

Ênio Wocyli Dantas



**ECOLOGIA DA COMUNIDADE DE ALGAS PLANCTÔNICAS
EM RESERVATÓRIOS DE PERNAMBUCO (NORDESTE,
BRASIL)**

Recife

2010

Ênio Wocyli Dantas

ECOLOGIA DA COMUNIDADE DE ALGAS PLANCTÔNICAS EM
RESERVATÓRIOS DE PERNAMBUCO (NORDESTE, BRASIL)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica (PPGB) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Botânica.

ORIENTADORA:

Profa. Dra. Ariadne do Nascimento Moura

CONSELHEIRA:

Profa. Dra. Maria do Carmo de Bittencourt-Oliveira

Recife

2010

Ficha catalográfica

D192e Dantas, Ênio Wocyli
Ecologia da comunidade de algas planctônicas
em reservatórios de Pernambuco (Nordeste, Brasil) /
Ênio Wocyli Dantas. - 2010.
124 f. : il.

Orientadora: Ariadne do Nascimento Moura.
Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia,
Recife, 2010.

Inclui referências e anexo.

1. Ecologia de algas 2. Fitoplâncton 3. Associações
algais 4. Dinâmica sazonal e espacial 5. Variáveis abióticas
I. Moura, Ariadne do Nascimento, orientadora II. Título

CDD 589.3

**Ecologia da comunidade de algas planctônicas em reservatórios de
Pernambuco (Nordeste, Brasil)**

Ênio Wocyli Dantas

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora:

Orientadora:

Dra. Ariadne do Nascimento Moura - Presidente/ UFRPE

Examinadores:

Dr. Alfredo Matos Moura Júnior - Titular/ UFPE

Dra. Enide Eskinazi-Leça - Titular/ UFRPE

Dr. Francisco Antônio Rodrigues Barbosa - Titular/ UFMG

Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva-Cunha - Titular/ UFPE

Dra. Sônia Maria Barreto Pereira - Titular/ UFRPE

Dra. Karine Matos Magalhães - Suplente/ UFRPE

Dr. Lohengrin Dias de Almeida Fernandes - Suplente/ UFRPE

Data de aprovação: / / 2010.

Recife, 2010

Dedicatória

A meus pais, Luiz e Diana, que sempre lutaram para proporcionar o melhor para mim, sem nunca perder a postura, a responsabilidade e o amor. Que em todas as lições souberam mostrar o verdadeiro sentido de viver com dignidade.

A meus irmãos, Wallace e Emanuel, pela vivência, carinho e apoio, respeitando e compartilhando de minhas escolhas.

A minha esposa, Cibele, o meu presente de Deus, que cotidianamente me faz sentir o homem mais feliz do mundo.

Que hoje me traz um presente, a quem eu também dedico esta tese: o meu filhinho veio me trazer alegria nesta reta final!

A todos eles que constituem o meu principio, meu meio, meu tudo: a minha vida! Eu amo todos vocês!

*Com carinho,
Ênio Wocylí Dantas.*

*Nasci de uma mitose precoce,
 Cresci abaixo de um metalímnio imenso,
 Em forma de um esporo latente,
 No meio de oxidações do sedimento,
 Próximo a apatita fiquei.
 Parecia o fim, eu pensei...
 Mas a esperança não acabou...
 O esporo não podia ficar escondido no fundo do lago.
 Precisava derrotar a entalpia,
 Que só levava a conformação de uma situação
 Fadada a fossilizar-se no substrato.
 Não podia fazer nada.
 A não ser esperar
 Até quando o DNA estivesse viável.*

*O tempo passou,
 Veio a degradação das matas,
 A construção de casas,
 Assoreamento, descarga de esgotos,
 Tudo a uma velocidade incrível...
 A estabilidade ambiental acabou...
 O hipolímnio foi se tornando anóxico,
 E em uma tempestade de verão,
 Eis que foi promovida uma desestratificação.
 A entalpia deu lugar à entropia.
 E do esporo, eis que germinou a alga.
 Falta de luz, predadores a solta,
 Os problemas não acabaram.
 Mas, uma vez no epilímnio,
 Eis a chance de garantir seu fitness.
 De driblar os problemas e conquistar o sonho.
 Metabolismo intenso
 Mucilagem, toxinas,
 Mitoses e mais mitoses... floração!
 Humildade e solidariedade.
 Estratégias simples e eficazes
 Para se alcançar o alto:
 Superfície...
 O topo do processo de uma vida.
 Conquista de uma alga
 Que sabe muito bem encarar as adversidades.*

Ênio Wocylí Dantas, 08/01/10.

Agradecimentos

Tinha por volta dos 07 anos quando minha tia Marisete questionou-me sobre o que eu queria ser quando crescer. Influenciado pelo Globo Ecologia, programa que eu gostava de assistir, veio-me a tônica da resposta imediata: “-Botânico!”.

Quando pensei em fazer vestibular na UEPB e voltava de ônibus de Campina Grande, um ar de reprovação soava nos rostos cansados de meus familiares e amigos, ao saberem que havia escolhido fazer “Ciências Biológicas”.

O problema principal, talvez fosse o fato de ter que morar em Campina Grande, pois o ônibus de estudante não fazia viagem pela manhã. Na ocasião, não posso esquecer, do orgulho de Caio, Zé Pereira e Leneide. Imagina só... Fui morar com uma criança em uma cidade desconhecida. Mas foram os anos na casa de minha tia que as páginas mais importantes foram vividas. Obrigado madrinha Ana e tia Inácia.

Biologia era o máximo. Mas quanto sofrimento foi vivenciado neste período. Entre as caronas nos ônibus, as caminhadas a pé em sol a pino, pelas provações alimentares e sociais que vivia, havia pessoas que me entendia e ajudava. Obrigado Denise e Márcia pelas pegadas na areia que compartilhamos.

E veio um forasteiro, recém-doutor. Na verdade, um sertanejo de Patos. Entre os inúmeros currículos, eis que ele escolheu três, Jandeson, Jacqueline e eu. Formava-se o trio das algas. A primeira geração do paizão Etham. Um trio de vencedores... Tenho certeza disso! E por meio dele, um link direto foi construído entre mim e Moura. A referência de cabeceira que me fez, mesmo sem conhecer pessoalmente, aprender e ter prazer em estudar as algas. Obrigado Etham... Ainda me lembro do dia em que tirei aquela cópia.

SBPC de 2003. Não sabia o que Deus estava me reservando, mas ao pisar em solo pernambucano, no alojamento do DLCH da UFRPE, meu coração já dizia: “-Iria passar longos e agradáveis anos na capital daquele Estado”. Da SBPC, peguei um ônibus direto para o IX CBL, em Juiz de Fora. Nesta cidade, um convite ousado e uma resposta positiva me trouxeram a oportunidade de minha vida. Fazer um mestrado em Recife com a mulher que mais eu tinha admiração, Moura!

Em Recife, só conhecia a Avenida Caxangá e, por intermédio da amiga, da amiga de Etham, pude me instalar em um apartamento com sete pessoas. Obrigado Zelma, Karine, Fernanda, Matilde, Heraldinho, Tereza Deiró, Tereza Cristina. E depois, ainda vieram Juliana, Aracele e Marcos. E por que não lembrar de Liana, Li e Tiago. Uma experiência e tanto.

Quem era eu, um matutão que andava de chinela japonesa, camiseta, e cueca samba canção. Um matutão que gostava de limpar as unhas do pé, enquanto assistia aulas... Professora Enide e Sônia que o diga. Um matutão que foi ao interior da Paraíba e ficou noivo de oito moças do sítio. Um matutão que deixou os cabelos crescerem para se parecer com ator de Hollywood. Um matutão que comprou sapatilhas como sapato social e uma calça pijama para sair em eventos importantes. Quanta transformação. Quantas pessoas me ajudaram neste sentido. Mas foi Moura, aquela que mais contribuiu por minha mudança.

Mestre em Botânica... Uma graça de Deus! E veio a pergunta: “-Não vai se inscrever?” “-Sim!” E de uma seleção nervosa, vem o telefonema de Roberta: “-Passamos!” Valeu minha amiga, e aos outros colegas,

Eduardo e Ladivânia. Entramos no doutorado e tudo mudou. A começar pelo apartamento. Morava com Marciene, Caio e Ada e voltei a morar com Aracele e Juliana. Saudades.

O começo não foi nada fácil e após uma dispensa e tudo parecendo desmoronar, eis que Deus concede-me o prazer de conhecer uma moça, hoje minha esposa. A ajuda que recebi dela foi o equilíbrio e o estímulo que precisava encontrar para superar as dificuldades. Durante o doutorado, Deus também me concedeu a graça de passar no concurso para professor de Botânica na UEPB, um retorno a Paraíba. Após a “praga boa” de minhas amigas Ise de Goreth e Silvana, eis que Cibele também passou em um concurso na Paraíba, e isto foi suficiente para planejarmos nosso casamento.

O fardo ficou mais pesado e eu teria que honrar com o compromisso da tese, com o trabalho e com a esposa. Precisei da ajuda de muitas pessoas, pois isto não era um desafio fácil. Agradeço primeiramente aos meus colegas e amigos de laboratório Alexandra, Arthur, Bruno, Celyane, Cláudio, Cinthia, Danilo, Edson, Eduardo, Emanuel, Fábila, Fabiane, Giuliani, Helton, Hugo, Ise, Ivan, Ivo, João, Juarez, Ladjane, Marcelo, Manoela, Micheline, Moura, Nísia, Péricles, Rosângela, Silvana, Travassos e Viviane, e por que também não lembrar de Beth, Daniele, Douglas, Fátima, Khey, Manoel Messias, Nadja e Paula.

Em seguida, quero recordar de meus professores que tanto contribuíram para o meu crescimento, desde a tia Neide do pré-escolar, passando por Rosa, Mercês, Erisalva, Carmelita, Agcey, Cida, Darlene, Das Dores, Francisquinho, Geilza, Geruza, Gorete, Ilza, Itamira, Ivete, Jacilda, Jácio, Luciano, Mara, Marisete, Nelma, Petrucio, Pilombeta, Pinto, Pretinha, Sheila, Sobrinho, Sônia, Telma e Vavá. Aos meus professores do curso de graduação, Bil, Cavalcanti, Célia Regina, Cibele, Denise, Dilma, Eduardo, Elisabete, Érica, Etham, Humberto, Ivan, Leane, Leonardo, Lúcia, Lúcia Serafim, Márcio, Maria José, Mônica, Mourão, Patrícia, Rosa, Ruidomar, Sandra, Simão, Socorro Rocha, Verusca e Zelma. Aos professores na Pós-Graduação, Ariadne, Carmem, Elcida, Enide, Irenilda, Iva, Margareth, Maria do Carmo, Paulo de Jesus, Reginaldo, Sônia, Suzene, Tabarelli e Ulysses. E por que não lembrar de Cibele, Egídio, Elba, Mari, Rejane Pimentel, Rejane Mansur, Terezinha e William Severi. Lições não somente profissionais, mas de vida. A todos os meus professores, muito obrigado.

O papel dos funcionários foi especial... Eles transformaram a rotina dos dias de estudo menos cansativa e trouxeram-me estímulo e alegria de prosseguir. Desde o pessoal da biblioteca, lá em nova Floresta, onde tudo começou, aos cafezinhos dos laboratórios na UEPB até chegar ao PPGB, foram onze anos. Não posso deixar de recordar de Detinha e Saete e Donas Avanir, Eunice, Fátima, Lourdes e Maria. Por aqui, não podia passar despercebida Dona Margarida e Simone, Ariane e Kênia, Sr. Mana, Silvana, Patrícia, Leide e Érica e os motoristas Srs. Luiz, Fernando, Ricardo, Crisóstomo... Quantas histórias cultivamos nestes anos todos. Sentirei saudades.

No trabalho, vivo o exercício prático do aprendizado ao longo da vida acadêmica. Convivo com professores-colegas e alunos, e já comecei, a passos lentos, a formar novas criaturas pensantes e entusiasmadas na atividade de pesquisa. Eles me esperaram e depositaram em mim confiança para que o meu doutoramento fosse tranquilo e produtivo. Agradeço aos meus colegas de trabalho, Ana, Beatriz, Bolívar,

Douglas, Elisângela, Éliquo, Élvio, Etham, Francisco, Marcos Costa, Marcos Sousa, Martha, Terezinha, Sérgio e Vancarder. Não poderei esquecer os funcionários, André, Anunciada, Diana, Ellem, Roberto e Viviane, por todo o apoio e ânimo. Aos meus alunos que tanto me estimularam: Aline, Camila, Davi, Dayse, Fabiana, Geisa, Lays, Lígia, Suelen, Thainá, Talytta e Valterlânia... Obrigado!

Para falar de pessoas especiais, me reporto a minha terra e lembro-me de meus amigos Adriana, Allysson, Claudenice, Damásio e Lindalva, Fátima, Marcos, Ruceline, Shirley e Teresa, como peças-chave do meu sucesso; volto-me a Recife e agradeço especialmente a dona Lêda e seu Dásio, a Camila, Júnior e Rafael, e também a Andréa, Betinha, Carol, Diego, Glaubya, Hélio, Laís, Natália e Rose, Carlos, Marilisse Carol e Camila, meu padrinho Augusto, a turma da catequese e do Caxito, Adriana, Cynthia, Edno, Ellivânia, Halysson, Jefferson, Juliana, Lays, Leonardo, Lourdes, Luana, Rosana, Sandra, Sr. Francisco, Sônia, Talita, Tharsis, Welton, e Yleana, a meus afilhados Carminha, Eduardo e Geane; a minha amiga Valéria lá do Espírito Santo, e também a Cristina, Danilo e Larissa; a Bruna, Érica, Selma e Talita, direto de São Carlos. Obrigado... Vocês estão todos no meu coração!

Agradeço as contribuições da pré-banca através das opiniões dos professores Alfredo Matos, Enide Esquinazi-Leça, Francisco Barbosa, Maria da Glória Silva-Cunha, Karine Magalhães, Lohengrin Fernandes e Sônia Pereira. Vocês são referências de minha admiração e estou muito feliz de tê-los em minha banca. Agradeço ao PPGB e a FACEPE, pelo suporte financeiro e técnico, por meio dos processos 471121/2007-0 e IBPG-0072-2.05/06. No entanto, a matéria-prima partiu da sabedoria e experiência do meu comitê de orientação. O produto final nada mais foi que uma ação conjunta entre as partes. À Maria do Carmo, pelas suas contribuições e parceria nos trabalhos. À Ariadne Moura, minha referência de cabeceira, os meus mais expressivos agradecimentos, por tudo aquilo que me ensinou e proporcionou... Obrigado pela confiança e amizade. Já sinto saudades, mas estou feliz por ter aprendido suas mais agradáveis lições.

Mas qual o sentido de tudo isso, se não fosse a minha família... Do meu avô Manoel Lucas; meus tios Abdon, Amaro, Antônio, Bilala, Chico Emílio, Eugênio, Galeão, Joca, Luiz, Manoel Albino, Pedro, Roberto, Tonheca, e por que não lembrar de tios Francisco e Trojó; minhas tias Ana, Inácia, Irene, Luzia, Maria, Maria Lucas, Marisete, e por que não lembrar de tias Edna, Nazinha, Neide, Netinha, Neuza e Vitória; não podia esquecer de meus primos e primas achegados, dos quais tive o prazer de conviver e ainda convivo, Anderson, Andreza, Bonifácio, Da Guia, Ênio, Francimária, Francivaldo, Gardênia, Gaspar, Gico, Gisele, Heloísa, Ione, Jerry, Kelinha, Lucas, Lucivaldo, Marquinho, Medeiros, Menininha, Monsuete, Neide, Norma, Rafael, Régia, Régio, Rex, Ricardo, Rosimere, Rummennig, Tita, Totonho, Tuita, Williams... A meus sobrinhos Gabriel e Gabriela, os amores deste tio. A minha esposa Cibele, meus pais Luiz e Diana e meus irmãos Wallace e Emanuel não basta apenas agradecer, pois esta tese e o título de Doutor em Botânica são dedicados a eles, razão de todo o meu esforço e luta. Eu os amo grandemente.

Ao meu Papai do Céu, finalizo com os mais carinhosos agradecimentos. Hoje tenho a confiança e certeza que o sonho foi realizado, e dentre os resultados mais importantes disso tudo, destaco a maturidade. Agora tudo recomeça novamente, se assim Deus permitir... Obrigado a todos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Grupos funcionais (GF) estudados pelos autores da seção 2.2. desta fundamentação teórica com base em Reynolds et al. (2002) e Pádisák et al. (2009)	10
--	----

PRIMEIRO MANUSCRITO

Tabela 1: Dados morfométricos dos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde e Pedra.	36
Tabela 2: Valores médios e desvio padrão das variáveis abióticas dos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde e Pedra no período de março de 2007 a agosto de 2008	40
Tabela 3: Biomassa relativa média (%) e número de ocorrência (NO) das espécies fitoplanctônicas nos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. PC = período chuvoso; PE = período de estiagem; S = subsuperfície; F = fundo; + = ocorrência inferior a 1% da biomassa total; - = não ocorrência.	44

SEGUNDO MANUSCRITO

Tabela 1. Valores médios (em negrito), mínimo e máximo dos valores de temperatura da água (Temp.), oxigênio dissolvido (O ₂ diss.), pH, turbidez, fósforo total (FT), fósforo total dissolvido (FTD), ortofosfato (PO ₄), nitrogênio total (NT), relação N:P e índice de estado trófico (IET) nos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá e Jucazinho, estado de Pernambuco, Brasil, em dois períodos sazonais, chuvoso e de estiagem.	65
Tabela 2: Biomassa relativa média (%) das espécies fitoplanctônicas nos três reservatórios estudados durante os períodos chuvoso e de estiagem. Legendas: DU = Duas Unas; TAP = Tapacurá; JUC = Jucazinho; PC = período chuvoso; PE = período de estiagem; GF = grupo funcional; + = ocorrência inferior a 0,1% da biomassa total; - = não ocorrência	67
Tabela 3: Valores médios da biomassa (mm ³ .L ⁻¹) dos grupos funcionais registrados nos três reservatórios estudados durante os períodos chuvoso e de estiagem. Legendas: GF = grupo funcional; S = superfície; F = fundo; + = ocorrência inferior a 0,01 mm ³ .L ⁻¹ ; - = não ocorrência da associação. Valores em negrito = média acima de 5% da biomassa total.	69

Tabela 4: Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as associações fitoplanctônicas e variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá e Jucazinho, estado de Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008	71
---	----

TERCEIRO MANUSCRITO

Tabela 1: Valores de zona eufótica, zona de mistura, profundidade máxima, temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, fósforo total, fósforo total dissolvido, ortofosfato, nitrogênio total, relação N:P e índice de estado trófico de dois reservatórios do estado de Pernambuco, Brasil, no período entre agosto de 2007 e agosto de 2008	89
---	----

Tabela 2: Biomassa relativa média (%) das cianobactérias planctônicas nos reservatórios de Arcoverde e Pedra durante o período de estratificação (E) e mistura (M). Legenda: S = subsuperfície; F = fundo; + = ocorrência com biomassa relativa inferior a 0,1% da biomassa total	92
--	----

Tabela 3: Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as espécies fitoplanctônicas e variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios de Arcoverde e Pedra, Pernambuco, Brasil.	93
--	----

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRO MANUSCRITO

- Figura 1:** Diversidade alfa e gama (a) e beta (b) dos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. Legenda: PC = período chuvoso; PE = período de estiagem; ZM = Zona da Mata. 42
- Figura 2:** Valores médio, mínimo e máximo dos dados de biomassa fitoplanctônica nos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. Legenda: PC = período chuvoso; PE = Período de estiagem; S = Superfície; F = Fundo 43
- Figura 3:** Ordenação biplot das profundidades amostrais realizada a partir de dados de riqueza (a) e biomassa (b) dos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. As unidades amostrais são representadas com o período sazonal seguido da profundidade correspondente. Legenda: CS = período chuvoso na superfície; CF = período chuvoso no fundo; ES = período de estiagem na superfície; EF = período de estiagem no fundo; NT = nitrogênio total; T°C = temperatura da água; Prec = precipitação pluviométrica; Turb = turbidez; pH = pH; Zmax = profundidade máxima; PTD = fósforo total dissolvido; ZeuZmix = relação zona eufótica:zona de mistura 49

SEGUNDO MANUSCRITO

- Figura 1:** Zona de mistura (Zmix), zona eufótica (Zeu) e profundidade máxima (Zmax) nos reservatórios de Duas Unas (a), Tapacurá (b) e Jucazinho (c), Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008 64
- Figura 2:** Variação da biomassa fitoplanctônica ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) nos reservatórios de Duas Unas (a), Tapacurá (b) e Jucazinho (c), Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008. Legendas: S = superfície; F = fundo. 69

Figura 3: Ordenação da ACC entre as principais associações algais e as variáveis abióticas significativas em três reservatórios do estado de Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008. Legendas: NT = nitrogênio total; PO4 = ortofosfato; Turb = turbidez; ZeuZmix = relação zona eufótica:zona de mistura; Zmax = profundidade máxima; Zmix = zona de mistura. As unidades amostrais são identificadas com a profundidade (S = superfície; F = fundo), letra do mês (A = agosto; D = dezembro; F = fevereiro; J = junho; M = março; M' = maio; N = novembro; S = setembro) e o número do ano correspondente (7 = 2007; 8 = 2008) 71

TERCEIRO MANUSCRITO

Figura 1: Perfis de temperatura nos reservatórios de Arcoverde (a) e Pedra (b), Pernambuco, Brasil, no período entre agosto de 2007 e agosto de 2008. Meses de estiagem: nov/07 e fev/08; meses chuvosos: ago/07, mai/08 e ago/08 88

Figura 2: Variação da biomassa da comunidade de cianobactérias e outras algas planctônicas ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) nos reservatórios de Arcoverde (a) e Pedra (b), Pernambuco, Brasil. Legenda: S = superfície; F = fundo 91

Figura 3: ACC realizada entre as principais espécies de algas planctônicas e as variáveis abióticas significativas nos reservatórios de Arcoverde e Pedra, Pernambuco, Brasil. Legendas: cianobactérias – Cra: *Cylindrospermopsis raciborskii*, Gam: *Geitlerinema amphibium*, Mae: *Microcystis aeruginosa*, Mte: *Merismopedia tenuissima*, Pag: *Planktothrix agardhii*; variáveis abióticas – PTD: fósforo total dissolvido; Zeu: zona eufótica; Zmax: zona de mistura; Zmax: profundidade máxima; as unidades amostrais são identificadas com a letra do mês (A: agosto; F: fevereiro; M: maio; N: novembro), o número do ano correspondente (7: 2007; 8: 2008) e a profundidade de coleta (S: superfície; F: fundo). 93

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1. Composição e Diversidade Fitoplanctônica	04
2.2. Associações Fitoplanctônicas	08
2.3. Sucessão Fitoplanctônica e Relação com Variáveis Ambientais ...	19
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
4. PRIMEIRO MANUSCRITO (Padrão espacial e temporal do fitoplâncton em reservatórios de diferentes condições climatológicas no Nordeste do Brasil)	
Resumo	33
Abstract	34
4.1. Introdução	35
4.2. Área de Estudo	36
4.3. Material e Métodos	37
4.4. Resultados	39
4.5. Discussão	49
4.6. Referências	52
5. SEGUNDO MANUSCRITO (Dinâmica das associações fitoplanctônicas em três de reservatórios do Nordeste do Brasil)	
Resumo	58
Abstract	59
5.1. Introdução	59
5.2. Área de Estudo	61
5.3. Material e Métodos	62

5.4. Resultados	
5.4.1. Diagnóstico abiótico dos reservatórios.	64
5.4.2. Caracterização da comunidade fitoplanctônica	66
5.4.3. Análise integrada dos fatores abióticos e bióticos	70
5.5. Discussão	72
5.6. Referências	77
6. TERCEIRO MANUSCRITO (Influência da estratificação térmica no estabelecimento de florações de cianobactérias em dois reservatórios do semi-árido do Brasil)	
Resumo.	83
Abstract.	84
6.1. Introdução	85
6.2. Área de Estudo	86
6.3. Material e Métodos	86
6.4. Resultados.	88
6.5. Discussão	94
6.6. Referências	98
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.	103
8. ANEXOS	
8.1. Normas de Submissão da Revista Acta Oecologica.	106
8.2. Normas de Submissão da Revista Journal of Plankton Research.	115

Dantas, Ênio Wocyli, doutorando pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, fevereiro de 2010. *Ecologia da comunidade de algas planctônicas em reservatórios de Pernambuco (Nordeste, Brasil)*. Ariadne do Nascimento Moura (Orientadora), Maria do Carmo de Bittencourt-Oliveira (Conselheira).

Resumo: Este trabalho objetivou estudar a riqueza, diversidade e biomassa da comunidade fitoplanctônica, relacionando o comportamento das espécies e associações algais com as variações sazonais e espaciais apresentadas pelos fatores abióticos, em cinco reservatórios (Duas Unas, Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde e Pedra) do estado de Pernambuco, Nordeste, Brasil. As amostragens em cada reservatório foram feitas em intervalos de três meses no período de um ano em duas profundidades (0,1m e próximo ao sedimento), entre março de 2007 e agosto de 2008, sendo realizadas cinco coletas em cada reservatório. As amostras de fitoplâncton foram coletadas com rede de plâncton e garrafa de Van Dorn e preservadas em lugol acético. Foram analisadas a riqueza, diversidade e biomassa fitoplanctônica através da identificação e quantificação das amostras em microscópio. As variáveis abióticas obtidas em campo e no laboratório foram temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, transparência da água, nitrogênio total, fósforo total, fósforo total dissolvido e ortofosfato. O maior número de táxons foi registrado durante o período chuvoso (103 spp.), no entanto, os reservatórios localizados na Zona da Mata (82 spp.), apresentaram uma diversidade algal menor que os localizados no Agreste (94 spp.). Os valores de biomassa foram mais elevados no Agreste ($18,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) que na Zona da Mata ($3,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), sendo a diferença mais clara durante o período de estiagem. A precipitação foi o principal fator controlador do fitoplâncton nos ecossistemas no Nordeste do Brasil, apresentando relação inversa no comportamento da riqueza e biomassa fitoplanctônica. No entanto, a sazonalidade não contribuiu diretamente na dinâmica do fitoplâncton em reservatórios profundos e isto interferiu no comportamento das associações algais. Com isso, as variações na disponibilidade de luz foram determinantes na mudança de estrutura fitoplanctônica nos reservatórios estudados. Houve predomínio de cianobactérias nos reservatórios de Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde e Pedra durante todo o ano. Em Duas Unas foi verificada as menores biomassas fitoplanctônicas ($1,5 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), sendo observada mistura térmica durante todo o período amostral, o que favoreceu o estabelecimento de associações de diatomáceas, como *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cyclotella*

meneghiniana Kützing, *Melosira varians* C. Agardh e *Urosolenia eriensis* (H.L. Smith) F.E. Round. A limitação de luz no epilímnio verificada no reservatório de Tapacurá esteve relacionada ao predomínio de cianobactérias cocoides, como *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, durante todo o ano. Florações de *M. aeruginosa* ($71,8 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) foram registradas no reservatório de Jucazinho durante o período de redução da disponibilidade de luz no epilímnio associada ao aumento dos teores de fósforo. Na maioria dos meses estudados neste ecossistema, a estrutura fitoplanctônica foi formada de cianobactérias filamentosas ($< 8,0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) e diatomáceas cêntricas ($< 2,0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$). Nos reservatórios de Arcoverde e Pedra ocorreram florações de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya e Subba Raju ($> 30,0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) durante o período de estratificação térmica. A mistura térmica nestes dois ecossistemas foi caracterizada pela redução da biomassa ($< 17 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) e o estabelecimento das cianobactérias *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis e Komárek, *Geitlerinema amphibium* (C. Agardh) Anagnostidis, *M. aeruginosa* e *Merismopedia tenuissima* Lemmermann, das diatomáceas *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen e *Cyclotella meneghiniana* Kützing, das euglenófitas *Phacus longicauda* (Ehrenberg) Dujardin e *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg, e do dinoflagelado *Peridinium* sp. Fatores como mistura térmica e competição entre as algas dificultaram o estabelecimento de floração em todos os ecossistemas estudados e condicionaram as maiores diversidades algais registradas nos ecossistemas rasos em comparação com os de maior profundidade. Em geral, o padrão térmico e a variação na disponibilidade de luz foram os principais atributos relacionados à mudança na estrutura das algas planctônicas nos ecossistemas estudados.

Palavras-chave: fitoplâncton, associações algais, dinâmica sazonal e espacial, variáveis abióticas

Dantas, Ênio Wocyli, doctoral student at the Universidade Federal Rural de Pernambuco (February 2010); *Ecology of phytoplanktonic community in reservoirs in the state of Pernambuco (northeastern Brazil)*; Ariadne do Nascimento Moura (Adviser), Maria do Carmo de Bittencourt-Oliveira (Co-adviser).

