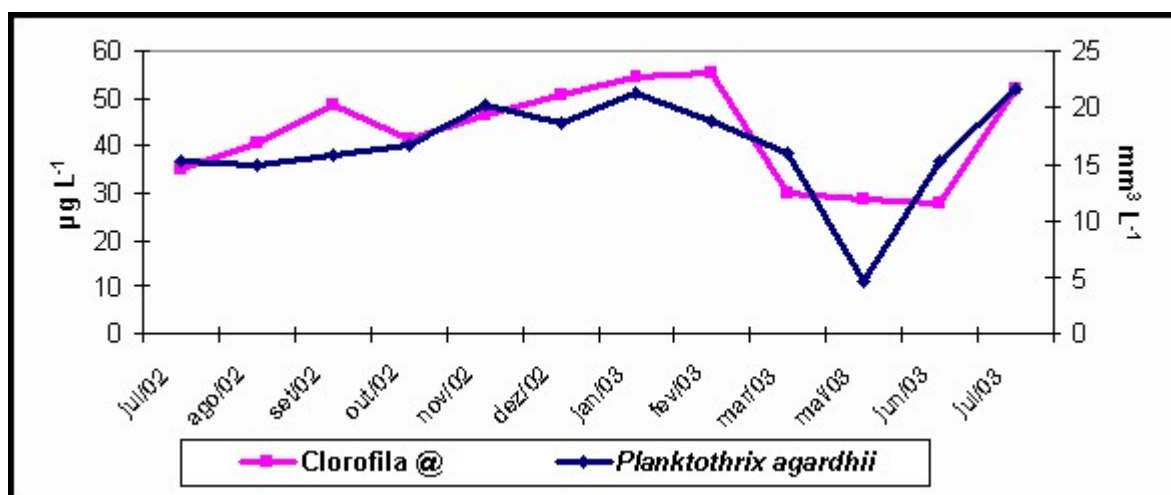


Figura 8. Variação sazonal do fitoplâncton com valores de clorofila @ ($\mu\text{g L}^{-1}$) e variação da cianobactéria dominante, *Planktothrix agardhii* ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$).

A espécie fitoplânctônica dominante, *P. agardhii* (antes *Oscillatoria agardhii*), é uma cianobactéria "filamentosa" que não possui bainha mucilagínosa envolvendo-a e, por isso, ao enfileiramento de suas células dá-se o nome de tricoma em contraposição a filamento. Os tricomas de *P. agardhii* são solitários e permanecem homogeneamente dispersos na coluna d'água. A presença de aerótopos no conteúdo celular confere flutuabilidade a esta espécie, embora a regulação de sua posição na coluna d'água seja pouco pronunciada. Esta relativa ineficiente flutuabilidade, quando empiricamente comparada a flutuabilidade de colônias de *Microcystis*, pode ser devida à forma pouco hidrodinâmica dos seus tricomas que apresentam alta razão superfície/volume, contrapondo-se à relativa baixa razão superfície/volume das colônias de *Microcystis*. Esta espécie é extremamente bem adaptada a baixas intensidades luminosas e, pela alta turbidez que pode ocasionar, pode suprimir o crescimento de outras espécies fitoplânctônicas por limitar a entrada de luz na coluna d'água (Chorus & Bartram 1999). *P. agardhii* possui cepas confirmadamente

produtoras de hepatotoxinas, especificamente **microcistina** (Chorus & Bartram 1999). Entretanto, durante o período de estudos, os bioensaios com camundongos indicaram ausência de toxicidade ou, se houve, esta não foi detectável por este ensaio.

DISCUSSÃO / CONCLUSÕES

O padrão sazonal do fitoplâncton no açude foi consequência direta do padrão de distribuição de chuvas existente. Durante o período chuvoso ocorreu o carreamento da biomassa fitoplanctônica para jusante do açude, o que fez declinar suas densidades. Outra possível causa para este efeito é a rápida mudança de pH que ocorre durante eventos de pluviosidade, como foi verificado em coleta nictemeral. Nesta ocasião foi observado importante declínio da clorofila *a* e incremento de feofitina, produto de degradação da primeira (dados não publicados). Já durante o início do período seco, o fitoplâncton incrementa rapidamente devido ao grande aporte de nutrientes ocorrido no período de chuvas, pelas temperaturas mais altas e pela disponibilidade de luz.