Abstract: The aim of the present study was to analyze the richness, diversity and biomass of the phytoplankton community, relating the behavior of the species and algal associations with the seasonal and spatial variations presented by abiotic factors in five reservoirs in the state of Pernambuco (Duas Unas, Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde and Pedra) northeastern Brazil. Samplings began in March 2007 and were carried out at three-month intervals during a year at two depths (0.1 m and near the sediment), with five collections at each reservoir. The phytoplankton samples were collected with a van Dorn bottle and preserved in Lugol's solution. The richness, diversity and biomass of the phytoplankton community were examined under a Zeiss microscope. The abiotic variables obtained in field and laboratory were water temperature, dissolved oxygen, pH, turbidity, water transparency, total phosphorus, total dissolved phosphorus, orthophosphate and total nitrogen. A greater number of taxa were recorded in the rainy season (103 spp.). However, the reservoirs located near the coast (with its greater amount of rainfall) had less algal diversity (82 spp.) than those located in the semi-arid interior (94 spp.). Biomass values were higher in the semi-arid interior ($18.6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) than the coastal region ($3.6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$); this difference was more evident in the dry season. Precipitation was the main controlling factor of phytoplankton in the ecosystems of northeastern Brazil, exhibiting an inverse relationship with phytoplankton richness and biomass. However, the influence of seasonality on the dynamics of the phytoplankton community was lesser in deeper reservoirs, which affected the behavior of the algal associations. Variations in light availability were determinants in the change in phytoplankton structure in the reservoirs studied. There was a predominance of cyanobacteria in the Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde and Pedra reservoirs throughout the year. The lowest phytoplankton biomass values occurred at Duas Unas ($1.5 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), with a thermal mixture pattern observed throughout the sampling period that favored the establishment of diatoms associations, such as *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Melosira varians* C. Agardh and *Urosolenia eriensis* (H.L. Smith) F.E. Round. The limited light in the epilimnion in the Tapacurá reservoir was related for the maintenance of coccoid

cyanobacteria, such as *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, throughout the year. *M. aeruginosa* blooms ($71.8 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) were recorded in the Jucazinho reservoir during the period of reduced light availability in the epilimnion, associated to an increase in phosphorus content. In most of the months studied, however, the phytoplankton structure was formed by filamentous cyanobacteria ($< 8.0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) and centric diatoms ($< 2.0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$). At the Arcoverde and Pedra reservoirs, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya and Subba Raju blooms ($> 30.0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) occurred during the period of thermal stratification. The thermal mixture in these two ecosystems led to the establishment of cyanobacteria [*Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis and Komárek, *Geitlerinema amphibium* (C. Agardh) Anagnostidis, *M. aeruginosa* and *Merismopedia tenuissima* Lemmermann], diatom [*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen and *Cyclotella meneghiniana* Kützing], euglenoid [*Phacus longicauda* (Ehrenberg) Dujardin and *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg] and a dinoflagellate (*Peridinium* sp.). The factors such as thermal mixture and competition among algae hindered the establishment of blooms in all the ecosystems studied and led to greater algal diversity in shallow ecosystems when compared to those with greater depths. The thermal pattern and light availability were the main attributes related to the change in the structure of planktonic algae in the ecosystems studied.

Keywords: abiotic variables, algal associations, phytoplankton, seasonal and spatial dynamics.

1. INTRODUÇÃO

A comunidade fitoplanctônica apresenta características especiais que lhe confere um alto poder de ajuste às condições ambientais. Esta comunidade possui curtos ciclos de vida, constituindo essencialmente a base da cadeia alimentar dos ambientes aquáticos. Como não desenvolvem grandes dimensões precisam se reproduzir rapidamente para manter populações viáveis no ecossistema.

Luz e nutrientes são os principais recursos utilizados para o sucesso reprodutivo do fitoplâncton, embora isso seja variável de espécie para espécie (REYNOLDS, 1998). Estes dois recursos estão relacionados com a capacidade fotossintética evidente nestes organismos. Há uma ligação entre o aumento da produção fitoplanctônica e a quantidade de luz e nutrientes que se reflete no aumento populacional dos táxons componentes da comunidade (FORBES *et al.*, 2008).

Fatores adicionais estão relacionados com o crescimento das algas planctônicas, pois são frequentemente observados elevadas densidades ou biomassas de algas em condições de limitação de nutrientes ou de luminosidade. Estes fatores variam no tempo e no espaço e condicionam a formação de nichos que podem se suceder temporalmente ou coexistir em diferentes áreas, permitindo a ocorrência de um maior número de espécies (SALMASO, 2003). Dentre estes fatores podem ser relacionados à precipitação pluviométrica (CHELLAPPA; BORBA; ROCHA, 2008), o regime de mistura (BECKER; HUSZAR; CROSSETTI, 2009) e a predação (von RÜCKERT; GIANI, 2008). Bormans, Ford e Fabbro (2005) afirmam que a interação dos fatores físicos, químicos e biológicos cria uma forte sazonalidade que altera comportamentos óticos, térmicos e químicos da água e são marcadamente diferentes nos mais variados ecossistemas aquáticos tropicais.

Reservatórios são entendidos como sistemas complexos que apresentam características intermediárias tanto de ambientes lênticos como lóticos, por serem construídos, em geral, pelo barramento de rios com a formação de um lago artificial (KALFF, 2002). O desenvolvimento de elevadas densidades ou biomassas algais nestes ecossistemas é afetado por pulsos produzidos no próprio reservatório, os quais produzem alterações na disponibilidade de nutrientes e luz subaquática (TUNDISI, 1990) e tem origem natural (precipitação, vento, influxo de rios) ou antropogênica (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI; ROCHA, 1999).

Padrões térmicos relacionados à condição de estratificação e mistura tem recebido atenção de muitos pesquisadores nos últimos anos na resolução de questões envolvendo comunidades fitoplanctônicas (ANTENUCCI *et al.*, 2005; BECKER *et al.*, 2008; BERNHARDT; ELLIOTT; JONES, 2008; WINDER; HUNTER, 2008). Para estes autores, a condição de estratificação estabelece vantagens para algumas espécies algais que influenciam na estrutura da comunidade. Para Kangro *et al.* (2005) os gradientes de luz, temperatura, oxigênio e nutrientes presentes em lagos estratificados causam uma variedade de microhabitats que, segundo Souza *et al.* (2008) selecionam diferentes associações algais.

Espécies de algas planctônicas tolerantes a camadas misturadas e túrbidas são mais frequentemente reportadas para reservatórios com circulação térmica, enquanto habitats estratificados termicamente podem conter associações de espécies sensíveis à mistura e à baixa disponibilidade ótica (REYNOLDS *et al.*, 2002). Esta variação é observada em reservatório tanto em escala espacial como temporal. Em sistemas profundos há um padrão de distribuição longitudinal do fitoplâncton que se relaciona especificamente com as condições impostas pela heterogeneidade espacial do reservatório (BORGES; TRAIN; RODRIGUES, 2008), enquanto que em sistemas rasos, a heterogeneidade é marcada sazonalmente através de processos sucessionais da comunidade fitoplanctônica em ajuste as alterações ambientais.

Na última década, vários estudos têm apresentado detalhes sobre a ecologia do fitoplâncton utilizando as associações algais como ferramenta útil na caracterização das condições ambientais tanto em ambientes tropicais como subtropicais (PADISÁK; REYNOLDS, 1998; HUSZAR *et al.*, 2000; HUSZAR; KRUK; CARACO, 2003; KOMÁRKOVÁ; TAVERA, 2003; NASELLI-FLORES *et al.*, 2003; BURFORD; O'DONOHUE, 2006; MOURA *et al.*, 2007a; BECKER *et al.*, 2008). Estes trabalhos foram realizados a partir de Reynolds (1997) e Reynolds *et al.* (2002) que apresentaram um modelo de classificação funcional das algas com 31 códons, capaz de refletir a ecologia das espécies (KRUK *et al.*, 2002). No entanto, vários erros na aplicação desta classificação têm sido verificados, pois o uso das associações requer profundo conhecimento da ecologia das espécies (PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009) e frequentemente novas associações são sugeridas (PADISÁK *et al.*, 2003; 2006; CALLIERI *et al.*, 2006; BORICS *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2008) com intenção de consolidar o modelo e ajustes conceituais na delimitação de cada códon.

A região Nordeste do Brasil é marcada pela heterogeneidade nos padrões de precipitação pluviométrica (LAZZARO *et al.*, 2003), elevadas temperaturas e irregularidades climáticas, tendo na construção de reservatórios a solução para o provimento de água em épocas de escassez. Na década de 90, o evento climático *El Niño*, responsável por produzir estiagem prolongada, reduziu as reservas de água dos reservatórios da região. Este estresse ambiental provocou o estabelecimento de florações algais formadas quase que inteiramente por cianobactérias (BOUVY *et al.*, 2000; 2001). Desde então, diversos estudos relacionados ao fitoplâncton foram desenvolvidos no Nordeste, sendo concentrados nos estados do Rio Grande do Norte (CHELLAPPA; COSTA, 2003; COSTA *et al.*, 2006; CHELLAPPA; BORBA; ROCHA, 2008; CHELLAPPA; CHELLAPPA; CHELLAPPA, 2008), Ceará (von SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008) e Pernambuco (HUSZAR *et al.*, 2000; BOUVY *et al.*, 2003; MOLICA *et al.*, 2005; MOURA *et al.*, 2006; MOURA; DANTAS; BITTENCOURT-OLIVEIRA, 2007; MOURA *et al.* 2007a; 2007b; DANTAS *et al.* 2008; LIRA; BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOURA, 2009). Conforme estes autores, diferentes táxons de algas desenvolvem elevadas densidades e biomassas nos reservatórios da região com destaque para espécies de cianobactérias, clorófitas, euglenófitas e diatomáceas, sendo sua ocorrência frequentemente relatada às condições climatológicas, às elevadas temperaturas e à disponibilidade de luz e nutrientes.

Desta forma, este trabalho objetivou estudar a riqueza, diversidade e biomassa da comunidade fitoplanctônica, relacionando o comportamento das espécies e associações algais com as variações sazonais e espaciais apresentadas pelos fatores abióticos, em cinco reservatórios (Duas Unas, Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde e Pedra) localizados em diferentes regiões climáticas do estado de Pernambuco, Nordeste, Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão foi feita baseada no levantamento de trabalhos realizados em lagos e reservatórios especialmente a partir de 1998.

Tópicos como composição, diversidade, agrupamento funcional das espécies, sucessão, predação, processos físicos de desestratificação, limitação de luz e limitação de nutrientes podem ser utilizados para compreender a estrutura e dinâmica do fitoplâncton (NASELLI-FLORES; BARONE, 1998; FIGUEREDO; GIANI,

2001; MARINHO; HUSZAR, 2002; REYNOLDS *et al.*, 2002; DZIALOWSKI *et al.*, 2005; BECKER *et al.*, 2008; von RÜCKERT; GIANI, 2008; PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009).

2.1. Composição e Diversidade Fitoplanctônica

Os ecossistemas aquáticos apresentam diferentes composições da flora planctônica estando relacionados a fatores geográficos, climáticos, físicos, químicos e biológicos, como competição e predação. Todos os indivíduos que compõe estes sistemas se encontram interligados através da cadeia trófica, sendo o fitoplâncton o componente base dessa teia. A instabilidade ambiental e as mudanças das condições no tempo e no espaço determinam a composição fitoplanctônica de um lago, estando os padrões de riqueza, diversidade, densidade e biomassa diretamente relacionados com esta variação (REYNOLDS, 2006). Vários grupos algais são encontrados como constituinte da estrutura fitoplanctônica dos sistemas aquáticos, com destaque para as divisões Cyanophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Bacillariophyta e Dinophyta, comumente reportada em ecossistemas tropicais.

Em muitos ambientes aquáticos, especialmente aqueles de maior nível trófico, observa-se a dominância de cianobactérias (REYNOLDS, 1998). O aumento da densidade e biomassa destas algas tem sido associado a vários fatores, dentre estes, podem ser citados: elevadas temperatura da água, baixa concentração de CO₂ associada a pH alcalino, baixa relação N:P, estratégia de estocar fósforo, minimizar a predação e regular sua flutuabilidade (DOKULIL; TEUBNER, 2000). Entretanto, podem ser distinguidas diferentes associações que apresentam comportamentos diferenciados (REYNOLDS *et al.*, 2002).

As cianobactérias planctônicas podem ser distinguidas em quatro ecótipos de acordo com seu comportamento na coluna d'água: as espécies fixadoras de nitrogênio, as espécies que florescem usualmente no metalímnio (pouco encontradas em sistemas aquáticos tropicais), as filamentosas tolerantes a turbulência e as espécies formadoras de agregados ou colônias (DOKULIL; TEUBNER, 2000).

As espécies fixadoras de nitrogênio possuem uma célula diferenciada responsável por esta função, o heterócito. Esta característica permite a estes táxons ocorrerem em condições limitadas por nitrogênio (CURVIN-ARALAR *et al.*, 2004). Além do mais, podem ser também favorecidas quando há limitação de fósforo,

sendo a floração, neste caso, de curta duração e presente enquanto as propriedades da água permitirem (PADISÁK; REYNOLDS, 1998). Estas espécies florescem em condição de estratificação em regiões subtropicais (SILVA; TRAIN; RODRIGUES, 2005; BECKER; HUSZAR; WILHELM, 2009), sendo verificada relação com mistura térmica em reservatórios tropicais (HUSZAR *et al.*, 2000). Conforme Borges, Train e Rodrigues (2008), as quais realizaram estudo em dois reservatórios subtropicais, a dominância de *Anabaena circinalis* Rabenhorst, uma cianobactéria heterocitada, ocorreu em período de estratificação térmica e elevada disponibilidade de luz e nutrientes no epilímnio. Estes autores atribuíram a dominância desta espécie à presença de aerótopos (vesículas de gás que lhes confere flutuabilidade) e de uma espessa bainha mucilaginosa que permitem a espécie manter-se na zona eufótica por um longo período.

As cianobactérias filamentosas tolerantes a turbulência pertencem à ordem Oscillatoriales e são encontradas em muitos ecossistemas aquáticos. De acordo com Nixdorf, Mischke e Rücker (2003), camadas misturadas túrbidas e com forte deficiência de luz, constituem o habitat destas espécies. A turbulência é responsável pela redistribuição de nutrientes na coluna d'água e pela redução de pressão de *grazing* (DOS SANTOS; CALIJURI, 1998). A própria forma filamentosa destas algas tem uma influência inibitória sobre o zooplâncton filtrador, conduzindo a mudança da comunidade zooplanctônica por organismos menores e mais resistentes (GASIUNAITÉ; OLENINA, 1998). Estas cianobactérias são boas atenuantes de luz no ambiente aquático (HUSZAR *et al.*, 2000), sendo mais sensível a deficiência de nitrogênio que o sombreamento (PADISÁK; REYNOLDS, 1998).

A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju, apesar de pertencer ao grupo das cianobactérias heterocitadas, apresenta ecologia semelhante às filamentosas não-heterocitadas tolerantes a turbulência (PADISÁK; REYNOLDS, 1998). Em regiões tropicais podem desenvolver populações perenes, enquanto que em regiões temperadas limitam-se a ocorrer em períodos quentes do ano (BRIAND *et al.*, 2002; 2004). Este táxon é um dos mais citados nos trabalhos da região Nordeste como causadora de floração (BOUVY *et al.*, 1999; 2000; 2001; 2003; HUSZAR *et al.*, 2000; COSTA *et al.*, 2006; MOURA *et al.*, 2007a; CHELLAPPA; BORBA; ROCHA, 2008; CHELLAPPA; CHELLAPPA; CHELLAPPA, 2008; DANTAS *et al.*, 2008) e seu desenvolvimento é atribuído a elevadas temperaturas, pH alcalino, reduzida transparência da água, e elevada disponibilidade de fósforo.

As cianobactérias formadoras de agregados ou colônias podem desenvolver grande classe de tamanho, maiores que 50 μm , e volume celular, maiores que $10^4 \mu\text{m}^3$ (CROSSETTI; BICUDO, 2008) e quando suas células possuem aerótopos podem coexistir na camada superficial dos lagos e proliferar em sistemas profundos com alto grau de estabilidade (DOKULIL; TEUBNER, 2000). Estas podem ocorrer em condição de turbulência e baixa disponibilidade de luz na coluna d'água, tendo alta afinidade na absorção do fósforo (BORGES; TRAIN; RODRIGUES, 2008). Nesta condição, começam a se estabelecer no epilímnio após o início da anoxia no sedimento dos reservatórios, pois este fator contribui para a liberação de fósforo (XIE; XIE; TANG, 2003).

Enquanto as cianobactérias são geralmente relacionadas à condição de estabilidade térmica, as clorófitas são frequentemente associadas à desestratificação, coincidindo com a maior disponibilidade de nutrientes provenientes da ressuspensão do sedimento (GENTIL; TUCCI; SANT'ANNA, 2008). Beyruth (2000) e Calijuri, Dos Santos e Jati (2002) encontraram maior abundância de clorófitas durante o período de circulação da água e maiores valores de transparência e nutrientes, especialmente nitrato e fosfato. No entanto, Becker, Huszar e Crossetti (2009) relataram a contribuição das algas verdes coloniais com bainha mucilaginosa principalmente durante a fase de estratificação térmica, assemelhando-se ao comportamento das cianobactérias formadoras de colônias.

Dos Santos e Calijuri (1998) discutiram que o reduzido tamanho celular, principalmente das Chlorococcales, e a elevada relação área:volume confere a estas algas uma elevada capacidade de absorver nutrientes, sendo uma importante vantagem em águas oligotróficas. As Chlorococcales constituem um grupo com ocorrência de elevada riqueza nos ecossistemas aquáticos, mas contribui pouco (<20%) da biomassa total das algas planctônicas (PADISÁK *et al.*, 2003).

Chellappa, Borba e Rocha (2008a) encontraram dominância de clorófitas durante um ano de estudo em um reservatório do Rio Grande do Norte, sendo substituída por outras algas apenas em um mês de coletas. Neste estudo, a dominância de clorófitas apresentou correlação positiva com o pH, a condutividade elétrica e o nitrato. Bouvy *et al.* (1999) relataram o surgimento de clorófitas e diatomáceas após o *bloom* da cianobactéria *C. raciborskii* no reservatório de Ingazeira, Pernambuco. Segundo estes autores a baixa relação Zeu:Zmix produzido pelo reduzido volume hídrico condicionou a ressuspensão e liberação de nutrientes

para a coluna d'água. Isto diminuiu a vantagem competitiva de *C. raciborskii* e favoreceu a ocorrência de clorofíceas e diatomáceas.

O aumento da abundância das algas verdes é relatado para ecossistemas com relação N:P acima de 20, sendo o contrário para as diatomáceas que dominam em reduzida relação N:P (CURVIN-ARALAR *et al.*, 2004). As diatomáceas são relatadas como as algas que sucedem as cianobactérias em reservatórios tropicais por ocasião do evento de mistura (TUNDISI, 1990). Nogueira (2000) estudando o reservatório de Jurumirim, São Paulo, encontrou dominância de diatomáceas filamentosas em zonas de características lólicas no início da estação chuvosa e de cianobactérias em zonas com características lênticas na estação de estiagem. A instabilidade da coluna d'água favoreceu o desenvolvimento de espécies de diatomáceas nos reservatórios em cascata do rio Iguaçu, Paraná, sendo sucedidas por cianobactérias formadoras de colônias e fixadoras de nitrogênio no período de estabilidade (SILVA; TRAIN; RODRIGUES, 2005). Entretanto, táxons de diatomáceas podem apresentar densidades e biomassas elevadas em condição de estratificação, sendo formada por espécies de arranjo colonial (BECKER; HUSZAR; CROSSETTI, 2009).

As diatomáceas estão relacionadas às águas com temperaturas mais baixas (SILVA; TRAIN; RODRIGUES, 2005), e mistura profunda na coluna d'água (LOVERDE-OLIVEIRA; HUSZAR, 2007). As espécies cêntricas apresentam elevadas densidades e biomassas em altas concentrações de fósforo, enquanto que os táxons com arranjo filamentoso associam-se com ambientes turbulentos, com ótima disponibilidade de nitrogênio, especialmente nitrato (MARINHO; HUSZAR, 2002).

Estas algas apresentam frústulas (parede celular) compostas de sílica, o que lhes confere uma densidade mais alta em relação às outras algas. Conforme Heo e Kim (2004), isto as impede de ocorrer em estratos próximos a subsuperfície, favorecendo as perdas por sedimentação. A condição de mistura auxilia em eventos de ressuspensão das frústulas, conduzindo-as para condições mais adequadas de luminosidade.

Os fitoflagelados como as criptófitas, as euglenófitas e os dinoflagelados apresentam migração vertical como estratégia de ocupação de habitat. No entanto, a exceção dos dinoflagelados, e algumas euglenófitas, são facilmente predadas pelo zooplâncton (REYNOLDS *et al.*, 2002). Lopes, Bicudo e Ferragut (2005) evidenciaram que as algas flageladas possuem vantagem seletiva em ambientes

estratificados termicamente, pois as algas desprovidas de motilidade são totalmente dependentes da turbulência da água para ocorrer em zonas ótimas de luz. Ainda conforme estes autores, a motilidade é desvantajosa em sistemas homogêneos, pois os recursos encontram-se bem distribuídos.

As condições hidrodinâmicas, bem como a disponibilidade de luz e nutrientes favorecem o desenvolvimento de criptofíceas, as quais ocorrem durante períodos de mistura ou após elevada turbulência (BORGES; TRAIN; RODRIGUES, 2008). Estas condições propiciam a redistribuição dos nutrientes na coluna d'água e reduz a pressão dos predadores. Elevadas densidades de criptofíceas são comumente observadas em reservatórios tropicais (DOS SANTOS; CALIJURI, 1998; PIVATO; TRAIN; RODRIGUES, 2006). As criptofíceas ocorrem em largo espectro trófico, podendo ser considerado oportunista (MARINHO; HUSZAR, 2002).

O'Farrell *et al.* (2003) relacionam a ocorrência de elevadas densidades de euglenofíceas e criptofíceas em condições anóxicas e deficientes de luminosidade. Os autores atribuem ao fato à condição mixotrófica destas espécies, que pode ser entendida como uma vantagem nesta condição ambiental. As euglenofíceas raramente atingem biomassa elevada em grandes lagos, estando mais relacionado com pequenos ecossistemas, principalmente os que apresentam uma elevada carga orgânica (PADISÁK *et al.*, 2003).

2.2. Associações Fitoplanctônicas

O estudo das diferentes espécies fitoplanctônicas e sua ecologia vêm sendo amplamente discutidos através do emprego de grupos funcionais (PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009). A aplicação da classificação funcional formulada por Reynolds (1997) e re-editada por Reynolds *et al.* (2002) é de descrever os padrões das algas planctônicas em vários ecossistemas aquáticos, na tentativa de facilitar o entendimento de processos bióticos que podem acontecer no tempo e no espaço, através das relações entre as espécies e o meio abiótico.

Conforme esta classificação, as associações **A, B, C, D, MP, N, P** e **T** são formadas por diatomáceas; as associações **F, G, J, K, MP, N, P, T, X** e **W** agrupam espécies de clorófitas; **H, K, L, M, MP, R, S, T, W** e **Z**, reúnem espécies de cianobactérias; enquanto que as associações **E, L, Q, U, V, W, X** e **Y** agrupam espécies de fitoflagelados (PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009). Os códons não são exclusivos de determinados grupos de algas, e táxons filogeneticamente não relacionados podem pertencer a um mesmo código. Além do

mais, os códons podem ser subdivididos em outros, a saber, **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** (Tabela 1).

Com a postulação da teoria fitossociológica das algas e da revisão da hipótese do paradoxo do plâncton com a proposição de estratégias de sobrevivência C-S-R para os grupos algais (REYNOLDS, 1997), o emprego das associações fitoplanctônicas na caracterização dos ecossistemas aquáticos, e o estudo da cadeia trófica planctônica tornou-se uma importante ferramenta vindo a subsidiar diversos trabalhos no mundo inteiro, com enfoque especialmente voltado ao comportamento dos corpos aquáticos.

O uso desta classificação funcional para o fitoplâncton foi validado através do trabalho de Kruk *et al.* (2002), em que as associações algais foram consideradas ferramentas viáveis no estudo da ecologia do fitoplâncton. Desde então diversos autores empregam esta classificação para o aprimoramento de teorias ecológicas nos mais variados ecossistemas aquáticos.

Em altas latitudes, como nos lagos antárticos estudados por Allende e Izaguirre (2003), as picocianobactérias (**Z**) apresentaram grande proporção na comunidade fitoplanctônica, com boa contribuição de clorófitas e crisófitas flageladas pertencentes às associações **X2** e **X3**. Fietz *et al.* (2005) e Babanazarova e Lyashenko (2007) observaram em estudos de lagos russos com diferentes profundidades e condições tróficas que diatomáceas (**A**) e alguns flagelados (**E** e **X3**) são típicos de ambientes oligotróficos e profundos, enquanto que as cianobactérias filamentosas (**S1** e **H1**) e cocoides (**M**), as clorófitas (**J**) e as diatomáceas (**C**) predominam em ambientes rasos e eutróficos, pois se adaptam bem em condições de reduzida luminosidade sub-aquática ou com elevada turbulência da água.

Em ambientes temperados e subtropicais, diferentes associações podem ser reconhecidas contribuindo com biomassas totais significativas. Padisák *et al.* (2003) estudaram 80 lagos húngaros rasos de diferentes estados tróficos. Não foram verificadas neste estudo as associações típicas de camadas epilimnéticas (**N**, **P**, **T**, **H2**, **U** e **Lo**) e metalimnéticas (**Z**, **R** e **V**) de lagos estratificados, assim como as associações **S2** (severamente limitado a baixas latitudes) e **Q** (sensível ao lugol, substância fixadora utilizada no seu trabalho). A associação de euglenófitas (**W1** e **W2**) e de criptomonados (**Y** e **X2**) foram as mais abundantes e frequentes nestes lagos rasos húngaros.

Tabela 1: Grupos funcionais (GF) estudados pelos autores da seção 2.2. desta fundamentação teórica com base em Reynolds et al. (2002) e Pádisák et al. (2009).

GF	Espécies estudadas	Referências	Comentários
A	<i>Acanthoceras</i> spp., <i>Brachysira vitrea</i> , <i>Cyclostephanos</i> sp., <i>Cyclotella baicalensis</i> , <i>C. glomerata</i> , <i>C. minuta</i> , <i>C. ornata</i> , <i>C. stylorum</i> , <i>C. wuethrichiana</i> , <i>Urosolenia</i> spp.	Borics et al., 2007; Borges, Train e Rodrigues 2008*; Çelik e Ogun, 2008; Fietz et al., 2005*; Leitão et al., 2003*; Melo e Huszar, 2000; Silva, Train e Rodrigues, 2005; Souza et al., 2008; Townsend, 2006.	Habitam águas claras e toleram ambientes com deficiência de nutrientes. As espécies são sensíveis a pH alcalino. A maioria dos estudos que citam esta associação foi realizada em ecossistemas profundos e oligotróficos.
B	<i>Aulacoseira hergozii</i> , <i>A. italica</i> , <i>Cyclotella comta</i> , <i>C. kuetzingiana</i> , <i>C. ocellata</i> , <i>Discotella stelligera</i> , <i>Stephanodiscus meyerii</i> , <i>S. neoastraea</i> , <i>S. minutulus</i> , <i>S. rotula</i> .	Borics et al., 2007; Borges, Train e Rodrigues 2008; Fietz et al., 2005; Gurbuz et al., 2003*; Hajnal e Pádisák, 2008*; Leitão et al., 2003*; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005*; Nabout et al., 2006*; Pádisák et al., 2003.	Habitam ecossistemas mesotróficos e misturadas, sendo sensíveis a pH alcalino.
C	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Asterionella</i> sp., <i>Aulacoseira ambigua</i> , <i>A. distans</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Stephanodiscus rotula</i> , <i>Stephanodiscus</i> sp.	Albay e Akçaalan, 2003; Anneville et al., 2005; Babanazarova e Lyashenko, 2007; Borics et al., 2007; Borges, Train e Rodrigues 2008*; Bovo-Scomparin e Train, 2008*; Crossetti e Bicudo, 2008*; Gurbuz et al., 2003; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002*; Marinho e Huszar, 2002; Morabito, Oggioni e Panzani, 2003; Moura et al., 2007a*; Wilhelm e Adrian, 2008.	Habitam ambientes eutróficos e misturados.
D	<i>Nitzschia acicularis</i> , <i>N. agnita</i> , <i>Nitzschia</i> spp., <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Synedra acus</i> , <i>S. delicatissima</i> , <i>S. rumpens</i> , <i>S. ulna</i> , <i>Synedra</i> sp.	Albay e Akçaalan, 2003; Anneville et al., 2005; Crossetti e Bicudo, 2008; Fietz et al., 2005*; Gurbuz et al., 2003; Hajnal e Pádisák, 2008; Kruk et al., 2002; Moura et al., 2007a; Pádisák et al., 2003; Townsend, 2006.	Ocorrem em águas túrbidas, eutróficas e rasas.
E	<i>Dinobryon</i> spp., <i>Erkenia</i> sp., <i>Mallomonas</i> spp., <i>Salpingoeca</i> sp.	Anneville et al., 2005; Fietz et al., 2005; Hajnal e Pádisák, 2008; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005; McIntire, Larson e Truitt, 2007; Pádisák et al., 2003.	Ocorrem usualmente em ecossistemas pequenos e rasos, com águas oligotróficas ou heterotróficas.
F	<i>Botryococcus braunii</i> , <i>B. neglectus</i> , <i>B. protuberans</i> , <i>B. terribilis</i> , <i>Dictyosphaerium</i> spp., <i>Dimorphococcus</i> spp., <i>Elakattothrix</i> spp., <i>Eutetramorus</i> spp., <i>Kirchneriella lunaris</i> , <i>K. obesa</i> , <i>K. pinguis</i> , <i>K. pseudoaperta</i> , <i>Kirchneriella</i> sp., <i>Lobocystis planctonica</i> , <i>Micractinium pusillum</i> , <i>Oocystis borgei</i> , <i>O. lacustris</i> , <i>O. marina</i> , <i>Oocystis</i> spp., <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> , <i>Sphaerocystis</i> spp., <i>Treubaria triappendiculata</i> .	Albay e Akçaalan, 2003; Anneville et al., 2005; Borics et al., 2007; Fietz et al., 2005; Gurbuz et al., 2003; Hajnal e Pádisák, 2008; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002*; Leitão et al., 2003; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005; Moura et al., 2007a; Pádisák et al., 2003; Pádisák et al., 2006; Souza et al., 2008.	Habitam águas meso-eutróficas e com epilímnio claro.
G	<i>Carteria</i> spp., <i>Eudorina</i> spp., <i>Pandorina</i> spp., <i>Volvox</i> spp.	Anneville et al., 2005; Borics et al., 2007; Pádisák et al., 2003.	Habitam colunas d'água ricas em nutrientes.

Tabela 1: Continuação...

GF	Espécies estudadas	Referências	Comentários
H1	<i>Anabaena circinalis</i> , <i>A. planctonica</i> , <i>A. spiroides</i> , <i>Anabaena</i> spp., <i>Anabaenopsis arnoldii</i> , <i>A. elenkinii</i> , <i>Anabaenopsis</i> sp., <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>A. gracile</i> , <i>A. issatschenkoi</i> , <i>A. klebahnii</i> , <i>A. ovalisporum</i> , <i>Aphanizomenon</i> spp.	Anneville et al., 2005; Babanazarova e Lyashenko, 2007; Borges, Train e Rodrigues, 2008; Bovo-Scomparin e Train, 2008*; Çelik e Ongun, 2008; Crossetti e Bicudo, 2008; Fietz et al., 2005; Hajnal e Padisák, 2008*; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002; Marinho e Huszar, 2002; Padisák et al., 2003; Padisák et al., 2006; Silva, Train e Rodrigues, 2005; Wilhelm e Adrian, 2008.	Predominam em ecossistemas eutróficos rasos e estratificados, com baixas concentrações de nitrogênio.
H2	<i>Anabaena lemmermanii</i> , <i>Gloeotrichia echinulata</i> .	Babanazarova e Lyashenko, 2007; Borics et al., 2007.	Predominam em ecossistemas oligo-mesotróficos, profundos e estratificados ou em ambientes mesotróficos com boas condições de luz subaquática.
J	<i>Actinastrum</i> spp., <i>Coelastrum</i> spp., <i>Crucigenia</i> spp., <i>Golenkinia</i> spp., <i>Goniochlorys mutica</i> , <i>Pediastrum</i> spp., <i>Scenedesmus</i> spp., <i>Tetraedron</i> spp., <i>Tetrastrum</i> spp.	Albay e Akçaalan, 2003; Anneville et al., 2005*; Babanazarova e Lyashenko, 2007; Borics et al., 2007; Çelik e Ongun, 2008; Hajnal e Padisák, 2008; Kruk et al., 2002; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005; Moura et al., 2007a; Nabout et al., 2006; Naselli-Flores e Barone, 2005; Padisák et al., 2003; Romo e Villena, 2005.	Habitam ambientes rasos, misturados e altamente enriquecidos.
K	<i>Aphanocapsa</i> sp., <i>Aphanothece</i> sp., <i>Chlorella minutissima</i> , <i>Cyanodictyon</i> sp., <i>Synechococcus elegans</i> , <i>S. elongatus</i> .	Allende e Izaguirre, 2003; Anneville et al., 2005; Crossetti e Bicudo, 2008; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002*; Leitão et al., 2003; Melo e Huszar, 2000*; Padisák et al., 2006; Padisák et al., 2003; Pinto, Allende e O'Farrell, 2007*; Silva, Train e Rodrigues, 2005.	Habitam a coluna d'água rica em nutrientes em ecossistemas rasos.
Lm	<i>Ceratium hirundinella</i> , <i>Microcystis</i> spp.	Kruk et al., 2002; Naselli-Flores e Barone, 2005; Padisák et al., 2003.	Esta associação é determinada pela co-ocorrência das espécies que a compõem. Isto é observado em ecossistemas eutrófico ou hipertrófico.
Lo	<i>Ceratium hirundinella</i> , <i>Chroococcus limneticus</i> , <i>C. minor</i> , <i>C. minutus</i> , <i>C. turgidus</i> , <i>Coelosphaerium evidenter-marginatum</i> , <i>C. kuetzingianum</i> , <i>Coelosphaerium</i> sp., <i>Eucapsis minuta</i> , <i>Merismopedia minima</i> , <i>M. punctata</i> , <i>M. tenuissima</i> , <i>Merismopedia</i> spp., <i>Peridiniopsis durandi</i> , <i>Peridinium cinctum</i> , <i>P. gatunense</i> , <i>P. incospicuum</i> , <i>P. umbonatum</i> , <i>P. willei</i> , <i>Peridinium</i> spp., <i>Radiocystis fernandoi</i> , <i>Snowella lacustris</i> , <i>Synechocystis aquatilis</i> , <i>Woronichinia</i> sp.	Allende e Izaguirre, 2003; Anneville et al., 2005; Borics et al., 2007; Bovo-Scomparin e Train, 2008*; Callieri et al., 2006*; Crossetti e Bicudo, 2008*; Gurbuz et al., 2003; Hajnal e Padisák, 2008; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002*; Leitão et al., 2003; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005*; McIntire, Larson e Truitt, 2007; Melo e Huszar, 2000*; Moura et al., 2007a*; Padisák et al., 2006; Pinto, Allende e O'Farrell, 2007; Romo e Villena, 2005*; Souza et al., 2008; Townsend, 2006.	Ocorre em ecossistemas rasos e profundos, com característica trófica diversa. As espécies que compõem este grupo funcional são sensíveis a mistura prolongada.

Tabela 1: Continuação...

GF	Espécies estudadas	Referências	Comentários
M	<i>Microcystis</i> spp., <i>Sphaerocavum brasiliensis</i> .	Albay e Akçaalan, 2003; Anneville et al., 2005; Babanazarova e Lyashenko, 2007; Borges, Train e Rodrigues, 2008*; Çelik e Ongun, 2008; Crossetti e Bicudo, 2008; Hajnal e Padisák, 2008; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002; Marinho e Huszar, 2002; Moura et al., 2007a*; Naselli-Flores e Barone, 2005; Padisák et al., 2003.	Predominam em ecossistemas eutrófico ou hipertrófico.
MP	<i>Achnanthes microcephala</i> ; <i>Achnanthes</i> sp.; <i>Campylodiscus</i> spp.; <i>Cocconeis</i> sp.; <i>Cylindrospermum muscicola</i> ; <i>Desmidium laticeps</i> ; <i>Fragilaria construens</i> ; <i>Gomphonema angustatum</i> ; <i>Navicula cuspidata</i> ; <i>Navicula</i> spp.; <i>Nitzschia sigmoidea</i> ; <i>Oscillatoria</i> spp.; <i>Pleurosigma</i> sp.; <i>Pseudanabaena catenata</i> ; <i>P. galeata</i> ; <i>Surilella</i> spp.; <i>Ulnaria ulna</i> ; <i>Ulothrix</i> sp.	Allende e Izaguirre, 2003*; Anneville et al., 2005; Bovo-Scomparin e Train, 2008; Çelik e Ongun, 2008*; Crossetti e Bicudo, 2008*; Hajnal e Padisák, 2008*; Kruk et al., 2002; Moura et al., 2007a*; Padisák et al., 2003; Padisák et al., 2006; Romo e Villena, 2005*.	Ocorrem em lagos rasos, túrbidos e inorgânicos. As diatomáceas incluídas nesta associação apresentam habito perifítico e apresentam ocorrência esporádica no plâncton.
N	<i>Cosmarium</i> spp., <i>Pleurotaenium</i> spp., <i>Spondylosium</i> spp., <i>Staurastrum leptocladum</i> , <i>Staurastrum</i> spp., <i>Staurodesmus</i> spp., <i>Tabellaria</i> spp., <i>Teilingia</i> spp., <i>Xanthidium</i> spp.	Anneville et al., 2005; Kruk et al., 2002; Nabout et al., 2006; Reynolds et al., 2002.	Ocorrem em ambientes mesotróficos, podendo tolerar deficiência de nutrientes. As espécies são sensíveis a pH alcalino e sua distribuição é mais restrita a ecossistemas temperados.
Na	<i>Cosmarium</i> spp., <i>Staurastrum</i> spp., <i>Staurodesmus</i> spp.,	Souza et al., 2008.	Predominam em ambientes atelomíticos oligo-mesotróficos de baixas latitudes.
P	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Closterium aciculare</i> , <i>Closterium gracile</i> , <i>Closterium parvulum</i> , <i>Fragilagia crotonensis</i> , <i>Fragilaria</i> spp., <i>Melosira</i> sp., <i>Staurastrum chaetoceras</i> , <i>S. gracile</i> , <i>Staurastrum planctonicum</i> , <i>Staurastrum</i> sp.	Albay e Akçaalan, 2003*; Anneville et al., 2005; Borics et al., 2007; Borges, Train e Rodrigues 2008*; Bovo-Scomparin e Train, 2008; Gurbuz et al., 2003; Hajnal e Padisák, 2008*; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002; Leitão et al., 2003; Morabito, Oggioni e Panzani, 2003; Moura et al., 2007a; Nabout et al., 2006; Naselli-Flores e Barone, 2005; Silva, Train e Rodrigues, 2005; Wilhelm e Adrian, 2008.	Apresenta ecologia semelhante ao grupo funcional N . No entanto, ocorrem em ecossistemas com elevado nível trófico e apresentam distribuição tanto em baixa como em média latitude.
Q	<i>Gonyostomum</i> spp.	Reynolds et al., 2002.	Pequenos lagos ácidos e húmicos.
R	<i>Planktothrix mougeotii</i> , <i>P. rubescens</i> .	Anneville et al., 2005; Morabito, Oggioni e Panzani, 2003.	Habitam no metalímnio ou na camada superior do hipolímnio em ecossistemas oligo-mesotróficos profundos.

Tabela 1: Continuação...

GF	Espécies estudadas	Referências	Comentários
S1	<i>Geitlerinema amphibium</i> , <i>G. unigranulatum</i> , <i>Geitlerinema</i> sp., <i>Isocystis pallida</i> , <i>Joaginema quadripunctulatum</i> , <i>J. subtilissimum</i> , <i>Leptolyngbya antactica</i> , <i>L. tenue</i> , <i>Limnothrix planctonica</i> , <i>L. redekeii</i> , <i>Lyngbya</i> sp., <i>Phormidium</i> sp., <i>Planktolynngbya contorta</i> , <i>P. limnetica</i> , <i>Planktolynngbya</i> spp., <i>Planktothrix agardhii</i> , <i>Planktothrix</i> sp., <i>Pseudanabaena limnetica</i> .	Allende e Izaguirre, 2003*; Babanazarova e Lyashenko, 2007; Borics et al., 2007; Crossetti e Bicudo, 2008; Hajnal e Padisák, 2008; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002; Melo e Huszar, 2000; Morabito, Oggioni e Panzani, 2003; Moura et al., 2007a; Padisák et al., 2003; Padisák et al., 2006; Pinto, Allende e O'Farrell, 2007*; Romo e Villena, 2005; Silva, Train e Rodrigues, 2005; Souza et al., 2008*; Wilhelm e Adrian, 2008.	Habitam ambientes misturados túrbidos. Este grupo funcional é formado apenas por cianobactérias adaptadas ao sombreamento.
S2	<i>Spirulina</i> sp.	Moura et al., 2007a; Souza et al., 2008.	Ocorrem em águas quentes, rasas e altamente alcalinas.
Sn	<i>Anabaena minutissima</i> , <i>Cylindrospermopsis catemaco</i> , <i>C. philippinensis</i> , <i>C. raciborskii</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> sp., <i>Raphidiopsis mediterranea</i> , <i>Raphidiopsis</i> sp.	Borics et al., 2007; Crossetti e Bicudo, 2008; Hajnal e Padisák, 2008; Huszar et al., 2000; Komárková e Tavera, 2003; Kruk et al., 2002; Marinho e Huszar, 2002; Moura et al., 2007a*; Padisák et al., 2003; Padisák et al., 2006; Pinto, Allende e O'Farrell, 2007; Silva, Train e Rodrigues, 2005.	Predominam em ambientes misturados quentes.
T	<i>Geminella</i> spp., <i>Mesotaenium chlamydosporum</i> , <i>Mesotaenium</i> sp., <i>Mougeotia</i> spp., <i>Planctonema lauterbornii</i> , <i>Tribonema</i> spp.	Anneville et al., 2005; Borics et al., 2007; Leitão et al., 2003; McIntire, Larson e Truitt, 2007; Melo e Huszar, 2000; Morabito, Oggioni e Panzani, 2003; Romo e Villena, 2005.	Ocorrem em habitats persistentemente misturados.
Tb	<i>Achnanthes</i> spp., <i>Didymosphaenia geminata</i> , <i>Fragilaria</i> spp., <i>Gomphonema</i> spp., <i>Navicula</i> spp., <i>Nitzschia</i> spp., <i>Surirella</i> spp.	Borics et al., 2007.	Habitam ambientes altamente lóticos.
Tc	<i>Lyngbya</i> spp., <i>Oscillatoria</i> spp., <i>Phormidium</i> spp., <i>Rivularia</i> spp.	Borics et al., 2007.	Ocorrem em águas permanentemente eutróficas em rios de fluxo lento e com presença de macrófitas emergentes.
Td	Desmídeas epifíticas e matafíticas, algas verdes filamentosas e diatomáceas de sedimento.	Borics et al., 2007.	Ocorrem em águas permanentemente mesotróficas em rios de fluxo lento e com presença de macrófitas emergentes.
U	<i>Uroglena</i> spp.	Anneville et al., 2005.	Predominam em lagos oligotróficos e mesotróficos estratificados em que se observa exaustão de nutrientes no epilímnio e uma pequena concentração em camadas escuras e profundas.
V	<i>Chlororobium</i> spp., <i>Chromatium</i> spp.	Reynolds et al., 2002.	Ocorrem no metalímnio de lagos estratificados eutróficos ou no monimolímnio de lagos meromíticos.
W1	<i>Euglena</i> spp., <i>Lepocynclis</i> spp., <i>Phacus</i> spp., <i>Vacuolaria tropicalis</i> .	Çelik e Ongun, 2008; Crossetti e Bicudo, 2008; Hajnal e Padisák, 2008; Kruk et al., 2002; Moura et al., 2007a; Nabout et al., 2006; Padisák et al., 2003; Townsend, 2006.	Pequenos lagos ricos em matéria orgânica proveniente de animais ou esgotos.

Tabela 1: Continuação...

GF	Espécies estudadas	Referências	Comentários
W2	<i>Strombomonas</i> spp., <i>Trachelomonas</i> spp.	Crossetti e Bicudo, 2008; Moura et al., 2007a; Padisák et al., 2003; Townsend, 2006.	Pequenos lagos rasos meso-eutróficos.
Wo	<i>Beggiatoa alba</i> , <i>Chlamydomonas</i> sp., <i>Chlorella</i> sp., <i>Oscillatoria chlorina</i> , <i>Polytoma</i> sp., <i>Pyrobotrys</i> sp.	Borics et al., 2007.	Rios ou pequenos lagos com conteúdo orgânico extremamente alto
Ws	<i>Synura pettersonii</i> , <i>S. uvella</i> , <i>Synura</i> spp.	Padisák et al., 2003.	Pequenos lagos ricos em matéria orgânica proveniente da decomposição vegetal.
X1	<i>Ankistrodesmus</i> spp., <i>Ankyra</i> spp., <i>Chlorella homosphaera</i> , <i>C. vulgaris</i> , <i>Chlorella</i> spp., <i>Choricystis cylindraceae</i> , <i>Keryochlamys stryaca</i> , <i>Monoraphidium arcuatum</i> , <i>M. circinale</i> , <i>M. contortum</i> , <i>M. dybowskii</i> , <i>M. griffithii</i> , <i>M. minutum</i> , <i>M. pseudobraunii</i> , <i>M. pseudomirabile</i> , <i>M. pusillum</i> , <i>M. tortile</i> , <i>Monoraphidium</i> spp., <i>Schroedriella setigera</i> .	Fietz et al., 2005; Hajnal e Padisák, 2008; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002; Leitão et al., 2003; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005; Melo e Huszar, 2000; Moura et al., 2007a; Padisák et al., 2006; Pinto, Allende e O'Farrell, 2007; Romo e Villena, 2005.	Habitam ecossistemas rasos eutróficos e hipertróficos.
X2	<i>Cacomonas</i> sp.; <i>Chlamydomonas planctogloea</i> ; <i>Chlamydomonas sordida</i> ; <i>Chlamydomonas</i> spp.; <i>Chroomonas</i> sp.; <i>Chrysocromulina</i> sp.; <i>Chrysolykos</i> sp.; <i>Cryptochlamys pyrenoidifera</i> ; <i>Katablepharis</i> sp.; <i>Klephyriom</i> sp.; <i>Monas</i> sp.; <i>Ochromonas</i> sp.; <i>Pseudopedinella</i> sp.; <i>Rhodomonas</i> spp.; <i>Spermatozoopsis</i> sp.	Allende e Izaguirre, 2003; Anneville et al., 2005*; Borics et al., 2007; Fietz et al., 2005; Hajnal e Padisák, 2008; Kruk et al., 2002; Leitão et al., 2003; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005; Melo e Huszar, 2000; Padisák et al., 2003; Pinto, Allende e O'Farrell, 2007; Romo e Villena, 2005; Wilhelm e Adrian, 2008.	Habitam ambientes rasos meso-eutróficos.
X3	<i>Chlorella</i> spp.; <i>Chromulina</i> spp.; <i>Chrysidalis</i> sp.; <i>Chrysococcus</i> spp.; <i>Koliella</i> spp.; <i>Ochromonas</i> spp.; algas picoplantônicas eucarióticas.	Allende e Izaguirre, 2003; Fietz et al., 2005; Hajnal e Padisák, 2008; Padisák et al., 2006; Pinto, Allende e O'Farrell, 2007; Souza et al., 2008.	Habitam ambientes rasos, oligotróficos e bem misturados.
Xph	<i>Phacotus lenticularis</i> , <i>Phacotus</i> sp.	Anneville et al., 2005*; Borics et al., 2007; Hajnal e Padisák, 2008; Padisák et al., 2003.	Predominam em pequenos lagos temporários com águas alcalinas e ricas em cálcio.
Y	<i>Cryptomonas</i> spp., <i>Glenodinium</i> spp., <i>Gymnodinium</i> spp., <i>Komma caudata</i> .	Albay e Akçaalan, 2003; Anneville et al., 2005; Borges, Train e Rodrigues, 2008; Bovo-Scomparin e Train, 2008; Crossetti e Bicudo, 2008; Fietz et al., 2005; Hajnal e Padisák, 2008; Huszar et al., 2000; Kruk et al., 2002; Leitão et al., 2003; Marinho e Huszar, 2002; Moura et al., 2007a; Nabout et al., 2006; Padisák et al., 2003; Romo e Villena, 2005; Silva, Train e Rodrigues, 2005; Townsend, 2006; Wilhelm e Adrian, 2008.	Grupo funcional cujas espécies ocorrem em uma ampla variação de habitats, podendo ocorrer em quase todos os ecossistemas lênticos onde a predação por zooplâncton é baixa.
Z	<i>Cyanobium</i> spp., <i>Synechococcus</i> spp.	Callieri et al., 2006*; Fietz et al., 2005; Lopes, Bicudo e Ferragut, 2005; McIntire, Larson e Truitt, 2007.	Ocorrem no metalímnio ou na porção superior do hipolímnio em ecossistemas oligotróficos.
Zmx	<i>Ceratium hirundinella</i> , <i>Synechococcus</i> spp.	Callieri et al., 2006.	Grupo funcional refutado por Padisák et al. (2009).

* Conforme Padisák et al., 2009, que reclassificou algumas das espécies citadas pelos autores originais.

Os estudos em lagos húngaros serviram para o desenvolvimento do Índice de associação Q que relaciona o estado ecológico do ecossistema com base nas associações algais (PADISÁK *et al.*, 2006). Este índice varia de 0 a 5 e determina cinco graus de qualidade da água: 0-1 = ruim; 1-2 = tolerável; 2-3 = médio; 3-4 = boa; 4-5 = excelente. O uso deste índice para determinação da qualidade da água vem sendo utilizado tanto em ambientes tropicais como subtropicais com sucesso (CROSSETTI; BICUDO, 2008; HAJNAL; PADISÁK, 2008). Para Hajnal e Padisák (2008) o uso das associações fitoplanctônicas como indicadores através do índice Q são sensíveis às mudanças tróficas apresentadas pelo ecossistema. Estes encontraram dominância de cianobactérias **Sn** e **S1** em condições de baixa qualidade d'água (índice Q, entre 0,3 e 0,8) e de diatomáceas **A**, fitoflagelados **Lo** e cianobactérias **H1** como indicadores de uma melhor qualidade (índice Q de 3 a 5).

A ocorrência de diatomáceas **A** foi predominante o ano todo em um reservatório turco oligo-mesotrófico caracterizado por águas claras e sem estratificação (GURBUZ *et al.*, 2003) com co-ocorrência de associações de diatomáceas (**C**, **D** e **P**), clorófitas (**F**) e dinoflagelados (**Lo**) em períodos isolados do ano quando verificadas as condições de deficiência de luz. Albay e Akçaalan (2003), estudando outro reservatório turco, observaram a dominância de clorófitas colonial (**J**), diatomácea (**B**) e fitoflagelado (**Y**) antes do tratamento da água com sulfato de cobre, havendo ocorrência de associações de diatomáceas (**C**, **D** e **P**), clorófitas (**F** e **J**), cianobactérias (**M**) e fitoflagelado (**Y**) após o tratamento.

Os lagos sub-alpinos e peri-alpinos foram estudados por Morabito, Oggioni e Panzani (2003), Anneville *et al.* (2005) e Callieri *et al.* (2006). Morabito, Oggioni e Panzani (2003) observaram a ocorrência de associações de diatomáceas (**C** e **P**) e clorófitas (**T**) em condição de estratificação, sendo contrário ao observado na literatura para as diatomáceas que, conforme Reynolds *et al.* (2002), são sensíveis a estratificação. Anneville *et al.* (2005) observaram que as associações **A**, **B**, **E**, **F**, **N** e **U** são beneficiadas com o processo de oligotrofização do sistema, enquanto que Callieri *et al.* (2006) sugeriram que as espécies fitoplanctônicas que formam um grupo funcional ou associação não sejam, apenas, entendidas como uma questão de adaptação ou de requerimentos nutricionais similares, mas que possam exibir interação trófica. Os referidos autores definiram a associação **Zmx** como sendo o resultado da interação predador-presa entre picocianobactérias e espécies mixotróficas. No entanto, esta associação foi posteriormente refutada por Padisák,

Crossetti e Naselli-Flores (2009), uma vez que as duas razões apresentadas por Callieri *et al.* (2006) e que suportaram a associação **Zmx** são contraditórias.

McIntire, Larson e Truitt (2007) analisaram as associações algais presentes em um lago americano profundo ultra-oligotrófico e constataram a ocorrência de associações **E**, **Z**, **Lo** e **T** quando verificados mistura térmica e uma óbvia descontinuidade quando estabelecida a estratificação, prevalecendo à diatomácea **D** no epilímnio. A ocorrência de diatomáceas **D** em meses mais frios e de cianobactérias **H1** e **M** em meses mais quentes foi entendida por Çelik e Ongun (2008) como padrão em lagos hipertróficos rasos temperados. O efeito da estratificação térmica sobre a composição funcional do fitoplâncton ocorre com o aumento da duração do evento da estratificação. Em um lago polimítico e eutrófico na Alemanha, estudado por Wilhelm e Adrian (2008), eventos curtos e menos intensos de estratificação pode não afetar os padrões de biomassa das diatomáceas **P**, ou então promover a co-ocorrência de espécies pequenas e móveis (**X2**, **Lm**) e cianobactérias (**H1**).

Em um reservatório hipertrófico de clima Mediterrâneo semi-árido, a variabilidade interanual foi marcada pela ocorrência de anos com estratificação mais estável, onde prevaleceram as associações algais **Lm**, **M**, **J** e **P** alternando dominância ao longo do ano, e anos em que a mistura é mais frequente e a associação **M** dominou (NASELLI-FLORES; BARONE, 2005). Em condições mesotróficas de um reservatório francês, Leitão *et al.* (2003) encontraram associações de fitoflagelados (**Y** e **X2**) e diatomáceas (**P**) em condição de mistura térmica e de clorófitas (**F** e **T**), fitoflagelados (**Lo**) e diatomáceas (**P**) quando o ambiente apresentava-se estratificado. Romo e Villena (2005) realizaram experimentos em mesocosmos em lagos rasos de clima Mediterrâneo e observaram que um *pool* de espécies, incluindo cianobactérias (**Sn** e **S1**) e algas flageladas unicelulares (**Lo** e **Y**) foram favorecidas em condições mesotróficas, enquanto que clorófitas C-estrategistas (**X1**) dominaram quando estabelecidas melhores condições óticas e de nutrientes.

Em ambientes temperados e subtropicais localizados no hemisfério sul, Pinto, Allende e O'Farrell (2007) estudaram a influência das plantas flutuantes em um lago de planície de inundação argentino. Estes autores observaram que a cobertura de macrófitas reduziu a disponibilidade de luz, condicionando a ocorrência de anoxia e diminuição da biomassa algal, formada especialmente por cianobactérias cocoides (**Lo**) e filamentosas (**S**) de baixo crescimento. Sem as macrófitas, foi observado o

desenvolvimento de algas unicelulares de rápido crescimento (**X1**) e de picofitoplâncton eucariótico (**X2**). Silva, Train e Rodrigues (2005) e Borges, Train e Rodrigues (2008) estudaram reservatórios na região sul do Brasil em relação ao efeito em cascata e comportamento nictemeral e distribuição longitudinal, respectivamente. Conforme estes autores, as associações foram um importante indicador das condições ambientais dos reservatórios subtropicais brasileiros. As associações de diatomáceas **P**, **A** e **MP** relacionaram-se com períodos de alta instabilidade da coluna d'água durante o inverno, enquanto que as cianobactérias **K**, **H1** e **Lm** e a criptofíceia **Y** relacionaram-se com períodos de maior estabilidade.

Em ambientes tropicais, vários são os trabalhos relacionados a lagos de planície de inundação (MELO; HUSZAR, 2000; NABOUT; NOGUEIRA; OLIVEIRA, 2006; TOWNSEND, 2006; BOVO-SCOMPARIN; TRAIN, 2008). Nestes ambientes, os períodos de águas baixas e altas são fatores determinantes para a ocorrência das associações algais.

Em condição oligo-mesotrófica, algas C-estrategistas invasivas tolerantes ao fluxo (**X1** e **Y**) prevaleceram em águas altas, enquanto que as algas R-estrategistas dependentes de mistura (**T** e **S**) ocorreram em períodos de águas baixas em um lago amazônico (MELO; HUSZAR, 2000). A condição lótica verificada em um lago australiano através da conectividade com o rio selecionou associações algais de fitoflagelados (**Lo**, **W1**, **W2** e **Y**) enquanto que durante a fase lêntica, as diatomáceas **A** e **D** prevaleceram na comunidade fitoplanctônica (TOWNSEND, 2006). Em lagos de inundação do rio Araguaia, Brasil, Nabout, Nogueira e Oliveira (2006) encontraram resultados semelhantes, no entanto, a associação **Y** dominou os lagos durante a estação de estiagem e, portanto, mais lêntico, sendo verificado diferentes associações no período de águas altas tanto de diatomáceas (**P**) como de clorófitas (**J** e **N**), fitoflagelados (**W1**, **W2** e **Y**) e picoplanctônicos (**Z**). Em um lago eutrófico do rio Invinhema, Mato Grosso do Sul, Brasil, houve uma dominância de cianobactérias (**H1**, **H2** e **M**) durante o período de águas baixas, sendo substituídas por diatomáceas (**MP**) e fitoflagelados (**Y**) em águas altas (BOVO-SCOMPARIN; TRAIN, 2008).

Em um lago isolado oligo-mesotrófico raso com mistura térmica durante o ano (NABOUT; NOGUEIRA, 2007), os fitoflagelados (**Lo**, **Y** e **W1**) e clorófitas (**N**) ocorreram durante a estação de estiagem coincidente com os maiores valores de nutrientes e menores temperaturas da água, enquanto que cianobactérias (**S1**) e clorófitas (**T** e **N**) ocorreram na estação chuvosa, onde foram verificadas as maiores

temperaturas da água. Em outro lago com as mesmas condições tróficas e com maior profundidade, SOUZA *et al.* (2008) verificaram que a mistura térmica ocorreu durante a estação de estiagem, selecionando associações **S2**, **X1**, **A** e **Lo**. Durante a estação chuvosa, foram evidenciados padrões atelomíticos na água que levaram estes autores a descrever a associação de desmídeas dependentes da atelomixia (**Na**), as quais foram abundantes apenas nesta condição, co-ocorrendo com clorófitas coloniais (**F**).

Os estudos relacionando associações algais com reservatórios de ecossistemas tropicais concentram-se no Brasil. Em um reservatório oligotrófico localizado no estado de São Paulo, houve a dominância de clorófitas (**X2** e **F**) durante todo o ano, especialmente na estação de estiagem, relacionadas a condições de mistura e limitação de nutrientes (LOPES; BICUDO; FERRAGUT, 2005). Durante a estação chuvosa, estratificações diárias foram registradas no reservatório, estando a comunidade fitoplanctônica composta por associações de clorófitas (**X2**, **F**, **J** e **X1**) e de picocianobactérias (**Z**).

A influência de macrófitas foi verificada em um reservatório eutrófico de São Paulo por um período de oito anos (CROSSETTI; BICUDO, 2008). Os autores observaram que quando 20% do reservatório era ocupado por bancos de macrófitas, a comunidade fitoplanctônica formava *blooms* de cianobactérias **M** (S-estrategistas); entre 40-70% de cobertura vegetal foi observada a redução da biomassa algal, dos teores de oxigênio dissolvido, do estabelecimento da estratificação e aumento da transparência da água. Nesta ocasião, prevaleceram espécies unicelulares flagelados C-estrategistas (associações **Y**, **W2**, **L** e **Lo**); e quando a cobertura vegetal foi de 10%, as cianobactérias **M**, **S** e **H1** se estabeleceram influenciados pelo aumento do pH, redução da transparência da água e de oxigênio próximo ao sedimento. Em outro estudo anual neste mesmo reservatório, Fonseca e Bicudo (2008) verificaram a ocorrência de várias associações durante o período de estratificação, sendo formadas por cianobactérias (**H1** e **S**) e fitoflagelados (**W1**, **W2** e **Y**) com presença de associação **M** quando o pH e o oxigênio dissolvido encontravam-se mais elevados. Nos meses em que o ambiente apresentava-se desestratificado, as associações de diatomáceas (**D** e **P**), clorófitas (**F**, **K** e **X1**), cianobactérias (**Lo**) e dinoflagelados (**Lm**) prevaleceram.