Durante o período chuvoso as maiores mudanças ocorridas no açude, além do declínio do fitoplâncton, são: a redução do pH (de levemente alcalino a levemente ácido); redução da condutividade e salinidade; incremento dos níveis de ortofosfato, fósforo total, amônio e nitrito e; redução nos níveis de nitrato e nitrogênio total. A qualidade das águas que chegam ao açude através do canal do Riachão, em grande parte, define estas mudanças. Pela análise das figuras 5 e 6, observa-se nitidamente esta contribuição, mesmo no período seco. Apesar de o processo de interpolação dos dados ter sido a partir de uma malha de dados muito esparsa e que provavelmente, a partir de uma malha mais densa, a estimativa de distribuição dos dados teria outro aspecto, ficou evidenciado que o canal do Riachão é a principal fonte de nutrientes para o fitoplâncton do açude Gavião.

Assim, o pH baixo das águas provenientes do canal do Riachão influenciaram fortemente os valores de pH do açude Gavião e, o mesmo, é devido às reações de decomposição da matéria orgânica que provavelmente prevalecem naquele ambiente, dada a grande liberação de nutrientes ocorrida ali. Quanto à redução da condutividade elétrica e salinidade, devem-se ao efeito de diluição das chuvas. O maior carreamento de nutrientes a partir do canal do Riachão para dentro do açude, durante o período de chuvas, promove o incremento dos níveis destes, de uma forma geral. Ainda neste sentido, o incremento nos níveis de nitrito atestam a existência de poluição orgânica recente. As concentrações de nitrato reduziram pelo menor teor de oxigênio dissolvido nas águas do açude, neste período de ventos fracos. Já o nitrogênio total reduziu, embora o nitrogênio inorgânico dissolvido tenha incrementado, provavelmente pelo declínio de biomassa fitoplanctônica.

Com relação ao fosfato e ao fósforo total, também pôde ser observada a contribuição de aportes provenientes do ponto 9, principalmente no período chuvoso, devendo-se à estratificação térmica verificada neste período (figura 4) o que torna o hipolímnio anóxico e o ambiente propenso à liberação do fosfato a partir do sedimento.

Outro fator ambiental determinante das condições do açude é o fator ventos. Durante o período seco, os ventos fortes e constantes propiciam a mescla e oxigenação de toda a coluna d'água. Várias consequências advêm deste efeito: a) a oxidação total das fontes de nitrogênio a nitrato, o que favorece o incremento de *P. agardhii*, mas faz conter o desenvolvimento de *C. raciborskii*, cuja principal fonte de N é o amônio; b) a mescla da coluna d'água e a manutenção da turbidez do ambiente, que também são fatores que favorecem o desenvolvimento de *P. agardhii*; c) a manutenção de um ambiente oxidante, o que inibe a liberação do fosfato a partir do sedimento e ainda promove sua sedimentação pela presença do íon férrico, embora a quantidade de fosfato precipitado dependa da quantidade de íon férrico existente (e este não foi mensurado).

Visto que a qualidade das águas do açude Gavião são tem se deteriorado em função da qualidade das águas que chegam do Canal do Riachão, programas de recuperação do açude devem levar em conta a contribuição das demais bacias que contribuem para o sistema de abastecimento da cidade de Fortaleza.

Pela análise dos nutrientes, em especial das razões N/P, o fitoplâncton no açude Gavião está sendo limitado por nitrogênio. Corroborar para esta afirmação o fato de, cerca de, 80% dos tricomas de *C. raciborskii* apresentarem heterocito, estrutura especializada para a fixação de nitrogênio atmosférico. Sendo assim, a dinâmica deste nutriente no açude deve ser estudada, podendo significar um ponto de controle da floração.