Em um reservatório eutrófico do Rio de Janeiro, Marinho e Huszar (2002) encontraram ocorrência de diatomáceas (**D**) e criptomonadas (**Y**) nos meses mais frios e misturados e de cianobactérias (**H**, **M** e **Sn**) nos meses quentes e

estratificados, com maior limitação de nitrogênio. A característica eutrófica associada à mistura presente ao longo de todo o ano determinou a dominância da associação **Sn** em um lago mexicano (KOMÁRKOVÁ; TAVERA, 2003). Estas condições também foram identificadas por Huszar *et al.* (2000) e Moura *et al.* (2007a) em reservatórios de Pernambuco como características para o sucesso desta associação no Nordeste do Brasil. A constância ambiental dos ecossistemas estudados por Huszar *et al.* (2000) condicionou a dominância de uma única associação (**Sn**), na qual a mesma espécie predominou durante todo o ano. Moura *et al.* (2007a), utilizaram as associações como ferramentas na compreensão de eventos de dominância no reservatório de Mundaú. As elevadas temperaturas, pH alcalino e a condição eutrófica foram os fatores que promoveram a dominância da associação **Sn**. Estas mesmas condições são comuns nos reservatórios em que há predomínio desta associação no Nordeste do Brasil.

Os modelos e teorias acerca da comunidade fitoplanctônica são testados e revisados com o uso de grupos funcionais, seja em ambientes tropicais ou subtropicais. Conforme Reynolds *et al.* (2002), há um convite aos pesquisadores para contribuírem na consolidação deste modelo, ainda, aberto e com várias lacunas a serem preenchidas. Dentre estas lacunas, os ambientes tropicais constituem um vasto campo de trabalho.

2.3. Sucessão Fitoplanctônica e Relação com Variáveis Ambientais

As modificações verificadas nas variáveis abióticas e bióticas em escala temporal contribuem para alterações no comportamento das comunidades fitoplanctônicas e tem sido reportada por vários autores (ALBAY; AKÇAALAN, 2003; SALMASO, 2003; CHELLAPPA, BORBA; ROCHA, 2008; WINDER; HUNTER, 2008; CHALAR, 2009; HULYAL; KALIWAL, 2009). Conforme Hulyal e Kaliwal (2009) cada fator apresenta um papel no controle do fitoplâncton e desempenham um efeito resultante da interação de vários fatores. A modificação sazonal destes resulta no estabelecimento de processos sucessionais da comunidade algal (REYNOLDS *et al.*, 2002).

Em climas temperados, a variação sazonal da temperatura e de outras variáveis ambientais é aparentemente alta e produz mudanças preditivas na composição fitoplanctônica (GROVER; CHRZANOWSKI, 2006). A dominância de cianobactérias durante o verão e de diatomáceas, clorófitas ou fitoflagelados nas outras estações é frequentemente reportada (FABBRO; DUIVENVOORDEN, 2000;

ALBAY; AKÇAALAN, 2003, SILVA; TRAIN; RODRIGUES, 2005). Padrões diferenciados podem ser observados em reservatórios (KOMÁRKOVÁ; KOMÁREK; HEJZLAR, 2003), com registro de diatomáceas por anos consecutivos.

O estabelecimento da condição de mistura térmica em reservatórios franceses favoreceu as algas com maior classe de tamanho por limitar os processos de sedimentação, enquanto que a estratificação térmica teve efeito oposto (PENNARD; BORMANS; LAGADEUC, 2007). Estas mudanças sazonais foram relacionadas com a modificação da disponibilidade dos recursos (luz e nutrientes) ou da intensidade da estratificação, com ocorrência de diatomáceas durante o período de circulação térmica, baixa transparência e elevados teores de nutrientes sendo substituídas por clorófitas e cianobactérias durante a estratificação (PENNARD; BORMANS; LAGADEUC, 2008).

Estes resultados divergem um pouco dos encontrados por Becker, Herschel e Wilhelm (2006) em um reservatório situado na Alemanha. Para estes autores, a desestratificação térmica suprime a floração de cianobactérias, substituindo-os por diatomáceas e clorófitas. Este processo eleva a diversidade de algas, uma vez que a condição de circulação térmica permite a coexistência de espécies *r* e *K* estrategistas e redução nos valores de biomassa. Os padrões de diversidade são baseados nas condições do ecossistema, tendo relação com a intensidade e a frequência do distúrbio (CHALAR, 2009).

Em climas tropicais, a temperatura varia poucos graus anualmente e, as mudanças sucessionais da comunidade algal é resultante dos padrões sazonais de precipitação, com estação chuvosa e de estiagem apresentando diferentes estruturas algais (IBAÑEZ, 1998). No entanto, em outros ecossistemas, como os estudados por Huszar *et al.* (2000), esta alteração sazonal pode não ser observada. Neste caso, a estrutura algal foi formada pelos mesmos táxons havendo oscilação nos valores de biomassa ao longo do ano.

Em um reservatório localizado em São Paulo, a remoção de bancos de macrófitas aquáticas flutuantes alterou as condições abióticas do ecossistema, especialmente em relação à condição de anoxia do sedimento (BICUDO *et al.*, 2007). Antes da remoção dos bancos, havia no reservatório períodos cíclicos de anoxia e, eram verificados *blooms* esporádicos monoespecíficos. Após a retirada das plantas, houve considerável aumento da estabilidade térmica, dos valores de pH e fósforo total e redução nos valores de transparência da água. Estas condições favoreceram o aumento da biomassa algal, especialmente cianobactérias e

ocorreram intensificação e persistência de *blooms*, formados pelas espécies *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Microcystis panniformis* Komárek *et al.*, *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek e *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya e Subba Raju.

Um reservatório africano com o nível de água variável conforme a intensidade da precipitação apresentou importância especial na dinâmica fitoplanctônica (ARFI, 2005). A estratificação térmica ocorreu durante os elevados níveis d'água e atuou como barreira aos nutrientes, aprisionando-os no hipolímnio. Os maiores valores de biomassa fitoplanctônica ocorreram quando o nível d'água encontrou-se baixo (estação de estiagem), situação que favoreceu a circulação térmica e a ressuspensão de nutrientes.

Em reservatórios do Nordeste do Brasil, as clorófitas podem prevalecer durante determinados períodos do ano (MOURA *et al.*, 2007b; LIRA; BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOURA, 2009), ou durante todo o ano (CHELLAPPA; BORBA; ROCHA, 2008). Nestes reservatórios, a precipitação foi a variável mais correlacionada com as clorófitas unicelulares enquanto que a transparência da água foi relacionada à ocorrência clorófitas coloniais.

Apesar de vários reservatórios no Nordeste do Brasil apresentarem condições de mistura térmica (BOUVY *et al.*, 1999; HUSZAR *et al.*, 2000; CHELLAPPA; BORBA; ROCHA, 2008; CHELLAPPA; CHELLAPPA; CHELLAPPA, 2008; von SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008; LIRA; BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOURA, 2009), não tem sido verificada a ocorrência de diatomáceas, ou sua abundância é restrita aos compartimentos mais profundos do ecossistema. O único trabalho que mostra a abundância de diatomáceas relacionada à mistura foi o de Moura *et al.* (2007b). No entanto, os autores apontaram tratar de circulação produzida pelo efeito das chuvas ou pelas forças hidráulicas, em ocasião do vertimento das águas.

Embora Tundisi (1990) tenha verificado a ocorrência de diatomáceas durante o período de mistura térmica como um padrão para sistemas tropicais, as elevadas temperaturas, podem relacionar-se com a não abundância de diatomáceas em reservatórios tropicais. Neste sentido, Winder, Reuter e Schladow (2009) evidenciaram que as temperaturas elevadas alteram a densidade da água e contribuem para a sedimentação das frústulas de diatomáceas, sendo esperada sua substituição por outros grupos taxonômicos melhor adaptados. Ainda segundo estes autores, este fator favorece a abundância de diatomáceas de menor tamanho em condição de estratificação térmica. Isto se confirma nos trabalhos de Moura *et al.*

(2007a) e Dantas *et al.* (2008) que encontraram a ocorrência de elevadas biomassas de diatomáceas de pequeno tamanho (*Cyclotella meneghiniana* Kützing e *Synedra rumpens* Kützing) em um reservatório do Nordeste do Brasil, em condição de estratificação, durante a estação de estiagem.

Em região tropical, as cianobactérias são as algas melhor adaptadas a condição de elevadas temperaturas. O maior destaque é verificado para a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, diferenciado das demais cianobactérias por sua habilidade de apresentar maior biomassa em ambientes com elevadas temperaturas (PADISÁK; REYNOLDS, 1998). Típico de zonas tropicais, esta espécie vem sendo frequentemente registrada como invasora de ambientes subtropicais (BRIAND *et al.*, 2004). A referida espécie vem sendo citada como causadora de floração durante todo ano, em reservatórios do Nordeste do Brasil, conforme apresentado na primeira parte desta revisão.

Como visto, é difícil estabelecer padrões de sucessão em ambientes tropicais, aja vista haver poucos trabalhos específicos de longo prazo. Através dos presentes, os fatores que condicionam processos de substituição das espécies não são os mesmos que em ecossistemas subtropicais, uma vez que nestes últimos a dinâmica ambiental é previsível e sua variação anual é claramente descrita. Em clima tropical, a variabilidade sazonal é determinada principalmente pelas chuvas. Mesmo assim, conforme visto por alguns estudos, isso não configura alteração na estrutura fitoplanctônica, mas interferem de algum modo nos padrões de biomassa (HUSZAR *et al.*, 2000).

Há uma grande variabilidade de condições ambientais que determinam a ocorrência de várias espécies fitoplanctônicas, condições que conduzem a um aumento da diversidade, ou que produzem a dominância de um táxon em vez de outro. Os reservatórios do Nordeste se inserem em um conjunto de características climáticas que remetem a estiagem e a chuva como fatores reguladores da dinâmica sazonal dos sistemas aquáticos e que se refletem na dinâmica do fitoplâncton.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARFI, R. Seasonal ecological changes and water level variations in the Sélingué Reservoir (Mali, West Africa). **Physics and Chemistry of the Earth**, Oxford, v. 30, p. 432-441, 2005.

ALBAY, M.; AKÇAALAN, R. Factors influencing the phytoplankton steady state assemblages in a drinking-water reservoir (Ömerli reservoir, Istanbul). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 85-95, 2003.

ALLENDE, L.; IZAGUIRRE, I. The role of physical stability on the establishment of steady states in the phytoplankton community of two Maritime Antarctic lakes. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 211-224, 2003.

ANNEVILLE, O.; GAMMETER, S.; STRAILE, D. Phosphorus decrease and climate variability: Mediators of synchrony in phytoplankton changes among European peri-alpine lakes. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 50, p. 1731-1746, 2005.

ANTENUCCI, J.P. *et al.* The long-term effect of artificial destratification on phytoplankton species composition in a subtropical reservoir. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 50, p. 1081-1093, 2005.

BABANAZAROVA, O.V.; LYASHENKO, O.A. Inferring longterm changes in the physical–chemical environment of the shallow, enriched Lake Nero from statistical and functional analyses of its phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, London, v. 29, p. 747-756, 2007.

BECKER, A.; HERSCHEL, A.; WILHELM, C. Biological effects of incomplete destratification of hypertrophic freshwater reservoir. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 559, p. 85-100, 2006.

BECKER, V. *et al.* Phytoplankton equilibrium phases during thermal stratification in a deep subtropical reservoir. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 53, p. 952-963, 2008.

BECKER, V.; HUSZAR, V.L.M.; CROSSETTI, L.O. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 628, p. 137-151, 2009.

BENHARDT, J.; ELLIOTT, J.A.; JONES, I.D. Modelling the effects on phytoplankton communities of changing mixed depth and background extinction coefficient on three contrasting lakes in the English Lake District. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 53, p. 2573-2586, 2008.

BEYRUTH, Z. Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 424, p. 51-65, 2000.

BICUDO, D.C. *et al.* Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 52, p. 1120-1133, 2007.

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.

BORICS, G. *et al.* A new evaluation technique of potamoplankton for the assessemnt of the ecological status of rivers. Large Rivers, 17. **Archiv für Hydrobiologie Supplement**, Stuttgart, v. 161, p. 465-486, 2007.

BORMANS, M.; FORD, P.W.; FABBRO, L. Spatial and temporal variability in cyanobacterial populations controlled by physical processes. **Journal of Plankton Research**, London, v. 27, n. 1, p. 61-70, 2005.

BOUVY, M. *et al.* Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. **Aquatic Microbial Ecology**, Oldendorf, v. 20, n. 3, p. 285-297, 1999.

BOUVY, M.A. *et al.* Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. **Aquatic Microbial Ecology**, Oldendorf, v. 23, p. 13-27, 2000.

BOUVY, M.A. *et al.* Effects of a cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) on bacteria and zooplankton communities in Ingazeira reservoir (northeast Brazil). **Aquatic Microbial Ecology**, Oldendorf, v. 25, n. 3, p. 215-227, 2001.

BOUVY, M.A. *et al.* Limnological features in Tapacurá reservoir (northeeast Brazil) during a severe drought. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 493, p. 115-130, 2003.

BOVO-SCOMPARIN, V.M.; TRAIN, S. Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 610, p. 331-344, 2008.

BRIAND, J.F. *et al.* Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. **Water Research**, New York, v. 36, p. 3183-3192, 2002.

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

BURFORD, M.A.; O'DONOHUE, M.J. A comparison of phytoplankton community assemblages in artificially and naturally mixed subtropical water reservoirs. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 51, p. 2143-2153, 2006.

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

CALLIERI, C. *et al.* The unicellular freshwater cyanobacterium *Synechococcus* and mixotrophic flagellates: Evidence for a functional association in an oligotrophic, subalpine lake. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 51, p. 263-273, 2006.

ÇELİK, K.; ONGUN, T. Spatial and temporal dynamics of the steady-state phytoplankton assemblages in a temperate shallow hypertrophic lake (Lake Manyas, Turkey). **Limnology**, Hikone, v. 9, p. 115-123, 2008.

CHALAR, G. The use of phytoplankton patterns of diversity for algal bloom management. **Limnologica**, Berlin, v. 39, p. 200-208, 2009.

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**, Paris, v. 24, p. S3-S10, 2003.

CHELLAPPA, N.T.; BORBA, J.M.; ROCHA, O. Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, n. 3, p. 477-494, 2008.

CHELLAPPA, N.T.; CHELLAPPA, S.L.; CHELLAPPA, S. Harmful phytoplankton blooms and fish mortality in a eutrophicated reservoir of Northeast Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 51, n. 4, p. 833-841, 2008.

COSTA, I.A.S. *et al.* Occurrence of toxin producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semiarid reservoir. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, p. 211-219, 2006.

CROSSETTI, L.O.; BICUDO, C.E.M. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garças pond): the assemblage index application. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 610, p. 161-173, 2008.

CURVIN-ARALAR, M.L. *et al.* Effects of low nitrogen-phosphorus ratios in the phytoplankton community in Laguna de Bay, a shallow eutrophic lake in the Philippines. **Aquatic Ecology**, Nieuwersluis, v. 38, p. 387-401, 2004.

DANTAS, E.W. *et al.* Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008.

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

DOS SANTOS, A.C.A.; CALIJURI, M.C. Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 367, p. 139-152, 1998.

DZIALOWSKI, A.R. *et al.* Nutrient limitation of phytoplankton growth in central plains reservoirs, USA. **Journal of Plankton Research**, London, v. 27, n. 6, p. 587-595, 2005.

FABBRO, L.D.; DUIVENVOORDEN, L.J. A two-part model linking multidimensional environmental gradients and seasonal succession of phytoplankton assemblages. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 438, 13-24, 2000.

FIETZ, S. *et al.* Regional, vertical and seasonal distribution of phytoplankton and photosynthetic pigments in Lake Baikal. **Journal of Plankton Research**, London, v. 27, p. 793-810, 2005.

FIGUEREDO, C.C.; GIANI, A. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 445, n. 1-3, p. 165-174, 2001.

FONSECA, B.M.; BICUDO, C.E.M. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 600, p. 267-282, 2008.

FORBES, M.G. *et al.* Physical factors control phytoplankton production and nitrogen fixation in eight Texas reservoirs. **Ecosystems**, New York, v. 11, p. 1181-1197, 2008.

GASIUNAITÉ, Z.R.; OLENINA, I. Zooplankton-phytoplankton interactions: a possible explanation of the seasonal succession in the Kursiu Marios lagoon. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 363, p. 333-339, 1998.

GENTIL, R.C.; TUCCI, A.; SANT'ANNA, C.L. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica e aspectos sanitários de um lago urbano eutrófico em São Paulo, SP. **Hoehnea**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 265-280, 2008.

GROVER, J.P.; CHRZANOWSKI, T.H. Seasonal dynamics of phytoplankton in two warm temperate reservoir: association of taxonomic composition with temperature. **Journal of Plankton Research**, London, v. 28, n. 1, p. 1-17, 2006.

GURBUZ, H. *et al.* Predicting dominant phytoplankton quantities in a reservoir by using neural networks. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 504, p. 133-141, 2003.

HAJNAL, É.; PADISÁK, J. Analysis of long-term ecological status of Lake Balaton based on the ALMOBAL phytoplankton database. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 599, p. 227-237, 2008.

HEO, W.; KIM, B. The effect of artificial destratification on phytoplankton in a reservoir. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 524, p. 229-239, 2004.

HULYAL, S.B.; KALIWAL, B.B. Dynamics of phytoplankton in relation to physico-chemical factors of Almatti reservoir of Bijapur District, Karnataka State. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 153, p. 45-59, 2009.

HUSZAR, V.L.M. *et al.* Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 424, p. 67-77, 2000.

HUSZAR, V.; KRUK, C.; CARACO, N. Steady state of phytoplankton assemblage of phytoplankton in four temperate lakes (NE USA). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 97-109, 2003.

IBAÑEZ, M.S.R. Phytoplankton composition and abundance of a central Amazonian floodplain lake. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 362, p. 79-83, 1998.

KALFF, J. **Limnology: inland water ecosystems**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 538p.

KANGRO, K. *et al.* Long-term changes and seasonal development of phytoplankton in a strongly stratified, hypertrophic lake. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 547, p. 91-103, 2005.

KOMÁRKOVÁ, J.; TAVERA, R. Steady state of phytoplankton assemblage in the tropical Lake Catemaco (Mexico). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 187-196, 2003.

KOMÁRKOVÁ, J.; KOMÁREK, O.; HEJZLAR, J. Evaluation of the long term monitoring of phytoplankton assemblages in a canyon shaped reservoir using multivariate statistical methods. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 504, p. 143-157, 2003.

KRUK, C. *et al.* 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.

LAZZARO, X. *et al.* Do fish regulate phytoplankton in shallow eutrophic Northeast Brazilian reservoirs. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 48, p. 649-668, 2003.

LEITÃO, M. *et al.* The effect of perturbations on phytoplankton assemblages in a deep reservoir (Vouglans, France). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 73-83, 2003.

LIRA, G.A.S.T.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C.; MOURA, A.N. Structure and dynamics of phytoplankton community in the Botafogo reservoir-Pernambuco-Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 52, n. 2, p. 493-501, 2009.

LOPES, M.R.M.; BICUDO, C.E.M.; FERRAGUT, C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 542, p. 235-247, 2005.

LOVERDE-OLIVEIRA, S.M.; HUSZAR, V.L.M. Phytoplankton ecological responses to the flood pulse in a Pantanal lake, Central Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 117-130, 2007.

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). **Archiv für Hydrobiologie**, Stuttgart, v. 153, n. 3, p. 443-468, 2002.

McINTIRE, C.D.; LARSON, G.L.; TRUITT, R.E. Seasonal and interannual variability in the taxonomic composition and production dynamics of hytoplankton assemblages in Crater Lake, Oregon. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 574, p. 179-204, 2007.

MELO, S.; HUSZAR, V.L.M. Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brasil): Diel variation and species strategies. **Journal of Plankton Research**, London, v. 22, n. 1, p. 63-76, 2000.

MOLICA, R.J.R. *et al.* Occurrence of saxitoxins and an anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply. **Harmful Algae**, Connecticut, v. 4, p. 743-753, 2005.

MORABITO, G.; OGGIONI, A.; PANZANI, P. Phytoplankton assemblage at equilibrium in large and deep subalpine lakes: A case study from Lago Maggiore (N. Italy). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 37-48, 2003.

MOURA, A.N. *et al.* Composição e estrutura da comunidade fitoplanctônica relacionadas com variáveis hidrológicas abióticas no reservatório de Botafogo. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, v. 23, p. 25-41, 2006.

MOURA, A.N. *et al.* Phytoplanktonic Associations: A Tool to Understand Dominance Events in a Tropical Brazilian Reservoir. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 21, p. 641-648, 2007a

MOURA, A.N. *et al.* Microalgas e Qualidade da Água de Manancial Utilizado para Abastecimento Público na Região Metropolitana da Cidade do Recife PE. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, v. 24, p. 152-174, 2007b.

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. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 50, n. 4, p. 645-654, 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.

NABOUT, J.C.; NOGUEIRA, I.S.; OLIVEIRA, I.G. Phytoplankton community of floodplain lakes of the Araguaia River, Brazil, in the rainy and dry seasons. **Journal of Plankton Research**, London, v. 28, n. 2, p. 181-193, 2006.

NASELI-FLORES, L.; BARONE, R. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy). **Hydrobiologia**, The Hague, v. 369/370, p. 163-178, 1998.

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

NASELLI-FLORES, L. *et al.* Equilibrium/steady-state concept in phytoplankton ecology. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 395-403, 2003.

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**, The Hague, v. 502, p. 111-121, 2003.

NOGUEIRA, M.G. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicator of environmental compartmentalization in Jurumirim reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 431, n. 2-3, p. 115-128, 2000.

O'FARRELL, I. *et al.* Do steady state assemblages occur in shallow lentic environments from wetlands? **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 197-209, 2003.

PADISÁK, J.; REYNOLDS, C.S. Selection of phytoplankton associations in lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokariotes. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 384, p. 41-53, 1998.

PADISÁK, J. *et al.* 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. *et al.* 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**, The Hague, v. 621, p. 1-19, 2009.

PENNARD, A.; BORMANS, M.; LAGADEUC, Y. Short-term variability in physical forcing in temperate reservoirs: effects on phytoplankton dynamics and sedimentary fluxes. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 52, p. 12-27, 2007.

PENNARD, A.; BORMANS, M.; LAGADEUC, Y. Phytoplankton species turnover controlled by physical forcing at different time scales. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 65, p. 47-60, 2008.

PINTO, M.P.; ALLENDE, L.; O'FARRELL, I. Influence of freefloating plants on the structure of a natural phytoplankton assemblage: An experimental approach. **Journal of Plankton Research**, London, v. 29, p. 47-56, 2007.

PIVATO, B.M.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L.C. Dinâmica nictemeral das assembléias fitoplanctônicas em um reservatório tropical (reservatório de Corumbá, estado de Goiás, Brasil), em dois períodos do ciclo hidrológico. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 19-29, 2006.

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

REYNOLDS, C.S. **Ecology of phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

REYNOLDS, C.S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? **Hydrobiologia**, The Hague, v. 369/370, p. 11-26, 1998.

REYNOLDS, C.S. *et al.* Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, London, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.

ROMO, S.; VILLENA, M.J. Phytoplankton strategies and diversity under different nutrient levels and planktivorous fish densities in a shallow Mediterranean lake. **Journal of Plankton Research**, London, v. 27, p. 1273-1286, 2005.

SALMASO, N. Life strategies, dominance patterns and mechanisms promoting species coexistence in phytoplankton communities along complex environmental gradients. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 502, p. 13-36, 2003.

SILVA, C.A.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L.C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 537, p. 99-109, 2005.

SOUZA, M.B.G. *et al.* The role of atelomixis in phytoplankton assemblages' replacement in Dom Helve'cio Lake, South- East Brazil. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 607, p. 211-224, 2008.

TOWNSEND, S.A. Hydraulic phases, persistent stratification and phytoplankton in a tropical floodplain lake (Mary River, northern Australia). **Hydrobiologia**, The Hague. v. 556, p. 163-169, 2006.

TUNDISI, J.G. Perspectives for ecological modeling of tropical and subtropical reservoirs in South America. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 52, p. 7-20, 1990.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Theoretical basis for reservoir management In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (Eds.). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Leiden: Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, 1999.

von RÜCKERT, G.; GIANI, A. Biological interactions in the plankton community of a tropical eutrophic reservoir: in the phytoplankton controlled by zooplankton? **Journal of Plankton Research**, London, v. 30, n. 10, p. 1157-1168, 2008.

von SPERLING, E.V.; FERREIRA, A.C.S.; GOMES, L.N.L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, Amsterdam, v. 226, p. 169-174, 2008.

WILHELM, S.; ADRIAN, R. Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 53, p. 226-237, 2008.

WINDER, M.; HUNTER, D.A.; Temporal organization of phytoplankton communities linked to chemical and physical forcing. **Oecologia**, Berlin, v. 156, p. 179-192, 2008.

WINDER, M.; REUTER, J.E.; SCHLADOW, S.G. Lake warming favours small-sized planktonic diatom species. **Proceedings of the Royal Society Biological Sciences Series B**, London, v. 276, p. 427-435, 2009.

XIE, L.; XIE, Q.; TANG, H.J. Enhancement of dissolved phosphorus release from sediment P to lake water by *Microcystis* blooms: an enclosure experiment in a hypereutrophic, subtropical Chinese lake. **Environmental Pollution**, Barking, v. 122, p. 391-399, 2003.

4. PRIMEIRO MANUSCRITO:

A ser encaminhado para publicação
na revista *Acta Oecologica*

Padrão espacial e temporal do fitoplâncton em reservatórios de diferentes condições climatológicas no Nordeste do Brasil

Ênio Woclyli Dantas^{1,2}, Maria do Carmo Bittencourt-Oliveira³, Ariadne do Nascimento Moura²

¹Universidade Estadual da Paraíba - UEPB - Campus V, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas – CCBSA, R. Monsenhor Walfredo Leal, nº 487, Tambiá, 58020-540, João Pessoa, Paraíba, Brasil. Phone: +55 83 3238 9236, E-mail: eniowoclyli@yahoo.com.br

²Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Área de Botânica, R. D. Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52171-030, Recife, Pernambuco, Brasil. Phone: +55 81 3320 6350.

³Departamento de Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias 11, Piracicaba, SP, Brasil. 13418-900. Phone: +5519-3429-4128. Fax: +5519-3434-8295.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi identificar diferenças nos padrões de riqueza, diversidade e biomassa da comunidade fitoplanctônica em cinco reservatórios eutróficos situados em duas regiões climáticas no Nordeste, Brasil. Cinco coletas realizadas em intervalos trimestrais foram feitas em cada um dos reservatórios, no período de um ano, em duas profundidades (0,1 m e próximo ao sedimento). As variáveis abióticas analisadas foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, transparência da água, nitrogênio total, fósforo total, fósforo total dissolvido e ortofosfato. Variáveis bióticas, como riqueza, diversidade e biomassa foram estudadas a partir de amostras preservadas em lugol acético e coletadas com garrafa de Van Dorn. Os dados foram tratados através da análise de variância e de componentes principais. O maior número de táxons foi verificado durante o período chuvoso (103 spp.). Os reservatórios localizados na Zona da Mata apresentaram uma diversidade algal menor (82 spp.) que os localizados no Agreste (94 spp.). Os valores de biomassa foram mais elevados no Agreste ($18,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) que na Zona da Mata ($3,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), sendo a diferença mais clara durante o período de estiagem. O

padrão de biomassa algal nos ecossistemas analisados mostrou haver homogeneidade vertical e menores valores de biomassa durante o período chuvoso. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya e Subba Raju foi registrada em todas as amostras e apresentou biomassas elevadas nos reservatórios do Agreste ($8,7 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), especialmente durante o período de estiagem. O comportamento da riqueza e biomassa fitoplanctônica apresentou relação inversa com a precipitação, sendo esta o principal fator controlador do fitoplâncton nos ecossistemas no Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: biomassa, diversidade, riqueza, variáveis abióticas.

Abstract (Spatial and temporal patterns of phytoplankton in reservoirs with different climatic conditions in northeastern Brazil): The aim of the present study was to identify differences in the richness, diversity and biomass of phytoplankton communities in five eutrophic reservoirs located in two different climatic regions in northeastern Brazil. Five collections were carried out at each of the reservoirs during a year at two depths (0.1 m and near the sediment) at three-month intervals. The abiotic variables analyzed were: water temperature, dissolved oxygen, pH, turbidity, water transparency, total phosphorus, total dissolved phosphorus, orthophosphate and total nitrogen. Biotic variables such as richness, diversity and biomass were study using samples preserved in Lugol's solution and collected with a Van Dorn bottle. The data were analyzed using analysis of variance and principal component analysis. A larger number of taxa occurred during the rainy period (103 spp.). The reservoirs located near the coast (with its greater amount of rainfall) had less algal diversity (82 spp.) than those located in the semi-arid interior (94 spp.). Biomass values were higher in the semi-arid interior ($18.6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) than the coastal region ($3.6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$); this difference was more evident in the dry season. The algal biomass pattern in the ecosystems analyzed revealed vertical homogeneity and lower values in the rainy season. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju was recorded in all samples and had high biomass values in the reservoirs located in the semi-arid interior ($8.7 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), especially in the dry season. Precipitation was the main controlling factor of phytoplankton in the ecosystems of northeastern Brazil, exhibiting an inverse relationship with phytoplankton richness and biomass.

Keywords: abiotic variables, biomass, diversity, richness.

4.1. Introdução

A condição climática é reconhecida como sendo um importante fator, capaz de influenciar os fatores abióticos, especialmente as propriedades físicas da água, e a dinâmica das comunidades planctônicas (Law et al., 2009).

Em ecossistemas subtropicais, mudanças sazonais de temperatura se relacionam com a dinâmica sucessional da comunidade fitoplanctônica (Becker et al., 2008), atuando de forma direta ou indireta em mecanismos de disponibilidade de luz e nutrientes, elementos essenciais para o desenvolvimento das algas. Em ecossistemas tropicais, em que as diferenças térmicas sazonais são pequenas (Ibañez, 1998), fatores meteorológicos, como por exemplo, as chuvas e o aumento da intensidade de ventos, representam fatores perturbatórios para as comunidades aquáticas, contribuindo no processo de reestruturação fitoplanctônica (Chellappa et al., 2008). Tanto as chuvas como os ventos contribuem para a homogeneização da coluna d'água ocasionando redução da disponibilidade de luz e aumento dos nutrientes particulados (Dantas et al., 2008).

Em geral, trabalhos realizados em diferentes ecossistemas aquáticos estudam a comunidade fitoplanctônica com base em gradientes altitudinais (Silva et al., 2005; Caputo et al., 2008), tróficos (Reynolds, 1998; Huszar et al., 2000), latitudinais (McGregor e Fabbro, 2000), de profundidade (Nixdorf et al., 2003) e físicos (Peretyatko et al., 2007; Bernhardt et al., 2008).

O Nordeste do Brasil apresenta diferenças longitudinais que se relacionam às variações climáticas, sendo encontradas áreas mais úmidas, próximas às zonas costeiras, e áreas mais secas, em direção ao interior do continente. Estas podem ser identificadas através de três regiões de acordo com a precipitação anual: Zona da Mata, Agreste e Sertão (Lazzaro et al., 2003). No entanto, a maioria dos estudos com o fitoplâncton no Nordeste do Brasil, aborda aspectos relacionados com um único ecossistema (Bouvy et al., 2001; Molica et al., 2005; Moura et al., 2007a; 2007b; Chellappa et al., 2008; Dantas et al., 2008; Lira et al., 2009) ou a vários ecossistemas submetidos a uma mesma condição climática (Bouvy et al., 2000; Huszar et al., 2000).

Este trabalho tem como objetivo identificar as diferenças nos padrões de riqueza, diversidade e biomassa da comunidade fitoplanctônica em reservatórios situados em duas regiões climáticas (Zona da Mata e Agreste) no Nordeste do

Brasil. Este estudo foi embasado na premissa que a precipitação produz mudanças nas variáveis abióticas e na organização da comunidade de algas planctônicas.

4.2. Área de estudo

O estudo foi conduzido em cinco reservatórios do estado de Pernambuco, Brasil, sendo dois localizados na Zona da Mata: Duas Unas e Tapacurá; e três no Agreste: Jucazinho, Arcoverde e Pedra (Tabela 1).

Tabela 1: Dados morfométricos dos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde e Pedra.

	Zona da Mata			Agreste	
	Duas Unas	Tapacurá	Jucazinho	Arcoverde	Pedra
Extensão (km)	5,2	7,2	15,0	4,2	1,6
Área (m ²)	3,9x10 ⁶	9,7x10 ⁶	16,0x10 ⁶	2,0x10 ⁶	0,4x10 ⁶
Largura máxima (m)	700,0	1500,0	500,0	800,0	400,0
Profundidade máxima (m)*	9,1	15,9	22,3	22,0	16,5
Volume (m ³)	23,5x10 ⁶	94,2x10 ⁶	327,0x10 ⁶	16,8x10 ⁶	2,9x10 ⁶

* Dado verificado no ponto de coleta.

Os reservatórios de Duas Unas (8°04'58"S e 35°02'56"W) e Tapacurá (8°02'40"S e 35°11'22"W) são utilizados para o abastecimento de aproximadamente três milhões de habitantes. Estas áreas apresentam clima A de Köppen (pseudotropical quente e úmido), fortemente influenciado pela precipitação, com estação chuvosa (março-agosto) e seca (setembro-fevereiro) bem definida (Almeida et al., 2009). A bacia hidrográfica é formada ora por áreas utilizadas no cultivo de cana-de-açúcar ora por trechos de Mata Atlântica. Conforme acumulado de chuvas dos últimos 30 dias no ano de coleta, nas áreas em que se localizam os reservatórios da Zona da Mata, chuvas atípicas (143 mm) foram observadas no mês de setembro de 2007 e reduzidas precipitações (71 mm) em março de 2008, configurando-se respectivamente como meses chuvoso e de estiagem para efeito deste estudo. As chuvas verificadas na área do reservatório de Duas Unas foram mais intensas do que as verificadas no reservatório de Tapacurá, com totais anuais de 1741 mm e 969 mm, respectivamente (INPE, 2009).

Os reservatórios de Jucazinho (7°58'53"S e 35°48'32"W), Arcoverde (8°33'28"S e 36°59'15"W) e Pedra (8°29'35"S e 36°56'39"W) servem de abastecimento de água para cerca de 450.000 habitantes. Atividades de agricultura familiar são verificadas

nas bacias hidrográficas destes ecossistemas alternando com a vegetação de caatinga (SRH, 2000). O Agreste caracteriza-se por apresentar um clima intermediário entre as condições úmidas da Zona da Mata e secas do Sertão, havendo predomínio do clima semi-árido, com duas estações sazonais definidas, uma chuvosa - março a agosto, e uma seca - setembro a fevereiro (Melo-Júnior et al., 2007). Nos reservatórios localizados no Agreste, os totais pluviométricos não ultrapassaram 900 mm anuais (INPE, 2009).

4.3. Material e métodos

Foram realizadas cinco coletas em cada um dos reservatórios, em intervalos trimestrais, compreendidos entre março de 2007 e março de 2008, nos reservatórios da Zona da Mata (Duas Unas e Tapacurá); entre maio de 2007 a maio de 2008, no reservatório de Jucazinho; e entre agosto de 2007 e agosto de 2008, nos reservatórios de Arcoverde e Pedra.

Os pontos de coleta nos reservatórios estudados localizaram-se na região limnética. As amostras de água para determinação das variáveis abióticas e do fitoplâncton foram coletadas em duas profundidades, na subsuperfície (0,1 m) e em profundidade próxima ao fundo (1 m acima do sedimento), através de uma garrafa de Van Dorn.

Variáveis abióticas foram medidas *in situ*, por meio de equipamentos de campo, sendo a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), determinada por meio de um oxímetro Schott, Handylab OX1; transparência da água, medida com disco de Secchi; e profundidade máxima, com ecobatímetro. A zona eufótica (Zeu) foi determinada baseada nos procedimentos descritos em Margalef (1983). A zona de mistura (Zmix) foi estimada de acordo com o perfil de temperatura da coluna d'água, sendo igual à profundidade máxima (Zmax) quando não observado gradiente térmico com diferença mínima de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. Os valores de turbidez (NTU) e o pH da água foram obtidas através de medições no laboratório com um turbidímetro Hanna Instruments, HI 93703 e um potenciômetro Digimed, DMPH-2, respectivamente.

As análises das variáveis abióticas para obtenção dos teores de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) foram realizadas seguindo metodologia descrita por Valderrama (1981). As análises do fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), fósforo total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$), foram feitas adotando-se metodologias expressas em Valderrama (1981) e Strickland e Parsons (1965), respectivamente. Para caracterização dos

ecossistemas foi adotado o índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo et al. (1983) para regiões tropicais e calculada a relação atômica NT:PT (Downing e McCauley, 1992).

Para o conhecimento da composição fitoplanctônica, amostras de plâncton foram coletadas através de rede com 25 µm de abertura de malha e posteriormente preservadas em lugol acético (Bicudo e Menezes, 2006). A identificação foi realizada até o menor nível hierárquico possível, com uso de literatura especializada, sendo Prescott e Vinyard (1982) e Komárek e Fott (1983), para as clorófitas, Komárek e Anagnostidis (1989; 1999; 2005) e Komárek e Cronberg (2001) para as cianobactérias, Popovský e Pfiester (1990), para os dinoflagelados, Krammer e Lange-Bertalot (1991a, b), para as diatomáceas e John et al. (2002), para os outros fitoflagelados, como euglenofíceas e criptofíceas.

A diversidade beta (β_1) foi utilizada para medir o quanto a diversidade regional (γ) excede a local (α), por meio de fórmulas descritas em Harrison et al. (1992). Este índice é calculado com a fórmula $\beta_1 = [(\gamma / \alpha_{\text{médio}}) - 1] / [n - 1] \times 100$, onde: γ é a diversidade gama ou riqueza total (número de espécies do conjunto de reservatórios em um dado período); $\alpha_{\text{médio}}$ é a diversidade alfa médio (número médio de espécies) do conjunto de reservatórios em um dado período; n é o número de reservatórios.

Alíquotas de 100 mL foram coletadas em duplicata e preservadas em solução de lugol acético para determinação da densidade fitoplanctônica (ind.mL^{-1}), baseado no método de Utermöhl (Utermöhl, 1958). A biomassa ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) foi estimada utilizando os valores calculados do biovolume celular. Para isto, foi multiplicada a densidade de cada espécie pelo volume médio de suas células considerando as medidas celulares de 30 indivíduos de cada espécie seguindo metodologia de Hillebrand et al. (1999). Este procedimento foi feito, sempre quando possível, por amostra de cada um dos reservatórios estudados.

Análises de variância (ANOVA) foram usadas para testar as diferenças espaciais e temporais apresentadas pelas variáveis abióticas e bióticas, considerando $p < 0,05$ como variação significativa. A dimensão espacial foi analisada para testar as diferenças verticais, entre os reservatórios das regiões climáticas (Zona da Mata e Agreste). A dimensão temporal foi tratada no espectro sazonal, em dois eventos periódicos, o período chuvoso e de estiagem. Análise de componente principal (ACP) foi usada para projetar as unidades amostrais a partir de matrizes bióticas de riqueza e biomassa. Ordenação suplementar foi feita com os dados

abióticos para auxiliar na interpretação dos dados. Esta análise foi realizada através do software Canoco 4.5 (ter Braak e Smilauer, 2002).

4.4. Resultados

Os reservatórios localizados nas regiões climáticas (Zona da Mata e Agreste) de Pernambuco apresentaram águas quentes ($> 23\text{ }^{\circ}\text{C}$), eutróficas ($\text{IET} > 54$), pH ligeiramente ácido a alcalino e limitação de nitrogênio durante todo o ano (relação $\text{N:P} < 3$), com elevadas concentrações de fósforo (Tabela 2).

Nos reservatório da Zona da Mata foram registradas os maiores valores de temperatura da água ($F=10,74$, $p<0,01$) e turbidez ($F=8,12$, $p<0,01$) em relação aos do Agreste. Os reservatórios localizados na Zona da Mata apresentam comportamento limnológico abiótico semelhante, diferindo apenas quanto aos valores de pH ($F=9,38$, $p<0,01$) e fósforo total dissolvido ($F=8,69$, $p<0,01$). Entretanto verificou-se marcada variação sazonal das variáveis limnológicas ($p<0,05$), sendo observadas elevadas concentrações de fósforo e águas epilimnéticas com temperaturas superiores a 29°C no período de estiagem e valores de turbidez maior que 200NTU durante o período chuvoso.

Os maiores valores de pH foram registrados nos reservatórios do Agreste ($F=21,20$, $p<0,001$), com médias variando entre $6,9 \pm 0,2$ e $8,2 \pm 0,7$. Os reservatórios desta região apresentam águas com características físicas distintas, com variação na zona eufótica ($F=5,78$, $p<0,01$), zona de mistura ($F=7,77$, $p<0,01$) e temperatura ($F=5,76$, $p<0,01$). Diferenças significativas ($p<0,05$) foram verificadas no comportamento sazonal dos teores de fósforo e nos valores de pH e turbidez, sendo estes mais elevados durante o período chuvoso.

A flora fitoplanctônica nos reservatórios estudados foi representada por 111 táxons agrupados em ordem decrescente nas divisões Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Dinophyta, Chrysophyta e Xantophyta. Foi verificado maior número de táxons durante o período chuvoso, com decréscimo de espécies no período de estiagem. Dezenove táxons ocorreram apenas no período chuvoso e oito foram presentes apenas durante o período de estiagem. Os reservatórios da Zona da Mata apresentaram as menores riquezas específicas, enquanto Jucazinho e Arcoverde registraram as menores diversidades durante o período chuvoso e de estiagem, respectivamente (Figura 1, Tabela 3).

Tabela 2: Valores médios e desvio padrão das variáveis abióticas dos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá, Jucazinho, Arcoverde e Pedra no período de março de 2007 a agosto de 2008.

Variáveis	Período sazonal	Profundidade	Reservatórios da Zona da Mata		Reservatórios do Agreste		
			Duas Unas	Tapacurá	Jucazinho	Arcoverde	Pedra
Temperatura da água (°C)	Chuvoso	Superfície	27,8 ± 2,0	27,7 ± 2,1	28,5 ± 2,2	25,3 ± 2,8	25,5 ± 1,8
		Fundo	27,3 ± 2,0	26,8 ± 1,7	27,1 ± 1,5	24,9 ± 2,7	25,0 ± 1,9
	Estiagem	Superfície	29,6 ± 1,4	29,9 ± 0,8	28,8 ± 0,9	28,5 ± 2,5	25,6 ± 1,3
		Fundo	29,2 ± 0,9	27,7 ± 1,0	26,9 ± 0,4	24,7 ± 1,1	23,7 ± 0,7
Zona eufótica (m)	Chuvoso		1,6 ± 0,7	2,1 ± 0,8	3,7 ± 3,4	2,3 ± 0,8	1,2 ± 0,6
	Estiagem		4,2 ± 1,2	2,6 ± 0,2	2,7 ± 0,4	1,3 ± 0,2	1,2 ± 0,0
Zona de mistura (m)	Chuvoso		8,0 ± 1,8	9,5 ± 7,3	1,8 ± 0,3	18,3 ± 4,3	11,6 ± 6,3
	Estiagem		6,1 ± 1,3	5,0 ± 1,4	0,8 ± 0,4	3,0 ± 2,8	2,3 ± 1,1
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Chuvoso	Superfície	5,6 ± 0,6	7,3 ± 2,1	9,2 ± 3,0	3,7 ± 2,4	4,6 ± 2,7
		Fundo	4,6 ± 1,3	2,1 ± 1,8	2,0 ± 2,4	2,3 ± 1,6	0,5 ± 0,5
	Estiagem	Superfície	6,9 ± 0,4	7,3 ± 1,4	9,1 ± 1,5	6,1 ± 4,4	3,8 ± 4,6
		Fundo	5,6 ± 0,9	0,1 ± 0,0	2,0 ± 2,2	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
pH	Chuvoso	Superfície	6,4 ± 0,2	7,4 ± 0,7	8,1 ± 0,8	7,0 ± 0,2	7,3 ± 0,7
		Fundo	6,4 ± 0,4	6,8 ± 0,2	7,7 ± 0,5	7,1 ± 0,2	6,9 ± 0,2
	Estiagem	Superfície	6,9 ± 0,2	7,1 ± 0,5	8,1 ± 0,2	8,2 ± 0,7	7,7 ± 0,6
		Fundo	6,7 ± 0,2	7,1 ± 0,2	8,1 ± 0,3	7,6 ± 0,2	7,4 ± 0,0
Turbidez (NTU)	Chuvoso	Superfície	720,0 ± 393,6	443,0 ± 208,1	92,9 ± 44,1	72,7 ± 78,4	370,5 ± 545,9
		Fundo	772,0 ± 349,2	250,0 ± 139,6	118,6 ± 129,1	102,8 ± 135,6	201,6 ± 242,7
	Estiagem	Superfície	8,6 ± 3,6	24,5 ± 4,5	13,3 ± 2,0	53,1 ± 14,1	77,5 ± 17,7
		Fundo	9,5 ± 2,8	56,0 ± 49,5	7,6 ± 3,9	27,0 ± 11,7	51,5 ± 0,7

Tabela 2: Continuação...

Variáveis	Período sazonal	Profundidade	Reservatórios da Zona da Mata		Reservatórios do Agreste		
			Duas Unas	Tapacurá	Jucazinho	Arcoverde	Pedra
Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Chuvoso	Superfície	57,6 \pm 14,2	189,0 \pm 85,6	704,5 \pm 960,6	376,7 \pm 546,4	354,4 \pm 442,0
		Fundo	75,1 \pm 48,1	157,0 \pm 10,8	445,6 \pm 556,7	462,6 \pm 686,4	396,9 \pm 353,2
	Estiagem	Superfície	518,2 \pm 81,4	377,6 \pm 345,5	134,8 \pm 1,6	78,9 \pm 31,1	135,0 \pm 82,9
		Fundo	1157,3 \pm 504,8	817,2 \pm 839,2	177,7 \pm 57,3	147,3 \pm 104,1	195,8 \pm 101,2
Fósforo total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Chuvoso	Superfície	15,0 \pm 3,7	144,7 \pm 64,5	321,2 \pm 358,1	144,3 \pm 211,5	47,1 \pm 26,9
		Fundo	15,1 \pm 6,6	117,3 \pm 24,9	273,2 \pm 287,7	118,9 \pm 162,3	119,1 \pm 84,8
	Estiagem	Superfície	99,9 \pm 24,9	210,2 \pm 168,1	64,3 \pm 9,6	33,6 \pm 6,8	45,0 \pm 1,7
		Fundo	88,2 \pm 8,3	435,1 \pm 274,0	86,4 \pm 40,9	75,5 \pm 53,7	62,1 \pm 10,0
Ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Chuvoso	Superfície	20,4 \pm 17,0	195,3 \pm 59,8	1198,3 \pm 1754,6	584,5 \pm 873,4	456,7 \pm 473,5
		Fundo	15,1 \pm 9,2	200,1 \pm 152,9	1389,3 \pm 2113,2	651,5 \pm 946,8	514,8 \pm 475,3
	Estiagem	Superfície	757,4 \pm 107,1	159,8 \pm 11,7	123,7 \pm 40,5	32,4 \pm 11,0	31,1 \pm 23,2
		Fundo	492,3 \pm 107,1	1892,7 \pm 1875,7	205,9 \pm 125,8	153,1 \pm 82,2	94,7 \pm 15,9
Nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Chuvoso	Superfície	10,0 \pm 9,0	18,6 \pm 13,8	14,7 \pm 7,1	13,7 \pm 1,4	14,4 \pm 5,3
		Fundo	8,1 \pm 3,9	18,6 \pm 14,8	11,7 \pm 4,2	41,0 \pm 44,0	78,8 \pm 103,7
	Estiagem	Superfície	13,2 \pm 4,3	8,9 \pm 7,6	3,6 \pm 0,6	14,3 \pm 0,6	7,8 \pm 3,3
		Fundo	9,5 \pm 1,2	16,1 \pm 13,4	5,9 \pm 3,5	12,0 \pm 1,4	11,2 \pm 4,3
Relação N:P	Chuvoso	Superfície	0,5 \pm 0,5	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,2	0,4 \pm 0,3
		Fundo	0,3 \pm 0,2	0,3 \pm 0,2	0,1 \pm 0,1	0,7 \pm 0,9	1,1 \pm 1,5
	Estiagem	Superfície	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,4 \pm 0,2
		Fundo	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,3 \pm 0,2
IET	Chuvoso		56,8 \pm 2,7	66,6 \pm 5,2	71,4 \pm 18,1	70,3 \pm 13,3	64,9 \pm 17,1
	Estiagem		73,2 \pm 0,1	70,0 \pm 10,9	62,4 \pm 0,6	65,4 \pm 6,5	60,3 \pm 3,3

Os valores de diversidade beta entre os reservatórios do Agreste correspondem a dois terços dos verificados para os reservatórios da Zona da Mata, o que é refletido na maior similaridade florística entre os reservatórios do Agreste do que nos localizados na Zona da Mata. Este comportamento se repete em ambos os períodos sazonais estudados (Figura 1, Tabela 3).

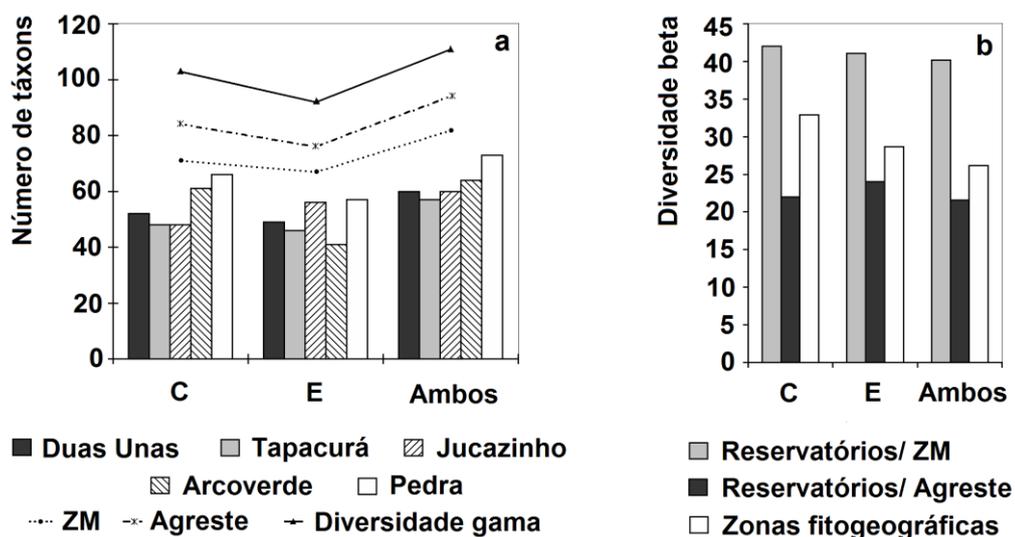


Figura 1: Diversidade alfa e gama (a) e beta (b) dos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. Legenda: PC = período chuvoso; PE = período de estiagem; ZM = Zona da Mata.

A cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* e a clorófito *Monoraphidium contortum* foram registradas em todas as amostras analisadas e 29 espécies apresentaram ocorrência em todos os reservatórios estudados. Oitenta e um táxons foram considerados raros, ocorrendo em menos que 20% das amostras analisadas e 38 espécies ocorreram em apenas um reservatório, sendo Duas Unas e Pedra as que reuniram maior número de táxons exclusivos, com 15 e 12, respectivamente (Tabela 3).

Diferenças significativas foram observadas nos valores de biomassa ($F=8,17$, $p<0,01$) entre as regiões climáticas, com médias no Agreste ($18,6 \pm 21,1 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) 5,2 vezes mais elevadas que na Zona da Mata ($3,7 \pm 3,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$). Estas diferenças foram conspícuas durante o período de estiagem ($F=6,53$, $p<0,05$), quando os valores médios de biomassa nos reservatórios do Agreste ($24,4 \pm 23,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) foram 8,7 vezes mais elevados que na Zona da Mata ($2,8 \pm 2,9 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$). Os reservatórios de Duas Unas ($1,5 \pm 1,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) e Pedra ($24,7 \pm 20,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) apresentaram as menores e maiores biomassas algais, respectivamente. Foi verificada variação vertical evidente ($F=9,08$, $p<0,01$), sendo mais pronunciada nos

reservatórios do Agreste ($F=10,09$, $p<0,01$), com valores médios mais elevados na subsuperfície ($28,2 \pm 25,3 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) (Figura 2).

Os reservatórios da Zona da Mata se apresentaram distintos quanto aos valores de biomassa ($F=11,704$, $p<0,01$). Estas diferenças foram significativas durante o período de estiagem ($F=7,24$, $p<0,05$). As biomassas médias mais elevadas nesta região (Figura 2) ocorreram no reservatório de Tapacurá ($6,0 \pm 3,8 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) onde foi verificado maior biomassa relativa de cianobactérias.

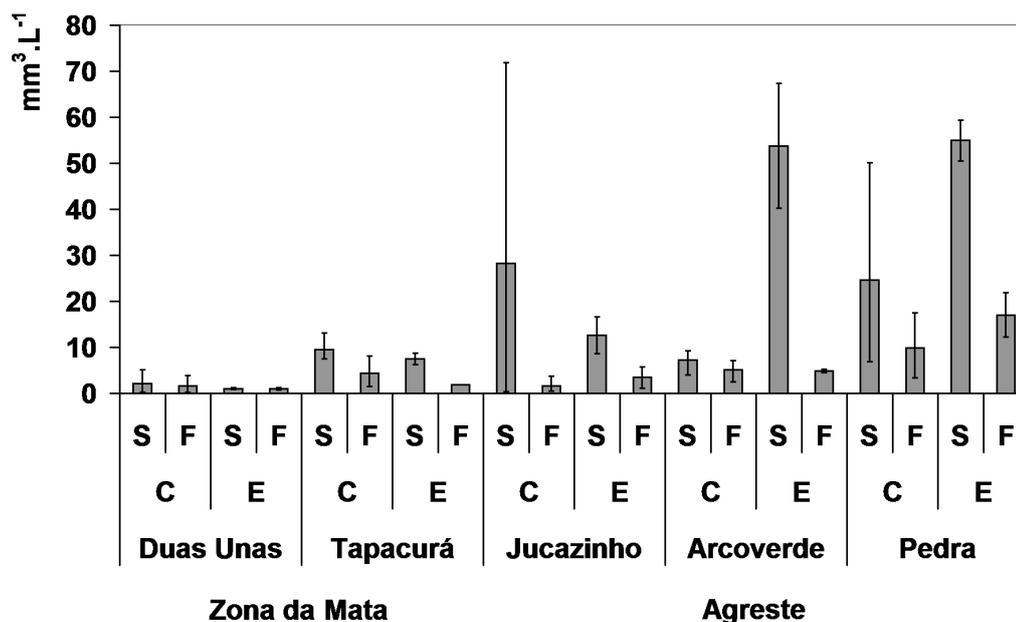


Figura 2: Valores médio, mínimo e máximo dos dados de biomassa fitoplanctônica nos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. Legenda: PC = período chuvoso; PE = Período de estiagem; S = Superfície; F = Fundo.

Em relação à biomassa, a comunidade fitoplanctônica dos reservatórios estudados foi formada especialmente por cianobactérias, com registro de florações durante o período de estiagem nos reservatórios de Pedra e Arcoverde. O elevado desvio padrão nos valores de biomassa observado nos reservatórios de Pedra ($24,6 \pm 22,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) e Jucazinho ($24,6 \pm 38,2 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) na superfície durante o período chuvoso se deve a floração de cianobactérias verificadas em agosto/2007 e maio/2008, respectivamente.

A ocorrência de diatomáceas foi maior durante o período de estiagem, inclusive com biomassa maior que 50% da comunidade no reservatório de Duas Unas. Em Arcoverde, ao contrário, a maior biomassa relativa de diatomáceas ocorreu durante o período chuvoso (Tabela 3).

Tabela 3: Biomassa relativa média (%) e número de ocorrência (NO) das espécies fitoplanctônicas nos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. PC = período chuvoso; PE = período de estiagem; S = subsuperfície; F = fundo; + = ocorrência inferior a 1% da biomassa total; - = não ocorrência.

	Reservatórios da Zona da Mata										Reservatórios do Agreste										NO (n=50)
	Duas Unas				Tapacurá				Jucazinho				Arcoverde				Pedra				
	PC		PE		PC		PE		PC		PE		PC		PE		PC		PE		
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	
CYANOPHYTA																					
<i>Anabaena constricta</i> (Szafer) Geitler	-	-	-	-	-	+	2	-	2	2	8	2	-	-	-	-	+	-	-	-	9
<i>A. spiroides</i> Klebahn	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	3
<i>Anabaena</i> sp.	5	13	22	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
<i>Aphanizomenon</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	3
<i>Aphanocapsa elachista</i> W. West e G.S. West	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	3
<i>A. incerta</i> (Lemmermann) Cronberg e Komárek	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	40
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	36
<i>C. minimus</i> (Keissler) Lemmermann	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	29
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	44
<i>C. turgidus</i> Kützing	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	20
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Wolosz.) Seenaya e Subba Raju	1	1	11	13	17	28	16	15	12	26	38	32	10	18	89	81	35	28	61	51	50
<i>Geitlerinema amphibium</i> (C. Agardh) Anagnostidis	+	+	+	+	3	5	4	11	6	11	11	26	8	8	+	5	7	7	3	4	49
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	+	+	-	+	+	3	+	20	+	2	-	1	5	8	+	4	2	15	+	11	40
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	-	1	1	-	46	31	29	22	28	15	4	1	13	5	4	3	+	1	+	1	34
<i>M. flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner	-	-	-	-	5	6	1	4	4	5	4	-	+	2	-	-	+	1	+	-	19
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis e Komárek	-	-	-	-	+	1	-	-	5	8	3	-	27	32	+	-	21	21	2	5	21
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	-	-	+	-	4	4	+	+	+	+	4	+	2	2	-	-	-	-	-	+	20
<i>P. limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	-	-	-	-	-	-	2	+	+	+	3	3	-	-	+	+	+	-	+	+	13
<i>Raphidiopsis mediterranea</i> Skuja	-	-	-	-	+	+	+	-	+	1	+	+	+	+	2	1	2	1	3	3	30
<i>Planktolyngbya</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	2
<i>Woronichinia botrys</i> (Skuja) Komárek e Hindák	-	-	-	-	10	-	4	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	6
CHLOROPHYTA																					
<i>Actinastrum gracillimum</i> Smith	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	8
<i>A. hantzschii</i> Lagerheim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Korshikov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1
<i>Ankyra judayi</i> (G. M. Smith) Fott	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	10
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	20
<i>Botryococcus protuberans</i> W. West e G. S. West	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5

Tabela 3: Continuação...

	Reservatórios da Zona da Mata								Reservatórios do Agreste								NO (n=50)				
	Duas Unas				Tapacurá				Jucazinho				Arcoverde					Pedra			
	PC		PE		PC		PE		PC		PE		PC		PE			PC		PE	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F		S	F	S	F
<i>Chlamydomonas</i> sp.	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	15
<i>Chlorella</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	39
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Meneghini	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	8
<i>Closteriopsis acicularis</i> (G. M. Smith) Belch e Swale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	2
<i>Closterium acutum</i> Brébisson ex Ralfs	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	22
<i>C. parvulum</i> Nägeli	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Closterium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	-	-	-	-	+	1	2	1	-	+	+	-	+	+	-	-	-	1	-	+	13
<i>C. reticulatum</i> (P.A. Dangeard) Senn	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	2
<i>Cosmarium bioculatum</i> Brébisson ex Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	4
<i>Crucigenia fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	8
<i>C. quadrata</i> Morren	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	6
<i>Crucigenia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	6
<i>D. pulchellum</i> H. C.Wood	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	35
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	8
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) K. Möbius	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	27
<i>K. obesa</i> (G.S. West) Schmidle	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	31
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	4
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korsikov) Hindák	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	16
<i>M. contortum</i> (Thuret) Komàrková-Legnerová	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	50
<i>M. griffithii</i> (Berkel) Komàrková-Legnerová	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	37
<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Oedogonium</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Oocystis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Quadrigula chodatii</i> (Tanner-Füllemann) G.M. Smith	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	17
<i>S. acutus</i> Meyen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Scenedesmus arcuatus</i> Lemmermann	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	3

Tabela 3: Continuação...