Com relação ao desenvolvimento fitoplanctônico verificado no açude Gavião e as implicações para o abastecimento da cidade de Fortaleza, de acordo com a proposta dos níveis de alerta relacionados por Azevedo & Brandão (2003), que foram adaptados à realidade brasileira e estão de acordo com a portaria 1469/MS/00, o manancial encontra-se no nível de alerta 2 que se caracteriza pela confirmação do estabelecimento de uma floração de cianobactérias causando

problemas na qualidade da água. Neste nível, dentre outras ações, recomenda-se:

- promover melhorias no processo de tratamento (como a utilização de carvão ativado, mudança para a flotação, etc.);
- preparar-se para a possibilidade de ser necessária a disponibilização de uma fonte alternativa de água e;
- informar a autoridades da saúde pública e instituições dos riscos potenciais existentes.

Deve ser salientado que a espécie de cianobactéria dominante nas águas do açude Gavião, possui um fator agravante que é o de ser potencialmente tóxica. Contudo, a realização de bioensaios em camundongos têm indicado ausência de toxicidade da floração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anagnostidis K. & Komárek J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3: **Oscillatoriales**. *Algol. Stud.* **50-53**: 327-472.
- Azevedo S.M.F.O. 1998. Toxinas de cianobactérias: causas e conseqüências para a saúde pública. **Medicina On Line**. **1**(3):1-14.
- Azevedo S.M.F.O. & Brandão C.C.S.B. (eds.). 2003. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, Brasília. 56p.
- Chorus I. 1992. Algal metabolites and water quality: toxins, allergens, and taste-and-odor-substances. *Memorie dell' Instituto Italiano di Idrobiologia*. **International Journal of Limnology**. **52**: 252-280.
- Chorus I. & Bartram J. (eds) 1999. **Toxic Cyanobacteria in water: A guide to the Public Health Consequences, Monitoring and Management**. E & FN Spon, London. 416 p.
- Eaton A.D., Clesceri L.S. & Greenberg A.E. (Eds.). 1995. **Standard Methods for the Examination of water and wastewater**, 19th edition. A.P.H.A./A.W.W.A./W.E.F
- Huszar, V.L.M., Silva L.H.S., Marinho M., Domingos P. & Sant'Anna C.L. 2000. Cyanoprokariote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. **Hydrobiologia**. **424**: 67-77.
- Janssens J.G. & Buekens A. 1993. Assessment of process selection for particle removal in surface water treatment. **J. Water. SAT – Aqua** **42(5)**: 279-288.
- Komárek J. & Anagnostidis K. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes 2: Nostocales. **Algological Studies**. **56**: 247-345.
- Kenefick S.L., Hrudey S.E., Prepas E.E., Motkosky N. & Peterson H.G. 1992. Odorous substances and cyanobacterial toxins in prairie drinking water sources. **Wat. Sci.Tech.** **2**: 147-154.
- Komárek J. & Anagnostidis K. 1999. Modern approach to the classification system of cyanophytes 4: Chroococcales. **Algological Studies**. **43**: 157-226.
- Lathi K. 1997. Cyanobacterial hepatotoxins and drinking water supplies – aspects of monitoring and potential health risks. **Monographs of The Boreal Enviromental Research**. **4**:41p.
- Mattos S.N., Altafin I.G., Freitas H.J., Cavalcanti C.G.B. & Alves V.R.E. 1992. Lake Paranoá, Brasília, Brazil: Integrated Management Plan for its Restoration. **Water Poll. Res. J. Canadá**. **27(2)**: 271-286.
- OECD. 1982. **Eutrofication: monitoring assessment and control**. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris. 154p.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho refere-se a resultados parciais de pesquisa de doutoramento realizada no âmbito do PROCAD – Programa

de Cooperação Acadêmica (UFC e EESC-USP), processo 0065/01-3, financiado pela CAPES, e no âmbito do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), com apoio financeiro da FINEP, CEF, CNPq e ABES. Conta ainda com o apoio financeiro da FUNASA, estando integrado ao projeto: "Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano". Os autores manifestam seus agradecimentos às Instituições acima citadas, ao CNPq e PROCAD, pela concessão de bolsas de pesquisa, à CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará), pelo apoio logístico e ao LABOSAN (Laboratório de Saneamento/Universidade Federal do Ceará – Engenharia Hidráulica), pela utilização da infraestrutura para a realização das análises.