	Reservatórios da Zona da Mata								Reservatórios do Agreste								NO (n=50)				
	Duas Unas				Tapacurá				Jucazinho				Arcoverde					Pedra			
	PC		PE		PC		PE		PC		PE		PC		PE			PC		PE	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F		S	F	S	F
<i>S. bicaudatus</i> (Hansgirg) Chodat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	2
<i>S. ecomis</i> (Ehrenberg) Chodat	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	11
<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brébisson ex Ralfs	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	15
<i>Schroederia indica</i> Philipose	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	28
<i>S. nitzschoides</i> (G. S. West) Korsikov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>S. spiralis</i> (Printz) Korsikov	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	8
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
<i>Staurostrum gracile</i> Ralfs ex Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	4
<i>S. leptocladum</i> L.N. Johnson	-	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
<i>Staurodesmus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Tetraedron incus</i> (Teiling) G. M. Smith	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	3
<i>T. minimum</i> (A. Braun) Hansgirg	-	-	-	-	+	1	+	-	-	-	-	1	-	+	+	+	+	+	+	+	19
<i>T. triangulare</i> (Chodat) Komárek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	5
<i>Tetrastrum elegans</i> Playfair	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	5
<i>T. heteracanthum</i> (Nordstedt) Chodat	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5
EUGLENOPHYTA																					
<i>Phacus horridus</i> Pochmann	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
<i>P. longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	2
<i>Strombomonas</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) F. Stein	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	+	-	-	2
<i>T. caudata</i> (Ehrenberg) F. Stein	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>T. oblonga</i> Ehrenberg	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	1	-	-	+	+	-	-	+	1	1	13
<i>T. volvocina</i> Ehrenberg	6	4	+	+	+	+	1	3	+	+	+	3	2	+	+	1	+	2	+	+	44
<i>T. volvocinopsis</i> Svirenko	+	+	+	+	-	-	-	1	-	-	-	-	+	1	-	-	5	1	-	1	15
CRYPTOPHYTA																					
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	10	10	4	2	+	+	+	+	3	+	2	1	3	+	1	+	2	+	2	+	43
<i>Cryptomonas</i> sp.	16	10	+	1	+	-	-	-	2	-	+	-	+	+	+	-	1	-	+	-	22
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher e Ruttner	3	2	1	+	+	+	+	+	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	43
BACILLARIOPHYTA																					
<i>Acanthoceras</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

DANTAS, E. W. Ecologia da comunidade de algas planctônicas em reservatórios de Pernambuco...

Tabela 3: Continuação...

	Reservatórios da Zona da Mata								Reservatórios do Agreste								NO (n=50)				
	Duas Unas				Tapacurá				Jucazinho				Arcoverde					Pedra			
	PC		PE		PC		PE		PC		PE		PC		PE			PC		PE	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F		S	F	S	F
<i>Achnanthes</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	1	+	-	+	+	+	+	+	12
<i>Actinella brasiliensis</i> Grunow	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	19	17	3	2	6	9	7	7	-	2	2	2	6	6	1	3	+	+	+	+	33
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	1	4	13	13	+	2	1	2	22	20	11	13	9	5	+	-	3	+	3	2	44
<i>Discotella stelligera</i> Cleve e Grunow	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	+	-	-	+	+	+	+	+	29
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	6
<i>Eunotia</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Frustulia</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	2	-	-	4
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	3
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Grunow	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	8	10	1	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	-	+	-	+	2	3	-	-	+	2	+	1	+	-	+	-	+	+	+	+	25
<i>Nitzschia paleaeformis</i> Hustedt	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	13
<i>Nitzschia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Synedra acus</i> Kützing	+	+	7	11	-	-	22	12	-	-	1	+	+	-	-	+	+	+	+	+	18
<i>S. rumpens</i> Kützing	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	5	4	+	+	2	3	7	6	45
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	2
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L. Smith) F.E. Round e R.M. Crawford	18	17	22	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
<i>U. longiseta</i> (Zacharias) Bukhtiyarova	+	+	8	6	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
CHRYSOPHYTA																					
<i>Dinobryon</i> sp.	2	3	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
<i>Mallomonas</i> sp.	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	11
XANTOPHYTA																					
<i>Centritractus</i> sp.	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
DINOPHYTA																					
<i>Gymnodinium</i> sp.	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	1	-	+	+	-	-	+	+	+	-	14
<i>Peridinium</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	14	3	6	4
<i>Peridinium</i> sp.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	8	3	5

As criptófitas e euglenófitas apresentaram biomassa relativa superior a 10% durante o período chuvoso em Duas Unas e Pedra respectivamente e os dinoflagelados no período de estiagem, no reservatório de Pedra. As clorófitas, as crisófitas e as xantófitas apresentaram reduzida contribuição nos valores de biomassa (Tabela 3).

Vinte e três táxons foram considerados abundantes por apresentar biomassas superiores a 5% nos reservatórios estudados. *C. raciborskii* foi abundante em todos os reservatórios, com valores de biomassa relativa superior a 50% no período de estiagem em Arcoverde e Pedra. A menor abundância deste táxon ocorreu em Duas Unas especialmente no período chuvoso (Tabela 3).

Anabaena sp., *Woronichinia botrys*, *Cryptomonas ovata*, *Cryptomonas* sp., *Melosira varians*, *Synedra acus*, *Urosolenia eriensis* e *U. longiseta* apresentaram abundância nos reservatórios da Zona da Mata, enquanto que *Anabaena constricta*, *Planktothrix agardhii*, *Phacus longicauda*, *T. volvocinopsis*, *S. rumpens*, *Peridinium* sp.1 e *Peridinium* sp.2 foram abundantes nos reservatórios do Agreste. As espécies *Geitlerinema amphibium*, *Merismopedia tenuissima*, *Microcystis aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *Aulacoseira granulata* e *Cyclotella meneghiniana* foram considerados abundantes em ambas as regiões climáticas (Tabela 3).

As cianobactérias *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *P. agardhii* e *W. botrys*, assim como as criptófitas *C. ovata* e *Cryptomonas* sp., as euglenófitas *P. longicauda*, *T. volvocina* e *T. volvocinopsis* e as diatomáceas *A. granulata* e *M. varians* foram abundantes durante o período chuvoso, enquanto que as cianobactérias *A. constricta* e *Anabaena* sp., as diatomáceas *S. acus* e *U. longiseta* e o dinoflagelado *Peridinium* sp.2 durante o período de estiagem (Tabela 3).

A ordenação com os dados de riqueza e biomassa explicou respectivamente 35,0% e 38,9% da variação. O eixo 1 evidenciou as diferenças observadas entre os reservatórios da Zona da Mata. O reservatório de Duas Unas apresentou composição específica e biomassa influenciada pela precipitação pluviométrica e turbidez, enquanto que Tapacurá relacionou-se a águas com maior disponibilidade de fósforo total dissolvido e de luminosidade. Os reservatórios do Agreste foram associados com valores de pH mais alcalinos e suas diferenças foram evidenciadas pelo eixo 2. Estas são explicadas pela variação das concentrações de nitrogênio total, mais acentuada no reservatório de Pedra e de temperatura da água, mais elevada em Jucazinho (Figura 3).

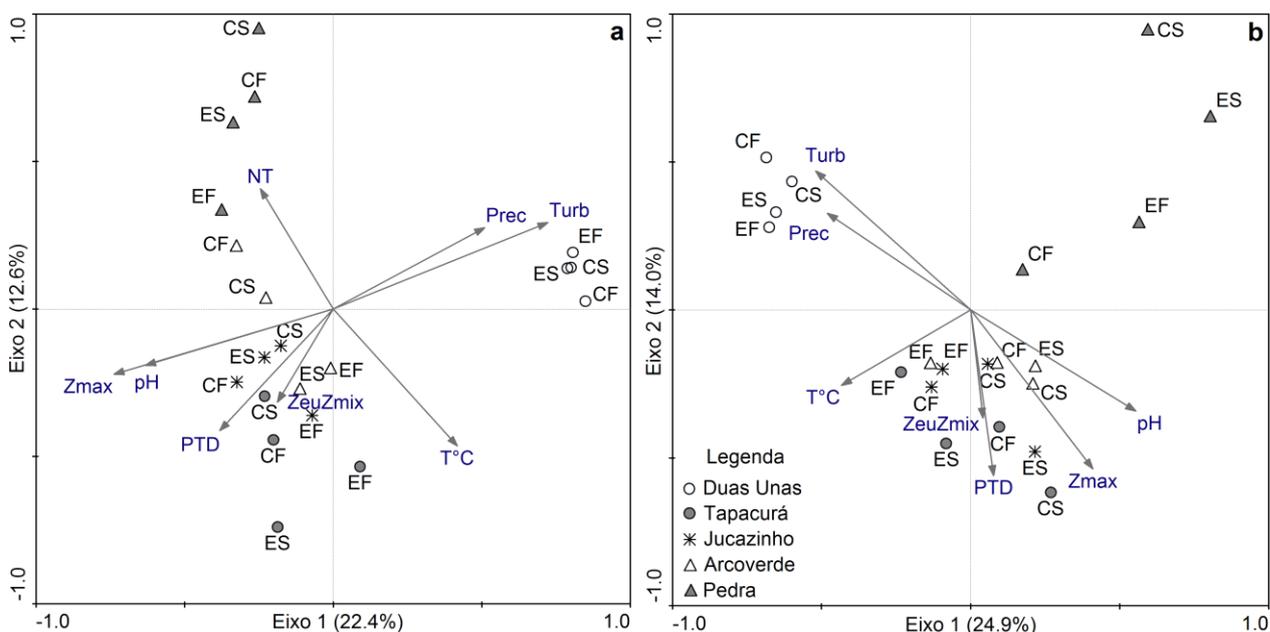


Figura 3: Ordenação biplot das profundidades amostrais realizada a partir de dados de riqueza (a) e biomassa (b) dos reservatórios estudados no período de março de 2007 a agosto de 2008. As unidades amostrais são representadas com o período sazonal seguido da profundidade correspondente. Legenda: CS = período chuvoso na superfície; CF = período chuvoso no fundo; ES = período de estiagem na superfície; EF = período de estiagem no fundo; NT = nitrogênio total; T°C = temperatura da água; Prec = precipitação pluviométrica; Turb = turbidez; pH = pH; Zmax = profundidade máxima; PTD = fósforo total dissolvido; ZeuZmix = relação zona eufótica:zona de mistura.

4.5. Discussão

O gradiente climatológico que ocorre nas diferentes regiões climáticas do estado de Pernambuco, com variação nos valores de precipitação pluviométrica, apresentou relação inversa com a riqueza e com a biomassa. No entanto, as maiores riquezas foram verificadas durante o período chuvoso em ecossistemas localizados na Zona da Mata e no Agreste.

A maior intensidade de chuvas na Zona da Mata produziu efeitos diretos no comportamento físico e químico da água. Dentre estes efeitos estão o aumento da turbidez, desestratificação completa da coluna d'água, pH neutro a ligeiramente ácido e a redução da disponibilidade de luz para os organismos fotossintetizantes. Estas condições podem ser a causa da reduzida biomassa verificada nestes ecossistemas.

Características contrárias foram verificadas em reservatórios do Agreste, uma vez que menores intensidades de chuvas, associadas com irregularidades climáticas advindas de clima semi-árido, sustentam maior estabilidade nas variáveis hidrológicas, com formação frequente de estratificação térmica. Estas condições não foram verificadas por Bouvy et al. (2000) que não encontraram padrão na

distribuição espacial no estado de Pernambuco, sendo os ecossistemas caracterizados como túrbidos e com elevada limitação de luz. Vale destacar que estes autores não estudaram reservatórios localizados na Zona da Mata e as condições de precipitação entre o Sertão e o Agreste foi semelhante durante o período do *El Niño*.

Embora diversos autores afirmem que o aumento da precipitação pluviométrica pode trazer inóculo de espécies através de tributários ou de ecossistemas a montante (Figueredo e Giani, 2001; Borges et al., 2008), as chuvas não garantem uma elevada diversidade local. Para Moustaka-Gouni et al. (2007), a menor diversidade pode ser um reflexo da existência de impactos humanos múltiplos na bacia que culminam na redução da biodiversidade local. Apesar da elevada concentração demográfica verificada na Zona da Mata em comparação com o Agreste, os ecossistemas localizados no Agreste apresentaram os maiores valores de biomassa, com formação de florações algais, especialmente durante o período de estiagem.

Conforme Figueredo e Giani (2001) o aumento da biomassa fitoplanctônica é produzida quando a estabilidade da coluna d'água é mais evidente. O sucesso isolado de uma, duas ou três espécies em um sistema pode conduzir a condição de equilíbrio caso o ambiente se mantenha estável. A persistência deste equilíbrio pode resultar na exclusão competitiva de determinadas espécies e na redução da diversidade local (Padisák et al., 2003; Çelik e Ongun, 2008). Estudos relacionados ao estado de equilíbrio podem ajudar a entender melhor os padrões de composição e biomassa verificados no Agreste. Paerl et al. (2003) apontam que a diminuição da diversidade associada à formação de *blooms* algais formam o mais evidente impacto ecológico negativo em nível microbiológico no ecossistema aquático.

Os ecossistemas estudados apresentaram elevadas concentrações de fósforo, em níveis que caracterizam os ecossistemas como eutróficos e hipertróficos, ideais para o desenvolvimento de cianobactérias. Este grupo predominou em todos os ecossistemas, exceto em Duas Unas. As características ambientais verificadas neste ecossistema foram desfavoráveis a ocorrência de elevada biomassa de cianobactérias. Segundo Reynolds (1998), as espécies pertencentes a este grupo algal são vulneráveis a mistura profunda e a fluxo rápido. Estas características foram verificadas em Duas Unas em razão de ser um ecossistema de menor profundidade (< 9 m) e estar inserido em uma área com chuvas mais intensas (> 1700 mm.ano⁻¹) que os outros reservatórios. As chuvas reduziram também a biomassa

fitoplanctônica nos outros reservatórios estudados, no entanto a contribuição relativa de cianobactérias continuou elevada.

Em relação aos táxons encontrados, *Cylindrospermopsis raciborskii* foi a principal espécie, pois ocorreu em diferentes condições ambientais, com biomassa elevada nos reservatórios do Agreste, especialmente durante o período de estiagem. Nos últimos anos, a referida espécie tem sido frequentemente reportada nos reservatórios eutróficos do Nordeste (Bouvy et al., 2000; 2001; Huszar et al., 2000; Molica et al., 2003; Moura et al., 2007a; Dantas et al., 2008) sendo frequente encontrar elevadas biomassas deste táxon independente do período sazonal.

A dominância de *C. raciborskii* foi também verificada por Chellappa et al. (2008) em condição oligo-mesotrófica, durante o período de estiagem como resultado do aumento da temperatura da água e da transparência. Ocorrências sazonais desta espécie são observadas em ecossistemas subtropicais (Padisák e Reynolds, 1998). No presente estudo, a única situação em que esta espécie não apresentou sucesso foi em condição de elevada intensidade pluviométrica, conseqüente redução do tempo de residência da água, associado à mistura completa da coluna d'água. Embora a temperatura da água tenha relação com a maior biomassa deste táxon (Briand et al., 2004; Burford e O'Donohue, 2006, Moura et al., 2007a), este fator apresentou relação inversa no presente estudo. Isso pode ser explicado pela baixa amplitude térmica verificada em ecossistemas tropicais (Ibañez, 1998) e, em temperaturas elevadas, outros fatores podem ter maior importância na ocorrência da espécie.

Cianobactérias coloniais, como *Microcystis aeruginosa*, *M. flos-aquae* e *Woronichinia botrys*, assim como a filamentosa *Planktothrix agardhii*, apresentaram maior biomassa relativa durante o período chuvoso nos reservatórios estudados. Destes, apenas *P. agardhii* apresentou ocorrência restrita ao Agreste. Estes táxons possuem estratégias que permitem a flutuabilidade em condição de mistura verificada com as chuvas (Hasler e Poulícková, 2003; Reynolds, 2007) e, desta forma, contribuíram para a persistência da dominância de cianobactérias durante todo o ano.

Representantes de outras divisões algais coexistiram com as cianobactérias, com destaque para diatomáceas, criptófitas, euglenófitas e dinoflagelados.

As diatomáceas apresentaram maior abundância relativa durante o período chuvoso em dois reservatórios subtropicais, sendo a causa atribuída ao *input* de nutrientes alóctones carregados pela chuva (Borges et al., 2008). Para estes autores,

as diatomáceas apresentaram maior biomassa nestas condições por serem adaptados ao aumento do fluxo e redução da disponibilidade de luz. Estas características foram verificadas nos reservatórios da Zona da Mata, especialmente Duas Unas, e justifica a abundância das espécies *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Urosolenia eriensis* e *U. longiseta*.

As espécies de diatomáceas presentes no Agreste ocorreram durante o período chuvoso, como é o caso de *Aulacoseira granulata*, ou durante a estratificação térmica, como as espécies *Cyclotella meneghiniana* e *Synedra rumpens*. Diatomáceas de pequeno tamanho, conforme estudadas por Winder et al. (2009), são capazes de manter-se na coluna d'água, mesmo sob condição de estratificação. Isso justifica a ocorrência de *C. meneghiniana* e *S. rumpens* no Agreste durante o período de estiagem.

A participação de táxons mixotróficos foi frequente durante o período chuvoso quando a disponibilidade de luz é reduzida pela ocorrência da mistura térmica e representa desvantagem para fototróficos obrigatórios (O'Farrell et al., 2003). No entanto, criptófitas, euglenófitas e dinoflagelados não conseguiram elevada abundância, sendo mais importantes no aumento da diversidade local durante o período chuvoso nos reservatórios estudados.

A precipitação foi o principal fator controlador do fitoplâncton nos ecossistemas uma vez que acarretou eventos de mistura térmica, exceto em ecossistemas profundos localizados no Agreste, onde as chuvas não foram suficientes para produzir circulação da coluna d'água.

As diferentes regiões climáticas de Pernambuco apresentaram variação quanto à riqueza e biomassa fitoplanctônica, com os maiores valores encontrados no Agreste, onde foram verificadas menores precipitações pluviométricas anuais. As chuvas elevaram a diversidade fitoplanctônica local, no entanto, reduziram a diversidade regional nos ecossistemas estudados. As diferentes estratégias de flutuação verificadas pelas espécies de cianobactérias e a ressuspensão de frústulas de diatomáceas por ocasião da mistura frequente reportada especialmente em ecossistemas da Zona da Mata foram mais importantes que a habilidade mixotrófica e a motilidade flagelar nos ecossistemas eutróficos de Pernambuco.

4.6. Referências

Almeida, V.L.S., Dantas, E.W., Melo-Júnior, M., Bittencourt-Oliveira, M.C., Moura, A.N., 2009. Zooplanktonic community of six reservoirs in northeast Brazil. *Braz. J. Biol.* 69(1), 57-65.

Becker, V., Huszar, V.L.M., Naselli-Flores, L., Padisák, J., 2008. Phytoplankton equilibrium phases during thermal stratification in a deep subtropical reservoir. *Freshw. Biol.* 53, 952-963.

Benhardt, J., Elliott, J.A., Jones, I.D., 2008. Modelling the effects on phytoplankton communities of changing mixed depth and background extinction coefficient on three contrasting lakes in the English Lake District. *Freshw. Biol.* 53, 2573-2586.

Bicudo, C.E.M., Menezes, M., 2006. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições, 2 ed. Rima, São Carlos.

Borges, P.A.F., Train, S., Rodrigues, L.C., 2008. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. *Hydrobiologia* 607, 63-74.

Bouvy, M.A., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M., Moura, A., 2000. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquat. Microb. Ecol.* 23, 13-27.

Bouvy, M.A., Molica, R., Oliveira, S., Marinho, M., Becker, B., 2001. Effects of a cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) on bacteria and zooplankton communities in Ingazeira reservoir (northeast Brazil). *Aquat. Microb. Ecol.* 25(3), 215-227.

ter Braak, C.J.F., Smilauer, P., 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York.

Briand, J.F., Lebourlangier, C., Humbert, J., Bernard, C., Dufour, P., 2004. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming? *J. Phycol.* 40, 231-238.

Burford, M.A., O'Donohue, M.J., 2006. A comparison of phytoplankton community assemblages in artificially and naturally mixed subtropical water reservoirs. *Freshw. Biol.* 51, 2143-2153.

Caputo, L., Naselli-Flores, L., Ordoñez, J., Armengol, J., 2008. Phytoplankton distribution along trophic gradients within and among reservoirs in Catalonia (Spain). *Freshw. Biol.* 53, 2543-2556.

Çelik, K., Ongun, T., 2008. Spatial and temporal dynamics of the steady-state phytoplankton assemblages in a temperate shallow hypertrophic lake (Lake Manyas, Turkey). *Limnology* 9, 115–123.

Chellappa, N.T., Borba, J.M., Rocha, O., 2008. Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. *Braz. J. Biol.* 68(3), 477-494.

Dantas, E.W., Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Arruda-Neto, J.D.T., Cavalcanti, A.D.C., 2008. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Bot. Brasil.* 22(4), 970-982.

Downing, J.A., McCauley, E., 1992. The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 37, 936-945.

Figueredo, C.C., Giani, A., 2001. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia* 445(1-3), 165-174.

Harrison, S., Ross, S.J., Lawton, J.H., 1992. Beta diversity on geographic gradients in Britain. *J. Anim. Ecol.* 61, 151-158.

Hasler, P., Poulícková, A., 2003. Diurnal changes in vertical distribution and morphology of a natural population of *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagnostidis et Komárek (Cyanobacteria). *Hydrobiologia* 506-509, 195-201.

Hillebrand, H., Dürselen, C., Kirschtel, D., Pollinger, U., Zohary, T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35, 403-424.

Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Marinho, M., Domingos, P., Sant'Anna, C.L., 2000. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia* 424, 67-77.

Ibañez, M.S.R., 1998. Phytoplankton composition and abundance of a central Amazonian floodplain lake. *Hydrobiologia* 362, 79-83.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp. Acesso em: 21 de abril de 2009.

John, D.M., Whitton, B.A., Brook, A.J., 2002. The freshwater algal flora of the British Isles. Cambridge University Press, Cambridge.

Komárek, J., Anagnostidis, K., 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 4: Nostocales. *Algol. Stud.* 56, 247-345.

Komárek, J., Anagnostidis, K., 1999. Cyanoprokayota 1. In: Ettl, H., Gartner, G., Heyning, H., Mollenhauer, D. (Eds.), *Chroococcales. Subwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer, Stuttgart.

Komárek, J., Anagnostidis, K., 2005. Cyanoprokayota 2. In: Bridel, B., Krienitz, L., Gartner, G., Schargerl, M. (Eds.), *Oscillatoriales. Subwasserflora von Mitteleuropa*. Elsevier GmbH, München.

Komárek, J., Cronberg, G., 2001. Some Chroococcalean and Oscillatorialen Cyanoprokaryotes from southern African lakes, ponds and pools. *Nova Hedwigia* 73, 129-160.

Komárek, J., Fott, B., 1983. Chlorphyceae. Chlorococcales. Begründent von August Thienemann, Stuttgart.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991a. Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae and Eunotiaceae, *Semper Bonis Artibus*.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991b. Bacillariophyceae, 4. Teil: Achananthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) and *Gomphonema* Gesamthitratverzeichnis, *Semper Bonis Artibus*.

Law, T., Zhang, W., Zhao, J., Arhonditsis, G.B., 2009. Structural changes in lake functioning induced from nutrient loading and climate variability. *Ecol. Model.* 220, 979-997.

Lazzaro, X., Bouvy, M., Ribeiro-Filho, R.A., Oliveira, V.S., Sales, L.T., Vasconcelos, A.R.M., Mata, M.R., 2003. Do fish regulate phytoplankton in shallow eutrophic Northeast Brazilian reservoirs. *Freshw. Biol.* 48, 649-668.

Lira, G.A.S.T., Bittencourt-Oliveira, M.C., Moura, A.N., 2009. Structure and dynamics of phytoplankton community in the Botafogo reservoir-Pernambuco-Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 52(2), 493-501.

Margalef, R., 1983. *Limnologia*. Omega, Barcelona.

McGregor, G.B., Fabbro, L.D., 2000. Dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanoprokaryota) in Queensland tropical and subtropical reservoirs: implications for monitoring and management. *Lakes Reserv. Res. Manag.* 5, 195-205.

Melo-Júnior, M., Almeida, V.L.S., Paranaguá, M.N., Moura, A.N., 2007. Crustáceos planctônicos de um reservatório oligotrófico do Nordeste do Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 9(1), 19-30.

Molica, R.J.R., Oliveira, E.J.A., Carvalho, P.V.V.C., Costa, A.N.S.F., Cunha, M.C.C., Melo, G.L., Azevedo, S.M.F.O., 2005. Occurrence of saxitoxins and an anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply. *Harmful Algae* 4, 743-753.

Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Dantas, E.W., Arruda-Neto, J.D.T., 2007a. Phytoplanktonic Associations: A Tool to Understand Dominance Events in a Tropical Brazilian Reservoir. *Acta Bot. Brasil.* 21(3), 641-648.

Moura, A.N., Dantas, E.W., Bittencourt-Oliveira, M.C., 2007b. Structure of the phytoplankton in a water supply system in the state of Pernambuco – Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 50(4), 645-654.

Moustaka-Gouni, M., Vardaka, E., 2007. Phytoplankton species succession in a shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): steady-state dominance of *Limnithrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hydrobiologia* 575, 129-140.

Nixdorf, B., Mischke, U., Rücker, J., 2003. Phytoplankton assemblages and steady state in deep and shallow eutrophic lakes – an approach to differentiate the habitat properties of Oscillatoriales. *Hydrobiologia* 502, 111-121.

O'Farrell, I., Sinistro, R., Izaguirre, I., Unrein, F., 2003. Do steady state assemblages occur in shallow lentic environments from wetlands? *Hydrobiologia* 502, 197-209.

Padisák, J., Reynolds, C.S., 1998. Selection of phytoplankton associations in lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokariotes. *Hydrobiologia* 384, 41-53.

Padisák, J., Borics, G., Fehér, G., Grigorszky, I., Oldal, I., Schmidt, A., Zámóné-Doma, Z., 2003. Dominant species, functional assemblages and equilibrium phases in late summer phytoplankton assemblages in Hungarian small shallow lakes. *Hydrobiologia* 502, 157-168.

Paerl, H.W., Dyble, J., Moisander, P.H., Noble, R.T., Piehler, M.F., Pinchney, J.L., Steppe, T.F., Twomey, L., Valdes, L.M., 2003. Microbial indicators of aquatic ecosystem change: current applications to eutrophication studies. *FEMS Microbiol. Ecol.* 46, 233-246.

Peretyatko, A., Teissier, S., Symoens, J., Triest, L., 2007. Phytoplankton biomass and environmental factors over a gradient of clear to turbid peri-urban ponds. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 17, 584-601.

Popovský, J., Pfiester, L.A., 1990. Dinophyceae (Dinoflagellida). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart.

Prescott, G.W., Vinyard, W.C., 1982. A Synopsis of North American Desmids. University of Nebraska Press, Nebraska.

Reynolds, C.S., 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia* 369/370, 11-26.

Reynolds, C.S., 2007. Variability in the provision and function of mucilage in phytoplankton: Facultative responses to the environment. *Hydrobiologia* 578, 37-45.

SRH. Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco, 2000. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – Documento Síntese, Recife.

Silva, C.A., Train, S., Rodrigues, L.C., 2005. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia* 537, 99-109.

Strickland, J.D., Parsons, T.R., 1965. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 125, 1-185.

Toledo Jr., A.P., Talarico, M., Chinez, S.J., Agudo, E.G., 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Camboriú*, pp.1–34 (In Portuguese).

Utermöhl, H., 1958. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9, 1-38.

Valderrama, G.C., 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* 10, 109-122.

Winder, M., Reuter, J.E., Schladow, S.G., 2009. Lake warming favours small-sized planktonic diatom species. *Proc. R. Soc. Biol. Sci. Ser. B* 276, 427-435.

5. SEGUNDO MANUSCRITO:

A ser encaminhado para publicação
na revista Acta Oecologica

**Dinâmica das associações fitoplanctônicas em três de reservatórios do
Nordeste do Brasil.**

Ênio Woclyli Dantas^{1,2}, Maria do Carmo Bittencourt-Oliveira³, Ariadne do Nascimento Moura²

¹Universidade Estadual da Paraíba - UEPB - Campus V, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas – CCBSA, R. Monsenhor Walfredo Leal, nº 487, Tambiá, 58020-540, João Pessoa, Paraíba, Brasil. Phone: +55 83 3238 9236, E-mail: eniowoclyli@yahoo.com.br

²Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Área de Botânica, R. D. Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52171-030, Recife, Pernambuco, Brasil. Phone: +55 81 3320 6350.

³Departamento de Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias 11, Piracicaba, SP, Brasil. 13418-900. Phone: +5519-3429-4128. Fax: +5519-3434-8295.

Resumo: Este estudo objetivou investigar a variação sazonal e espacial das associações fitoplanctônicas em reservatórios eutróficos do Nordeste do Brasil com diferentes profundidades, relacionando-as com as variáveis abióticas. Cinco coletas realizadas em intervalos trimestrais foram feitas em cada um dos reservatórios, no período de um ano, em duas profundidades (0,1 m e próximo ao sedimento). As variáveis abióticas analisadas foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, transparência da água, nitrogênio total, fósforo total, fósforo total dissolvido e ortofosfato. As amostras de fitoplâncton coletadas com garrafa de Van Dorn foram preservadas em lugol acético e quantificadas em microscópio invertido para determinação da densidade e biomassa. As espécies foram enquadradas nas associações fitoplanctônicas. Os dados foram explorados através da análise de correspondência canônica. A estrutura das associações fitoplanctônicas apresentou menor variação sazonal em ecossistemas profundos. A profundidade interferiu no comportamento das associações algais e variações na disponibilidade de luz foram determinantes na mudança de estrutura fitoplanctônica nos reservatórios estudados.

As associações **A** e **H1** apresentaram maior abundância em ecossistemas rasos e com maior zona eufótica, enquanto que a associação **M** esteve mais relacionada a ecossistemas profundos e com boa disponibilidade de nutrientes. A distribuição das associações **C**, **S1** e **Sn** foram diferentes do observado em regiões subtropicais e a substituição destas relacionou-se a redução da camada eufótica em vez da zona de mistura.

Palavras-chave: algas planctônicas, dinâmica sazonal, grupos funcionais, reservatórios eutróficos.

Abstract (Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil): The aim of the present study was to investigate the seasonal and spatial variation of phytoplankton associations in eutrophic reservoirs in northeastern Brazil with different depths, relating to the abiotic variables. Five collections were carried out at each of the reservoirs at two depths (0.1 m and near the sediment) at three-month intervals. The abiotic variables analyzed were: water temperature, dissolved oxygen, pH, turbidity, water transparency, total phosphorus, total dissolved phosphorus, orthophosphate and total nitrogen. The phytoplankton samples collected with a Van Dorn bottle were preserved in Lugol's solution and quantified under an inverted microscope for the determination of density and biomass. The species were classified in phytoplankton associations. The data were explored using canonical correspondence analysis. The structure of phytoplankton associations showed less seasonal variation in the deeper reservoirs. Depth affected the behavior of the algal associations and variations in light availability were determinants of changes in the phytoplankton structure. **A** and **H1** associations exhibited greater abundance in shallow ecosystems with a larger eutrophic zone, whereas the **M** association was more related to deep ecosystems with a good availability of nutrients. The distribution of **C**, **S1** and **Sn** associations was different from that seen in subtropical regions and the substitution of these associations was related to a reduction in the eutrophic zone rather than the mixture zone.

Keywords: eutrophic reservoirs, functional groups, planktonic algae, seasonal dynamics

5.1. Introdução

A dinâmica da comunidade fitoplanctônica relaciona-se à capacidade de ajuste às alterações produzidas nos ecossistemas. A composição e biomassa do fitoplâncton em reservatórios dependem de uma complexa combinação de fatores, tais como: temperatura e luz, disponibilidade de nutrientes e comunidade zooplanctônica. Reynolds et al. (2002) utilizou estes fatores para o estabelecimento de uma classificação funcional das algas capaz de refletir a ecologia das espécies.

Diferente do encontrado em regiões de altas latitudes, os ecossistemas tropicais apresentam sucessão de associações de cianobactérias que, frequentemente, predominam em todo o ciclo sazonal (Marinho e Huszar, 2002). As cianobactérias heterocitadas constituem associações **H**, as Chroococcales coloniais participam das associações **K**, **Lm**, **Lo** e **M**, as Oscillatoriales filamentosas são incluídas em **S** e **R**, enquanto as picoplantônicas estão em **Z** (Huszar et al., 2000). Segundo Nabout et al. (2006), as associações de diatomáceas sucedem as de cianobactérias durante o intervalo de tempo quando os ventos e as chuvas produzem baixa estabilidade no sistema. Logo em seguida, táxons filamentosos de cianobactérias começam a codominar e, quando a coluna d'água se estabiliza, observa-se o domínio de cianobactérias cocoides. As diferentes associações de diatomáceas se relacionam com as condições tróficas, sendo identificadas algas relacionadas a ecossistemas oligotróficos (**A**), mesotróficos (**B** e **N**) e eutróficos (**C**, **D** e **P**) (Reynolds et al., 2002).

A maioria das algas invasivas que se desenvolve em condições de alta incidência de luz subaquática e elevada disponibilidade de nutrientes são geralmente clorófitas unicelulares (**X1**) (Melo e Huszar, 2000). No nordeste do Brasil, são relatados predominância de clorófitas na comunidade fitoplanctônica em condições oligo-mesotróficas (Dellamano-Oliveira *et al.*, 2003; Chellappa et al., 2008), com destaque para os grupos funcionais **X1** e **J**.

Em regiões subtropicais, a elevada variação nos valores de temperatura e de outras variáveis ambientais produz mudanças preditivas na composição fitoplanctônica (Grover e Chrzanowski, 2006). Em contraste, regiões tropicais exibem pouca variação anual de temperatura e as mudanças sucessionais da comunidade algal é o resultado dos padrões sazonais de precipitação, com diferentes estruturas algais nos período chuvoso e de estiagem (Ibañez, 1998). No Nordeste do Brasil, a estrutura do fitoplâncton pode ser formada pelos mesmos táxons, que apresentam oscilação nos valores de densidade e biomassa ao longo do ano (Huszar et al., 2000; Moura et al., 2007a; 2007b; Dantas et al., 2008).

As condições ambientais em reservatórios tropicais são influenciadas pelos eventos de precipitação que alteram o volume e o nível dos ecossistemas, tendo importância especial na dinâmica do fitoplâncton. Maiores biomassas algais ocorrem quando os níveis dos reservatórios estão baixos, favorecida pela circulação térmica e ressuspensão dos nutrientes (Arfi, 2005).

O papel das chuvas é fundamental na elevação do nível dos ecossistemas, redução na disponibilidade de luz e biomassa algal e no estabelecimento de sucessão de diferentes associações de algas planctônicas (Bouvy et al., 2003; Arfi, 2005; Chellappa et al., 2008; Dantas et al., 2008).

O objetivo deste estudo foi investigar a variação sazonal e espacial das associações fitoplanctônicas em reservatórios eutróficos do Nordeste do Brasil com diferentes profundidades, relacionando-as com as variáveis abióticas. Este estudo testa as seguintes hipóteses: a) o reservatório apresenta padrões térmicos verticais em função da profundidade e que se alteram em função da sazonalidade, sendo menos variáveis em reservatórios tanto rasos como profundos. Espera-se encontrar padrões sazonais bem definidos em reservatórios com profundidade intermediária, com maiores flutuações nos valores de biomassa algal e na estrutura das associações fitoplanctônicas; b) a disponibilidade de luz e nutrientes varia em relação à profundidade e à sazonalidade, refletindo na sucessão da comunidade fitoplanctônica. Espera-se haver maior limitação de luz em reservatórios rasos e de nutrientes em reservatórios profundos, com diferentes associações algais dominando em cada um dos ecossistemas.

5.2. Área de estudo

O estudo foi conduzido em três reservatórios do estado de Pernambuco: Duas Unas e Tapacurá e Jucazinho. Estas áreas apresentam clima pseudotropical quente e úmida, fortemente influenciado pela precipitação, com período chuvoso (março-agosto) e de estiagem (setembro-fevereiro) bem definidas. (Almeida *et al.*, 2009). Conforme acumulado de chuvas nos últimos 30 dias, nas áreas dos reservatórios de Duas Unas e Tapacurá, chuvas atípicas (143 mm) ocorreram em setembro de 2007 e reduzidas precipitações (71 mm) em março de 2008 (INPE, 2009), configurando-se em período chuvoso e seco, para efeito deste estudo.

O reservatório de Duas Unas (8°04'58"S e 35°02'56"W) apresenta uma área de $3,9 \times 10^6 \text{ m}^2$, extensão de 5,2 km e capacidade de acumulação de $23,5 \times 10^6 \text{ m}^3$; O reservatório de Tapacurá (8°02'40"S e 35°11'22"W) possui área de $9,7 \times 10^6 \text{ m}^2$;

extensão de 7,2 km e volume de $94,2 \times 10^6 \text{ m}^3$; O reservatório de Jucazinho apresenta área de $16,0 \times 10^6 \text{ m}^2$, extensão de 15 km e capacidade de acumulação de $327,0 \times 10^6 \text{ m}^3$. Todos estes reservatórios são principalmente utilizados para abastecimento público, servindo aproximadamente 3.350.000 habitantes. Na bacia hidrográfica dos reservatórios de Duas Unas e Tapacurá são encontradas várias áreas utilizadas no cultivo de cana-de-açúcar e trechos de conservação de Mata Atlântica, enquanto que na bacia do reservatório de Jucazinho, são verificadas atividades de agricultura familiar, alternando com vegetação de caatinga, típica de zonas semi-áridas do Nordeste do Brasil (SRH, 2000).

5.3. Material e métodos

As amostragens em cada reservatório foram feitas em intervalos de três meses, durante um ano. As coletas foram iniciadas em março de 2007, nos reservatórios de Duas Unas e Tapacurá e, em maio de 2007, em Jucazinho, sendo concluídas respectivamente nos meses de março de 2008 e maio de 2008. Os pontos amostrais foram caracterizados como raso em Duas Unas ($7,2 \pm 1,7 \text{ m}$), intermediário em Tapacurá ($13,6 \pm 2,2 \text{ m}$) e profundo em Jucazinho ($16,0 \pm 4,2 \text{ m}$).

As amostras de água para determinação das variáveis abióticas e do fitoplâncton foram coletadas em duas profundidades, na subsuperfície (0,1 m) e em profundidade próxima ao fundo (1 m acima do sedimento e caracterizado pela ausência de luminosidade), através de uma garrafa de Van Dorn.

Variáveis abióticas foram medidas *in situ*, por meio de equipamentos de campo, sendo a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), determinada por meio de um oxímetro Schott, Handylab OX1; transparência da água, medida através de disco de Secchi; e profundidade máxima, através de um ecobatímetro. A zona eufótica (Zeu) foi determinada baseada nos procedimentos descritos em Margalef (1983). A zona de mistura (Zmix) foi estimada de acordo com o perfil de temperatura da coluna d'água, sendo igual à profundidade máxima (Zmax) quando não observado gradiente térmico com diferença mínima de $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. Os valores de turbidez (NTU) e o pH da água foram obtidos através de medições no laboratório com um turbidímetro Hanna Instruments, HI 93703 e um potenciômetro Digimed, DMPH-2, respectivamente.

As análises das variáveis abióticas para determinação dos teores de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) foram realizadas seguindo metodologias descritas por Valderrama (1981). As análises do fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e fósforo total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e

ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$), foram feitas adotando-se metodologias descritas em Valderrama (1981) e Strickland e Parsons (1965), respectivamente. Para caracterização dos ecossistemas foi utilizado o índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo *et al.* (1983) para regiões tropicais e calculada a relação atômica NT:PT (Downing e McCauley, 1992).

Amostras de plâncton foram coletadas através de rede com 25 μm abertura de malha e posteriormente preservada em lugol acético (Bicudo e Menezes, 2006), visando o conhecimento da composição fitoplanctônica. A identificação foi realizada até o menor nível hierárquico possível, com uso de literatura especializada, sendo Prescott e Vinyard (1982) e Komárek e Fott (1983) para as clorófitas, Komárek e Anagnostidis (1989; 1999; 2005) e Komárek e Cronberg (2001) para as cianobactérias, Krammer e Lange-Bertalot (1991a, b), para as diatomáceas e Popovský e Pfiester (1990) e John *et al.* (2002), para os fitoflagelados, incluindo dinoflagelados, euglenofíceas e criptofíceas.

Alíquotas de 100 mL ($n = 2$) foram coletadas e preservadas em lugol acético para determinação da densidade fitoplanctônica (ind.mL^{-1}), baseado no método de Utermöhl (Utermöhl, 1958). A biomassa ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) foi estimada utilizando os valores calculados do biovolume celular. Para isto, foi multiplicada a densidade de cada espécie pelo volume médio de suas células considerando as medidas celulares de 30 indivíduos de cada espécie seguindo metodologia de Hillebrand *et al.* (1999). Este procedimento foi feito, sempre quando possível, por amostra de cada um dos reservatórios estudados. Todas as espécies de algas foram reunidas em grupos funcionais, usando os critérios estabelecidos em Reynolds *et al.* (2002) e revisados por Padisák *et al.* (2009).

Análises de variância (ANOVA) foram usadas para testar as diferenças sazonais e verticais das variáveis abióticas e bióticas, considerando $p < 0,05$ usando o programa Statistica 2004 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Análise de correspondência canônica (ACC) foi usada para avaliar as relações entre as associações algais e as variáveis ambientais. Para a análise multivariada, a matriz com dados bióticos foi feita com as associações fitoplanctônicas que apresentaram mais que 5% da biomassa total por período sazonal e as variáveis abióticas, transformadas em $\log(x)$, foram progressivamente reduzidas utilizando o procedimento de seleção *forward* disponível no software Canoco 4.5 (ter Braak e Smilauer, 2002). A significância das variáveis ambientais que explicam a variância

dos dados bióticos ($p < 0,05$) foi testada através do teste de Monte Carlo, com 999 permutações irrestritas.

5.4. Resultados

5.4.1. Diagnóstico abiótico dos reservatórios

Os reservatórios estudados têm águas quentes, acima de 25°C, eutróficas a hipertróficas (IET entre 54,4 e 91,9), e com reduzida relação N:P, inferior a 1,1 (Tabela 1).

As águas do reservatório de Duas Unas apresentaram reduzidas diferenças térmicas verticais ($< 1^\circ\text{C}$) e significativamente mais ácidas ($F=5,32$, $p < 0,05$) e túrbidas ($F=18,69$, $p < 0,01$) no período chuvoso, coincidente com as menores transparências da água. Observou-se elevada concentração de fósforo total ($F=16,91$, $p < 0,01$) e dissolvidos ($F=12,58$, $p < 0,01$) no período de estiagem quando foram verificadas maior zona eufótica e condições hipertróficas (Tabela 1, Figura 1).

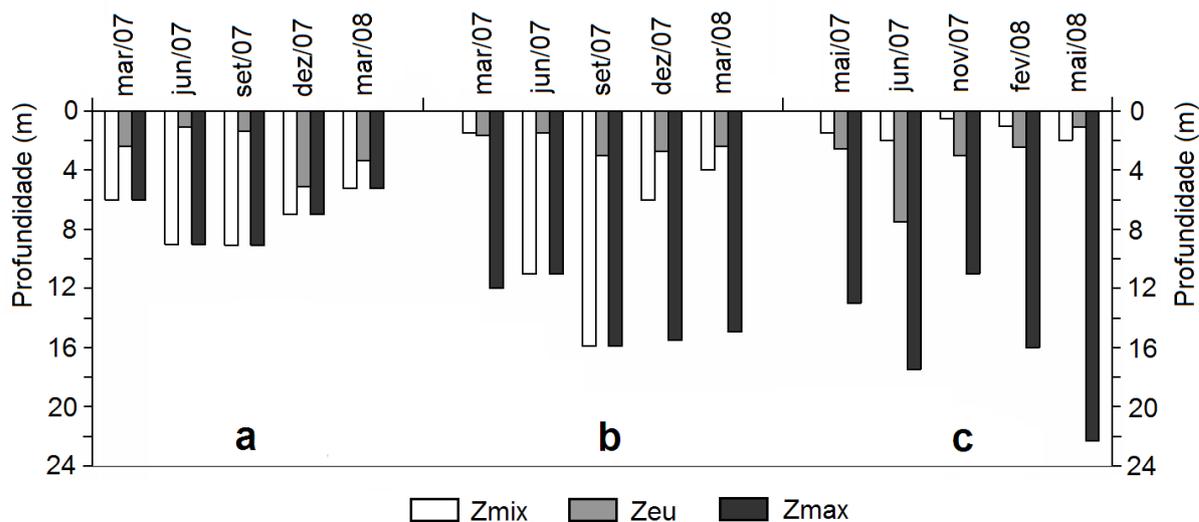


Figura 1: Zona de mistura (Zmix), zona eufótica (Zeu) e profundidade máxima (Zmax) nos reservatórios de Duas Unas (a), Tapacurá (b) e Jucazinho (c), Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008.

Mistura térmica foi verificada em Tapacurá no período chuvoso, quando a coluna d'água esteve oxigenada e túrbida ($F=9,73$, $p < 0,05$). Estratificação térmica foi observada neste reservatório em ambos os períodos sazonais e foi acompanhada de reduzidas concentrações de oxigênio no hipolímnio e aumento dos teores de fósforo, principalmente no período de estiagem. Apesar de maiores valores de transparência da água verificadas no período de estiagem, a zona eufótica foi inferior à zona de mistura (Tabela 1, Figura 1).

Tabela 1. Valores médios (em negrito), mínimo e máximo dos valores de temperatura da água (Temp.), oxigênio dissolvido (O₂ diss.), pH, turbidez, fósforo total (FT), fósforo total dissolvido (FTD), ortofosfato (PO₄), nitrogênio total (NT), relação N:P e índice de estado trófico (IET) nos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá e Jucazinho, estado de Pernambuco, Brasil, em dois períodos sazonais, chuvoso e de estiagem.

Variável	Prof.	Duas Unas		Tapacurá		Jucazinho	
		Período chuvoso	Período de estiagem	Período chuvoso	Período de estiagem	Período chuvoso	Período de estiagem
Temp. (°C)	Sup.	27,8 (26,4-30,1)	29,6 (28,6-30,6)	27,7 (26,4-30,1)	29,9 (29,3-30,5)	28,5 (26,2-30,5)	28,8 (28,1-29,4)
	Fun.	27,3 (26,0-29,6)	29,2 (28,5-29,8)	26,8 (25,6-28,7)	27,7 (27,0-28,4)	27,1 (25,5-28,4)	26,9 (26,6-27,1)
O ₂ diss. (mg.L ⁻¹)	Sup.	5,6 (5,0-6,3)	6,9 (6,6-7,2)	7,3 (5,9-9,7)	7,3 (6,3-8,2)	9,2 (6,4-12,3)	9,1 (8,0-10,1)
	Fun.	4,6 (3,8-6,2)	5,6 (5,0-6,3)	2,1 (0,1-3,5)	0,1 (0,1-0,1)	2,0 (0,2-4,7)	2,0 (0,4-3,5)
pH	Sup.	6,4 (6,1-6,6)	6,9 (6,7-7,0)	7,4 (6,9-8,2)	7,1 (6,8-7,4)	8,1 (7,1-8,7)	8,1 (7,9-8,2)
	Fun.	6,4 (6,1-6,8)	6,7 (6,5-6,9)	6,8 (6,6-7,0)	7,1 (6,9-7,2)	7,7 (7,2-8,2)	8,1 (7,9-8,3)
Turbidez (NTU)	Sup.	720,0 (270,0-1000,0)	8,6 (6,1-11,1)	443,0 (206,0-596,0)	24,5 (21,3-27,7)	92,9 (43,7-129,0)	13,3 (11,9-14,7)
	Fun.	772,0 (370,0-1000,0)	9,5 (7,5-11,5)	250,0 (94,0-363,0)	56,0 (21,0-91,0)	118,6 (20,8-265,0)	7,6 (4,8-10,4)
FT (µg.L ⁻¹)	Sup.	57,6 (41,4-68,0)	518,2 (460,6-575,8)	189,0 (132,0-287,4)	377,6 (133,3-621,8)	702,9 (133,6-1813,7)	137,2 (135,9-138,5)
	Fun.	75,1 (46,6-130,7)	1157,3 (800,3-1514,3)	157,0 (144,9-165,7)	817,2 (223,9-1410,6)	471,3 (107,6-1088,2)	139,1 (137,2-141,0)
FTD (µg.L ⁻¹)	Sup.	15,0 (11,3-18,7)	99,9 (82,3-117,5)	144,7 (103,8-219,1)	210,2 (91,3-329,1)	308,7 (71,1-734,6)	83,2 (57,5-108,8)
	Fun.	15,1 (11,3-22,7)	88,2 (82,3-94,0)	117,3 (90,1-138,8)	435,1 (241,4-628,8)	274,5 (102,9-605,3)	84,4 (57,5-111,3)
PO ₄ (µg.L ⁻¹)	Sup.	20,3 (2,6-36,5)	757,4 (681,7-833,2)	195,3 (132,8-252,1)	159,8 (151,5-168,1)	1144,3 (61,6-3219,0)	204,6 (95,0-314,2)
	Fun.	15,1 (8,7-25,6)	492,3 (416,6-568,1)	200,1 (48,6-354,4)	1892,7 (566,3-3219,0)	1387,7 (43,4-3825,0)	208,3 (116,9-299,6)
NT (µg.L ⁻¹)	Sup.	10,0 (3,2-20,2)	13,2 (10,1-16,2)	18,6 (3,2-29,7)	8,9 (3,5-14,3)	13,1 (3,2-22,2)	6,1 (4,1-8,1)
	Fun.	8,1 (4,1-11,8)	9,5 (8,7-10,3)	18,6 (2,0-30,5)	16,1 (6,7-25,6)	12,2 (8,4-14,8)	5,2 (3,5-7,0)
Relação N:P	Sup.	0,47 (0,11-1,08)	0,06 (0,04-0,08)	0,21 (0,05-0,34)	0,05 (0,05-0,06)	0,15 (0,02-0,30)	0,06 (0,05-0,07)
	Fun.	0,34 (0,07-0,56)	0,02 (0,02-0,02)	0,26 (0,03-0,41)	0,05 (0,04-0,07)	0,14 (0,03-0,27)	0,07 (0,06-0,09)
IET		56,83 (54,39-59,70)	73,25 (73,18-73,31)	66,62 (61,70-72,06)	69,99 (62,30-77,68)	71,37 (57,75-91,95)	62,38 (61,98-62,77)

Águas com pH neutro a alcalinas, assim como condição de estratificação térmica durante todo o estudo foram encontradas no reservatório de Jucazinho, com ocorrência de hipoxia e anoxia no hipolímnio apenas no final do período de estiagem e início do chuvoso. Valores de nitrogênio total ($F=8,11$, $p<0,05$) foram mais elevados no período chuvoso. Maiores valores de fósforo (média entre $670,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $3522,0 \mu\text{g.L}^{-1}$) foram registrados em maio de 2008, coincidindo com a menor zona eufótica (1.05m), sendo o único mês que se apresentou inferior a zona de mistura (Tabela 1, Figura 1).

5.4.2. Caracterização da comunidade fitoplanctônica

Foram identificados 61 táxons no reservatório de Duas Unas, 60 em Jucazinho e 57 para o reservatório de Tapacurá. Vinte e uma associações ocorreram nos ecossistemas, sendo nove clorófitas (**F**, **G**, **J**, **MP**, **N**, **P**, **Td**, **X1** e **X2**), sete cianobactérias (**H1**, **K**, **Lo**, **M**, **MP**, **S1** e **Sn**), cinco diatomáceas (**A**, **C**, **D**, **MP** e **P**) e cinco fitoflagelados (**E**, **Lo**, **W2**, **X2** e **Y**). As associações **G** e **Td** ocorreram apenas em Duas Unas, enquanto as associações **E** e **N** não foram registradas em Tapacurá (Tabela 2).

Menores biomassas fitoplanctônicas ($1,5 \pm 1,6 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$) e diferenças sazonais ($F=6,24$, $p<0,05$) foram registradas no reservatório de Duas Unas (Figura 2, Tabela 3). No período de estiagem, *Anabaena* sp. (**H1**) e *Cylindrospermopsis raciborskii* (**Sn**) e as diatomáceas *Cyclotella meneghiniana* (**C**), *Urosolenia eriensis* (**A**) e *Synedra acus* (**D**) apresentaram maior biomassa relativa (Tabela 2).

No período chuvoso, a comunidade fitoplanctônica em Duas Unas esteve formada especialmente por *Aulacoseira granulata* (**P**), *Melosira varians* (**P**) e *U. eriensis* (**A**), *Anabaena* sp. (**H1**) e *Cryptomonas* sp. (**Y**) e *Cryptomonas ovata* (**Y**) (Tabela 2). Diferenças sazonais foram observadas nas associações **D** ($F=34,53$, $p<0,001$), **J** ($F=10,82$, $p<0,05$), **N** ($F=11,65$, $p<0,05$) e **Sn** ($F=8,24$, $p<0,05$), as quais apresentaram maiores biomassas durante o período de estiagem. A associação **X2** ($F=5,37$, $p<0,05$) apresentou variação vertical neste reservatório, tendo as biomassas mais elevadas na subsuperfície (Tabela 3).

Tabela 2: Biomassa relativa média (%) das espécies fitoplanctônicas nos três reservatórios estudados durante os períodos chuvoso e de estiagem. Legendas: DU = Duas Unas; TAP = Tapacurá; JUC = Jucazinho; PC = período chuvoso; PE = período de estiagem; GF = grupo funcional; + ocorrência inferior a 0,1% da biomassa total; - = não ocorrência.

GF	Espécies	DU		TAP		JUC	
		PC	PE	PC	PE	PC	PE
CYANOPHYTA							
H1	<i>Anabaena</i> sp.	8,9	31,9	-	-	-	-
H1	<i>Anabaena constricta</i> (Szafer) Geitler	-	-	0,2	2,8	1,1	7,6
H1	<i>A. spiroides</i> Klebahn	-	-	-	5,4	-	-
H1	<i>Aphanizomenon</i> sp.	-	-	-	-	-	0,1
K	<i>Aphanocapsa elachista</i> W. West e G.S. West	-	-	-	+	-	-
K	<i>A. incerta</i> (Lemmermann) Cronberg e Komárek	0,1	+	+	0,1	+	+
Lo	<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	0,5	+	0,1	+	+	+
Lo	<i>C. minimus</i> (Keissler) Lemmermann	+	+	+	+	+	+
Lo	<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	+	+	0,2	0,1	+	0,1
Lo	<i>C. turgidus</i> Kützing	-	-	0,2	+	+	0,1
Lo	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	+	+	0,8	3,9	0,2	0,1
Lo	<i>Woronichinia botrys</i> (Skuja) Komárek e Hindák	-	-	13,4	6,2	-	-
M	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	1,1	1,9	45,0	27,7	68,4	2,9
M	<i>M. flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner	-	-	5,9	1,9	8,8	4,7
MP	<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	-	+	4,5	0,9	0,3	3,0
S1	<i>Geitlerinema amphibium</i> (C. Agardh) Anagnostidis	+	+	3,0	5,2	2,9	12,3
S1	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis e Komárek	-	-	1,2	-	3,2	6,9
S1	<i>P. limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	-	-	-	1,6	0,9	3,8
Sn	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenaya e Subba Raju	1,3	13,6	18,8	15,4	6,3	37,2
Sn	<i>Raphidiopsis mediterranea</i> Skuja	-	-	0,2	1,3	0,1	0,9
CHLOROPHYTA							
F	<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	-	-	0,1	0,7	0,1	0,4
F	<i>B. protuberans</i> W. West e G. S. West	-	+	-	0,1	+	-
F	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli	+	-	+	0,4	-	-
F	<i>D. pulchellum</i> H. C. Wood	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F	<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) K. Möbius	+	+	+	+	+	+
F	<i>K. obesa</i> (G.S. West) Schmidle	0,1	+	0,1	+	+	+
F	<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	-	-	+	0,2	-	-
F	<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli	+	-	-	-	-	-
F	<i>Oocystis</i> sp.	-	-	-	-	-	+
F	<i>Quadrigula chodatii</i> (Tanner-Füllemann) G.M. Smith	-	+	-	-	-	-
F	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	0,2	0,4	-	-	-	-
G	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	1,3	0,2	-	-	-	-
J	<i>Actinastrum gracillimum</i> Smith	-	+	+	-	+	+
J	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	-	-	1,3	1,6	0,1	0,3
J	<i>C. reticulatum</i> (P.A. Dangeard) Senn	-	-	-	0,3	-	-
J	<i>Crucigenia fenestrata</i> (Schmindle) Schmindle	-	+	-	-	-	-
J	<i>C. quadrata</i> Morren	-	+	-	-	-	-
J	<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	+	+	-	+	-	-
J	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	-	-	0,1	+	+	+
J	<i>S. acutus</i> Meyen	-	-	-	-	+	+
J	<i>S. ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	-	+	-	-	-	-
J	<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brébisson ex Ralfs	-	-	0,2	-	+	0,2
J	<i>Tetraedron minimum</i> (A. Braun) Hansgirg	-	-	0,9	0,3	-	0,2
J	<i>T. triangulare</i> (Chodat) Komárek	-	-	-	-	-	+
J	<i>Tetrastrum elegans</i> Playfair	-	-	+	-	-	-
J	<i>T. heteracanthum</i> (Nordstedt) Chodat	-	-	0,1	+	-	-

Tabela 2: Continuação...

GF	Espécies	DU		TAP		JUC	
		PC	PE	PC	PE	PC	PE
MP	<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Meneghini	0,3	0,2	-	-	-	0,3
N	<i>Staurastrum leptocladum</i> L.N. Johnson	1,6	1,8	-	-	-	-
N	<i>Staurodesmus</i> sp.	-	-	-	-	-	1,9
P	<i>Closterium acutum</i> Brébisson ex Ralfs	0,2	0,2	-	-	+	0,1
P	<i>C. parvulum</i> Nägeli	2,4	-	-	-	-	-
P	<i>Closterium</i> sp.	-	-	-	-	-	0,2
Td	<i>Oedogonium</i> sp.	0,7	-	-	-	-	-
X1	<i>Ankyra judayi</i> (G. M. Smith) Fott	0,4	+	+	+	-	+
X1	<i>Chlorella</i> sp.	+	+	0,2	+	+	0,2
X1	<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korsikov) Hindák	-	-	+	-	+	0,1
X1	<i>M. contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	+	+	0,1	0,2	+	+
X1	<i>M. griffithii</i> (Berkel) Komárková-Legnerová	+	+	+	+	+	0,1
X1	<i>Schroederia indica</i> Philipose	0,1	+	0,1	+	-	-
X1	<i>S. nitzschoides</i> (G. S. West) Korsikov	-	-	-	-	-	+
X1	<i>S. spiralis</i> (Printz) Korsikov	+	+	-	-	-	-
X2	<i>Chlamydomonas</i> sp.	0,1	+	0,3	-	+	+
BACILLARIOPHYTA							
A	<i>Acanthoceras</i> sp.	-	-	-	-	-	0,2
A	<i>Discotella stelligera</i> Cleve e Grunow	0,2	0,9	0,1	0,1	0,1	0,3
A	<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L. Smith) F.E. Round e R.M. Crawford	22,4	10,4	-	-	-	-
A	<i>U. longiseta</i> (Zacharias) Bukhtiyarova	0,9	3,0	+	-	-	-
C	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	2,0	20,7	1,6	1,1	3,0	11,3
D	<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann	-	-	-	0,3	0,1	1,6
D	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	0,1	+	1,5	-	0,4	0,5
D	<i>Nitzschia paleaeformis</i> Hustedt	+	-	-	-	+	0,4
D	<i>Synedra acus</i> Kützing	0,5	7,2	-	21,5	-	1,4
D	<i>S. rumpens</i> Kützing	+	0,1	0,3	0,2	0,1	0,9
MP	<i>Achnanthes</i> sp.	-	-	-	-	+	-
MP	<i>Actinella brasiliensis</i> Grunow	-	-	+	-	-	-
MP	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	0,4
MP	<i>Eunotia</i> sp.	+	-	-	-	-	-
MP	<i>Frustulia</i> sp.	0,8	-	-	-	-	-
MP	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	0,2	-	-	-	-	-
MP	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Grunow	0,1	-	-	-	-	-
P	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	25,0	2,9	4,0	7,2	0,1	1,7
P	<i>Melosira varians</i> C. Agardh	11,9	0,4	-	-	0,1	-
FITOFLAGELADOS							
E	<i>Dinobryon</i> sp.	0,8	0,1	-	-	-	-
E	<i>Malomonas</i> sp.	0,8	0,2	-	-	+	0,1
Lo	<i>Peridinium</i> sp.	-	-	-	-	0,1	2,5
W2	<i>Trachelomonas caudata</i> (Ehrenberg) F. Stein	0,6	-	-	-	-	-
W2	<i>T. oblonga</i> Ehrenberg	-	0,4	+	0,2	0,2	2,4
W2	<i>T. volvocina</i> Ehrenberg	3,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,5
W2	<i>T. volvocinopsis</i> Svireenko	0,7	0,7	-	0,4	-	-
Y	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	5,5	1,9	0,6	0,7	0,9	1,5
Y	<i>Cryptomonas</i> sp.	6,6	1,0	0,3	-	1,1	1,2
Y	<i>Gymnodinium</i> sp.	0,2	-	0,1	-	3,1	-
X2	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher e Ruttner	1,4	0,6	0,8	0,2	0,3	0,1
OUTRAS ALGAS							
?	<i>Centritractus</i> sp.	0,1	0,4	-	-	-	-

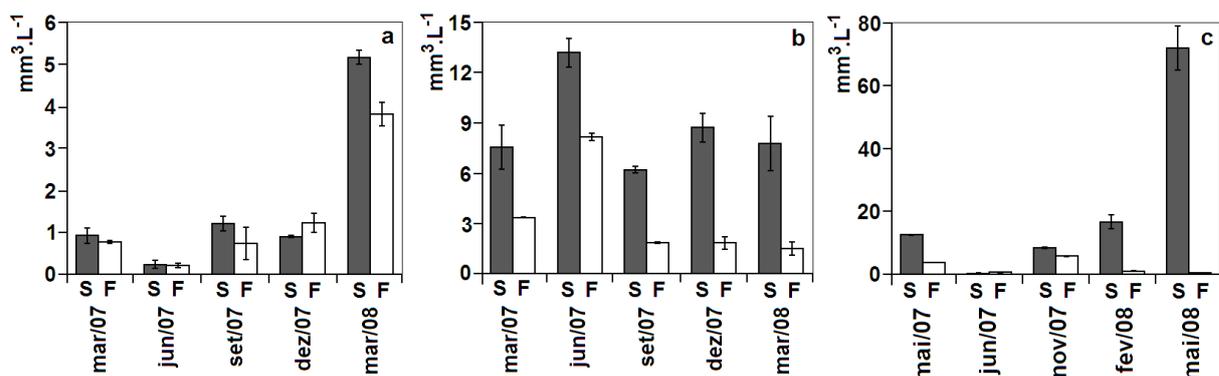


Figura 2: Variação da biomassa fitoplancônica ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) nos reservatórios de Duas Unas (a), Tapacurá (b) e Jucazinho (c), Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008. Legendas: S = superfície; F = fundo.

Tabela 3: Valores médios da biomassa ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) dos grupos funcionais registrados nos três reservatórios estudados durante os períodos chuvoso e de estiagem. Legendas: GF = grupo funcional; S = superfície; F = fundo; + = ocorrência inferior a $0,01 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$; - = não ocorrência da associação. Valores em negrito = média acima de 5% da biomassa total.

GF	Duas Unas				Tapacurá				Jucazinho			
	Chuvoso		Estiagem		Chuvoso		Estiagem		Chuvoso		Estiagem	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
A	0.19	0.13	0.37	0.42	+	0.01	+	+	0.03	+	0.02	0.04
C	+	0.02	0.67	0.47	0.09	0.13	0.08	0.03	0.63	0.26	1.38	0.43
D	+	+	0.18	0.22	0.14	0.12	1.93	0.23	0.11	0.08	0.68	0.08
E	0.01	0.01	0.01	+	-	-	-	-	-	+	-	+
F	+	+	0.01	0.01	0.02	0.02	0.11	0.02	0.04	0.01	0.01	0.04
G	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
H1	0.06	0.06	1.07	0.70	-	0.02	0.41	-	0.26	0.07	1.14	0.09
J	-	-	+	+	0.18	0.16	0.17	0.03	-	0.01	0.07	0.02
K	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lo	+	+	+	+	0.97	0.11	0.34	0.36	0.04	0.07	0.22	0.02
M	-	+	0.05	-	4.81	2.03	2.50	0.43	22.99	0.12	0.80	0.04
MP	+	+	+	+	0.40	0.21	0.08	+	0.08	0.02	0.44	0.09
N	-	0.01	0.03	0.07	-	-	-	-	-	-	0.15	-
P	0.25	0.13	0.09	0.08	0.37	0.17	0.61	0.11	+	0.01	0.23	0.09
S1	+	+	+	+	0.34	0.24	0.50	0.18	1.55	0.52	2.21	0.92
Sn	+	+	0.38	0.38	1.43	1.13	1.35	0.23	1.50	0.39	4.65	1.46
Td	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W2	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.24	0.03
X1	+	+	+	+	0.03	0.02	0.02	+	0.01	+	0.04	0.01
X2	0.01	+	0.02	0.01	0.10	0.05	0.02	+	0.09	+	0.01	+
Y	0.09	0.07	0.09	0.07	0.09	0.01	0.07	+	0.89	+	0.29	0.06
Total	0.79	0.58	3.03	2.51	8.97	4.45	8.23	1.67	28.28	1.64	12.61	3.44

A biomassa algal no reservatório de Tapacurá variou entre $1,5 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ e $13,2 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ (Figura 2). Diferenças verticais foram encontradas ($F=9,57$, $p<0,05$) no comportamento da biomassa neste ecossistema, sendo em média 2,8 vezes mais elevados na subsuperfície que próximo ao sedimento (Tabela 3). *Microcystis aeruginosa* (**M**), *C. raciborskii* (**Sn**) e *Woronichinia botrys* (**Lo**) apresentaram as mais elevadas biomassas durante todo o estudo. Diferenças sazonais foram marcadas pela maior biomassa relativa de *Microcystis flos-aquae* (**M**) no período chuvoso e de *Anabaena spiroides* (**H1**), *Geitlerinema amphibium* (**S1**), *A. granulata* (**P**) e *Synedra acus* (**D**) no período de estiagem (Tabela 2).

As maiores biomassas fitoplanctônicas foram registradas no reservatório de Jucazinho ($12,2 \pm 21,7 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$). Elevado desvio padrão foi verificado entre os meses de estudo, com biomassa variando de $0,4 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ a $71,8 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$. Não foi verificada variação sazonal e vertical nos valores de biomassa algal neste ecossistema ($p>0,05$). Ao longo do estudo, a comunidade fitoplanctônica esteve composta por cianobactérias filamentosas (associações **Sn**, **S1** e **H1**) e diatomáceas cêntricas (associação **C**). Estas associações apresentaram maior biomassa relativa durante o período de estiagem (Tabela 2). Floração de *M. aeruginosa* e *M. flos-aquae*, ambas pertencentes à associação **M**, foram verificados apenas no mês de maio de 2008, quando apresentaram mais que 80% da biomassa total.

5.4.3. Análise integrada dos fatores abióticos e bióticos

A análise de correspondência canônica é apresentada na Figura 3 e Tabela 4. O teste de Monte Carlo foi significativo ($p<0,05$), havendo relação entre as variáveis abióticas e biomassas.

A ACC mostrou que profundidade, ortofosfato e nitrogênio total foram as principais variáveis determinantes na separação das unidades amostrais no eixo 1. Estas contribuíram para diferenciar o reservatório com menor profundidade dos outros mais profundos. As associações **A**, **C**, **D** e **H1** apresentaram relação com unidades amostrais de menor profundidade, sendo abundantes no reservatório de Duas Unas. O contrário foi verificado para as associações **Lo** e **M**, presentes especialmente nos reservatórios de Tapacurá e Jucazinho.

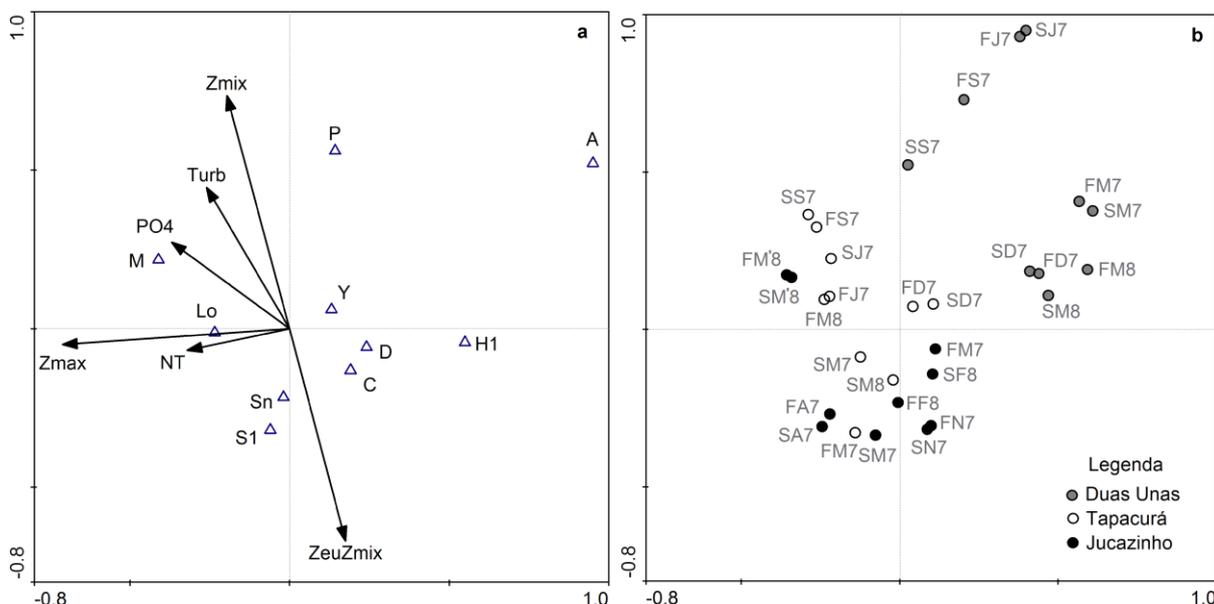


Figura 3: Ordenação da ACC entre as principais associações algais e as variáveis abióticas significativas em três reservatórios do estado de Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008. Legendas: NT = nitrogênio total; PO4 = ortofosfato; Turb = turbidez; ZeuZmix = relação zona eufótica:zona de mistura; Zmax = profundidade máxima; Zmix = zona de mistura. As unidades amostrais são identificadas com a profundidade (S = superfície; F = fundo), letra do mês (A = agosto; D = dezembro; F = fevereiro; J = junho; M = março; M' = maio; N = novembro; S = setembro) e o número do ano correspondente (7 = 2007; 8 = 2008).

Tabela 4: Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as associações fitoplanctônicas e variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios de Duas Unas, Tapacurá e Jucazinho, estado de Pernambuco, Brasil, no período entre março de 2007 e maio de 2008.

	Eixo 1	Eixo 2
Eigenvalues	0.306	0.195
Variância acumulada dos dados bióticos (%)	22.8	37.2
Variância acumulada da relação associação-ambiente (%)	45.8	74.9
Correlação associação-ambiente	0.893	0.820
Teste de Monte Carlo		
Significância do primeiro eixo canônico – p	0.001	
Significância de todos os eixos canônicos – p	0.001	
	Coeficiente canônico	
	Eixo 1	Eixo 2
Zona de mistura (Zmix)	-0.18	0.60
Zeu/Zmix	0.16	-0.55
Profundidade máxima (Zmax)	-0.64	-0.04
Turbidez (Turb)	-0.23	0.37
Ortofosfato (PO4)	-0.33	0.22
Nitrogênio total (NT)	-0.29	-0.06
	Correlação Intra-set	
	Eixo 1	Eixo 2
Zona de mistura (Zmix)	-0.20	0.73
Zeu/Zmix	0.17	-0.67
Profundidade máxima (Zmax)	-0.71	-0.05
Turbidez (Turb)	-0.26	0.44
Ortofosfato (PO4)	-0.37	0.27
Nitrogênio total (NT)	-0.32	-0.06

A zona de mistura, turbidez e disponibilidade de luz foram as variáveis que mais estiveram relacionadas ao eixo 2, contribuindo para a variação nos padrões temporais. Em Duas Unas, ecossistema mais raso, e, onde a mistura foi frequente ao longo de todo o ano, a redução na disponibilidade de luz e elevação dos valores de turbidez, por ocasião das chuvas, interferiu na sucessão da comunidade fitoplanctônica, havendo substituição de cianobactérias filamentosas **H1** e **Sn** e diatomáceas **C** e **D**, por diatomáceas **A** e **P**.

O mesmo pode ser verificado para o reservatório de Jucazinho, mais profundo e onde a estratificação térmica foi presente durante todo o ano. Neste caso, a redução na disponibilidade de luz observada apenas em um mês de coleta foi capaz de produzir mudança na estrutura fitoplanctônica, onde associações de cianobactérias filamentosas **S1** e **Sn** e de diatomáceas cêntricas **C** foram substituídas por cianobactérias cocoides **M**.

Em Tapacurá, ecossistema de profundidade intermediária, o aumento da zona de mistura e dos valores de turbidez, por ocasião das chuvas, limitou a disponibilidade de luz epilimnética, o que contribuiu para elevação nos valores de biomassa de táxons pertencentes à associação **M**.

5.5. Discussão

A análise da dinâmica temporal da biomassa fitoplanctônica no reservatório raso de Duas Unas mostrou haver relação com a sazonalidade. Neste ecossistema, as biomassas algais foram mais baixas durante o período chuvoso, sendo acompanhada de mudança na estrutura da comunidade no período de estiagem. Em comparação com lagos subtropicais rasos e eutróficos (Rücker et al., 1997; Honti et al., 2007) e outros reservatórios rasos tropicais de mesmo estado trófico (Huszar et al., 2000; Crossetti e Bicudo, 2008), os valores de biomassa em Duas Unas foram inferiores.

Conforme Huszar et al. (1998), dependendo do critério usado, um mesmo ecossistema pode apresentar problemas na interpretação do estado trófico e as associações algais podem ser importantes para resoluções de problemas desta natureza, uma vez que, as espécies indicam uma complexidade de processos do sistema. As associações algais observadas pelos referidos autores foram formadas especialmente por cianobactérias filamentosas (**S**) ou cocoides (**M**), típicas de condições eutróficas. Em Duas Unas, as diatomáceas **A** e cianobactérias **H1**,

principais associações ao longo do ciclo sazonal, apresentam características que se relacionam a melhor qualidade da água (Hajnal e Padisák, 2008).

A associação **A** é frequentemente reportada em ambientes oligotróficos (Anneville et al., 2005) ou em períodos instáveis da coluna d'água (Silva et al., 2005), fatores que certamente influenciaram o sucesso desta associação no reservatório de Duas Unas. A floração de cianobactérias **H1** em lagos hipertróficos rasos temperados é comum nos meses mais quentes do ano (Çelik e Ongun, 2008), pois são bem adaptadas as condições de reduzida luminosidade sub-aquática. A habilidade de fixar nitrogênio pelos heterócitos, além da presença de aerótopos e de bainha mucilaginosa, confere às espécies desta associação a capacidade de sobreviver em ecossistemas limitados por nitrogênio e com boa disponibilidade de fósforo (Reynolds et al., 2002), mantendo seus filamentos na camada eufótica por um longo tempo (Borges et al., 2008).

Baixos valores de biomassa foram verificados no reservatório raso eutrófico de Juturnaíba (Marinho e Huszar, 2002), no entanto, as mais altas biomassas foram verificadas no período chuvoso, quando associações de cianobactérias **M**, **H1** e **Sn** foram abundantes. Estas associações, exceto **M**, foram as que mais contribuíram com a biomassa durante o período de estiagem no reservatório de Duas Unas. Neste ecossistema, o período chuvoso apresentou os menores valores de biomassa do ciclo sazonal e foi caracterizada pela ocorrência das diatomáceas *A. granulata* (**P**), *M. varians* (**P**) e *U. eriensis* (**A**), da cianobactéria *Anabaena* sp. (**H1**) e dos fitoflagelados *Cryptomonas* sp. (**Y**) e *C. ovata* (**Y**). Todas estas associações apresentam habilidade de se desenvolver em ecossistemas rasos e misturados como Duas Unas.

Em Jucazinho, sistema profundo, houve estratificação térmica durante todo o ciclo sazonal. Foi verificado grande desvio padrão nos valores de biomassa, sendo a dinâmica algal relacionada com a variação de profundidade e da camada eufótica. A primeira é entendida pela entrada de água por ocasião da chuva, a qual não foi suficiente para produzir circulação térmica, mas que certamente carregaram nutrientes que foram utilizados pelos organismos.

Apesar da variação nos valores de biomassa, a estrutura fitoplanctônica no reservatório de Jucazinho manteve-se formada por cianobactérias **S1** (*G. amphibium* e *P. agardhii*), **Sn** (*C. raciborskii*) e **H1** (*A. constricta*) e diatomáceas **C** (*C. meneghiniana*). No período chuvoso em maio de 2008, quando houve mudança na relação Zeu/Zmix com limitação de luz no epilímnio, estas associações foram

substituídas por *M. aeruginosa* (**M**) que apresentou as maiores biomassas do ciclo sazonal ($>70 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$).

A estratificação térmica afeta o comportamento ótico e de nutrientes no ecossistema e condiciona o aparecimento de cianobactérias, mais adaptadas a estas condições (Pennard et al., 2008), ou de pequenas diatomáceas (Winder et al., 2009), ratificando o encontrado em Jucazinho.

As condições verificadas no reservatório de Jucazinho são contrárias às encontradas na literatura que justificam a ocorrência de associações **S1**. Em lagos profundos, a ocorrência de cianobactérias filamentosas **S1**, como *P. agardhii*, é típica de camadas misturadas túrbidas com forte deficiência de luz e são frequentemente acompanhadas por *C. raciborskii* (**Sn**) e *Aphanizomenon gracile* (Lemmermann) Lemmermann (**H1**). *P. agardhii*, é mais bem sucedida em ecossistemas misturados rasos (Nixdorf et al. 2003). O comportamento da associação **S1** é citado por diversos autores que atribuem seu sucesso a condições de zona eufótica menor que zona de mistura (Melo e Huszar, 2000; Burford e O'Donohue, 2006; Babanazarova e Lyashenko, 2007; Naselli-Flores e Barone, 2007). No presente estudo, a camada epilimnética foi pequena ($< 2 \text{ m}$) e a zona eufótica foi maior que a zona de mistura durante os meses em que **S1** apresentou elevada abundância relativa. Morabito et al. (2003) estudando um lago subalpino profundo encontrou associações **S1** em grande abundância durante a estratificação quando a zona de mistura encontrava-se profunda ($> 8 \text{ m}$).

Diversos estudos realizados tanto em ecossistemas tropicais e subtropicais concordam com o posicionamento da espécie *C. raciborskii*, incluída dentro da associação **Sn** por Padisák e Reynolds (1998), em razão de sua similaridade ecológica com as Oscillatoriales. A associação **Sn** é encontrada em camadas misturadas e quentes e é comumente citada para ecossistemas rasos (Bouvy et al., 2000; Huszar et al., 2000; Mischke, 2003; Stoyneva, 2003; Vardaka et al., 2005; Burford e O'Donohue, 2006; Moura et al., 2007a). Por outro lado, McGregor e Fabbro (2000) realizando estudos em reservatórios tropicais e subtropicais australianos encontraram que a maior abundância de *C. raciborskii* foi observada em ecossistemas profundos ($>15\text{m}$) fortemente estratificados. Para estes autores, esta espécie comumente forma associações com Oscillatoriales, especialmente com representantes das Pseudanabaenaceae, em condições de estratificação.

As diatomáceas **C** apresentaram-se bem adaptados as condições de habitat verificadas no reservatório de Jucazinho. Conforme Winder et al. (2009), a

estratificação e a redução da relação N:P selecionam diatomáceas pequenas como as do gênero *Cyclotella*. Este táxon abrange representantes de três associações diferentes (Padisák et al., 2009), sendo as do trabalho de Winder *et al.*, reunidas em associações **A** e **B**. A classe de tamanho de *C. meneghiniana* é intermediária entre 15µm e 40µm e, de acordo com Winder et al. (2009) não apresenta correlação com a estratificação.

Por outro lado, a associação **C** foi relatada como sensível ao início da estratificação em um lago raso alemão (Wilhelm e Adrian, 2008), ou em ecossistemas misturados com baixa luminosidade subaquática, em associação com cianobactérias filamentosas (**S1**) em um lago raso eutrófico russo (Babanazarova e Lyashenko, 2007). No presente estudo, as condições de mistura, verificadas no reservatório raso de Duas Unas, condicionaram a ocorrência da associação **C** durante os meses com maiores temperaturas da água e disponibilidade de fósforo sem, contudo associarem-se a cianobactérias **S1**. Conforme Reynolds et al. (2002) a associação **C** apresenta sensibilidade a estratificação e, desta forma, não tinha condições de ser abundante no reservatório de Jucazinho.

A modificação da estrutura fitoplanctônica em Jucazinho ocorreu quando houve elevação nas concentrações de nutrientes, por ocasião das chuvas verificadas em maio de 2008. Marinho e Huszar (2002) verificaram que o aumento da concentração de nutrientes no reservatório de Juturnaíba, Sudeste do Brasil, especialmente nitrogênio, favoreceu o desenvolvimento de associação **M**, em vez das associações **Sn** e **H1**.

A associação **M** apresentou abundância elevada em lagos rasos e reservatórios eutróficos europeus, ocorrendo durante o período de águas quentes e com reduzida camada eufótica (Naselli-Flores e Barone, 2003; Babanazarova e Lyashenko, 2007; Çelik e Ongun, 2008). Em reservatórios tropicais rasos no Brasil, a estratificação, a redução da transparência e das concentrações de oxigênio no hipolímnio e aumento no pH são reportados como diagnósticos na elevação da biomassa de espécies desta associação (Marinho e Huszar, 2002; Crossetti e Bicudo, 2008; Fonseca e Bicudo, 2008). Embora ocorrendo, no presente estudo, em ecossistemas com profundidade mais elevada, as condições ambientais são semelhantes aos encontrados pelos diferentes autores em outras regiões, confirmando o posicionamento desta associação em reservatórios tropicais.

Em Tapacurá, ecossistema de profundidade intermediária, houve variação no comportamento térmico ao longo dos meses do ano, sendo identificados períodos de

estratificação e mistura térmica. No entanto, isso não contribuiu para haver variação sazonal na estrutura e no comportamento da biomassa fitoplanctônica e as associações de cianobactérias **Lo**, **M** e **Sn** predominaram durante todo o ano. A deficiência de luz no epilímnio, presente em todo o ciclo sazonal certamente contribuiu para o sucesso destas algas.

A sazonalidade no reservatório de Tapacurá influenciou na elevação da biomassa e da abundância relativa da associação **M** durante o período chuvoso. As associações **Lo** e **M**, formadas por espécies coloniais envoltas por mucilagem, são capazes de regular sua flutuabilidade durante fases de estratificação e mistura (Fonseca e Bicudo, 2008), enquanto a espécie da associação **Sn** é reconhecidamente adaptada à limitação de luz (Padisák e Reynolds, 1998). Isto certamente contribuiu para as diferenças verticais observadas durante todo o estudo em Tapacurá. As condições observadas neste ecossistema estão em consonância com a literatura para a ocorrência da associação **Sn** (Padisák et al., 2009) e, certamente a profundidade é um fator limitante para a consolidação desta associação em reservatórios tropicais.

A partir dos resultados encontrados neste estudo, o modelo das associações fitoplanctônicas funcionou muito bem em ecossistemas tropicais rasos, onde os efeitos da sazonalidade são evidentes no comportamento da biomassa algal e nas mudanças estruturais do fitoplâncton. Embora determinada pela sazonalidade, a mudança do comportamento térmico em ecossistemas com profundidade intermediária não influenciou no padrão de biomassa e reestruturação da comunidade fitoplanctônica. A sazonalidade não contribuiu diretamente na dinâmica do fitoplâncton em reservatórios profundos e divergências quanto ao uso das associações algais foram verificadas.

A profundidade do ecossistema parece ter forte influência no comportamento das associações fitoplanctônicas em reservatórios tropicais eutróficos enquanto que a sazonalidade interferiu especialmente nos lagos rasos. As variações no comportamento da camada eufótica causam mudanças de estrutura fitoplactônica nos reservatórios de Pernambuco.

As associações **A** e **H1** apresentaram maiores abundâncias em reservatórios rasos e com maior zona eufótica, enquanto que a **M** esteve mais relacionada a lagos profundos e com boa disponibilidade de nutrientes. As associações **C**, **S1** e **Sn** apresentaram comportamentos diferentes nos ecossistemas rasos e profundos. As **C** e **Sn** ocorreram em ecossistemas rasos com mistura térmica, apresentando

variação sazonal evidente, nos meses com maiores temperaturas da água. Por outro lado também ocorreram em ecossistemas profundos e estratificados, sem haver variação determinada pela sazonalidade. A associação **S1** foi mais relacionada com ambientes profundos, ocorrendo em condição de estratificação e com boa disponibilidade de luz no epilímnio.

O reservatório de Tapacurá apresentou características que corresponderam com as da literatura para a ocorrência da associação **Sn**. As condições apresentadas em Jucazinho podem refletir um padrão de distribuição da associação **C**, **S1** e **Sn** em ecossistemas tropicais profundos que diferem dos subtropicais, onde a substituição pode estar relacionada à redução da camada eufótica em vez da zona de mistura.

O presente estudo confirma a importância das associações fitoplanctônicas como indicador das condições ambientais em reservatórios tropicais de diferentes profundidades.

5.6. Referências

- Almeida, V.L.S., Dantas, E.W., Melo-Júnior, M., Bittencourt-Oliveira, M.C., Moura A.N., 2009. Zooplanktonic community of six reservoirs in northeast Brazil. *Braz. J. Biol.* 69(1), 57-65.
- Anneville, O., Gammeter, S., Straile, D., 2005. Phosphorus decrease and climate variability: Mediators of synchrony in phytoplankton changes among European peri-alpine lakes. *Freshw. Biol.* 50, 1731–1746.
- Arfi, R., 2005. Seasonal ecological changes and water level variations in the Sélingué Reservoir (Mali, West Africa). *Phys. Chem. Earth* 30, 432-441.
- Babanazarova, O.V., Lyashenko, O.A., 2007. Inferring longterm changes in the physical–chemical environment of the shallow, enriched Lake Nero from statistical and functional analyses of its phytoplankton. *J. Plankton Res.* 29, 747–756.
- Bicudo, C.E.M., Menezes, M., 2006. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições, 2 ed. Rima, São Carlos.
- Borges, P.A.F., Train, S., Rodrigues, L.C., 2008. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. *Hydrobiologia* 607, 63-74.

Bouvy, M.A., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M., Moura, A., 2000. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquat. Microb. Ecol.*, 23, 13-27.

Bouvy, M.A., Nascimento, S.M., Molica, R.J.R., Ferreira, A. 2003. Limnological features in Tapacurá (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia* 493, 115-130.

ter Braak, C.J.F., Smilauer, P., 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York.

Burford, M.A., O'Donohue, M.J. 2006. A comparison of phytoplankton community assemblages in artificially and naturally mixed subtropical water reservoirs. *Freshw. Biol.* 51, 2143–2153.

Çelik, K., Ongun, T., 2008. Spatial and temporal dynamics of the steady-state phytoplankton assemblages in a temperate shallow hypertrophic lake (Lake Manyas, Turkey). *Limnology* 9, 115–123.

Chellappa, N.T., Borba, J.M., Rocha, O., 2008. Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. *Braz. J. Biol.* 68(3), 477-494.

Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M., 2008. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garças pond): the assemblage index application. *Hydrobiologia* 610, 161-173.

Dantas, E.W., Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Arruda-Neto, J.D.T., Cavalcanti, A.D.C., 2008. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Bot. Brasil.* 22(4), 970-982.

Dellamano-Oliveira, M.J., Senna, P.A.C., Tanigushi, G.M., 2003. Limnological characteristics and seasonal changes in density of the phytoplanktonic community at the Caçó pond, Maranhão state, Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 46(4), 641-651.

Downing, J.A., Mccauley, E., 1992. The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 37, 936-945.

Fonseca, B.M., Bicudo, C.E.M., 2008. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia* 600, 267–282.

Grover, J.P., Chrzanowski, T.H., 2006. Seasonal dynamics of phytoplankton in two warm temperate reservoir: association of taxonomic composition with temperature. *J. Plankton Res.* 28(1), 1-17.

Hajnal, É., Padisák, J., 2008. Analysis of long-term ecological status of Lake Balaton based on the ALMOBAL phytoplankton database. *Hydrobiologia* 599, 227–237.

Hillebrand, H., Dürselen, C., Kirschtel, D., Pollinger, U., Zohary, T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35, 403-424.

Honti, M., Istvánovics, V., Osztoics, A., 2007. Stability and change of phytoplankton communities in a highly dynamic environment – the case of large, shallow lake Balaton (Hungary). *Hydrobiologia* 581, 225-240.

Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Domingos, P., Marinho, M., Melo, S., 1998. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia* 369/370, 59-71.

Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Marinho, M., Domingos, P., Sant'Anna, C.L., 2000. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia* 424, 67-77.

Ibañez, M.S.R., 1998. Phytoplankton composition and abundance of a central Amazonian floodplain lake. *Hydrobiologia* 362, 79-83.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp. Acesso em: 21 de abril de 2009.

John, D.M., Whitton, B.A., Brook, A.J., 2002. The freshwater algal flora of the British Isles. Cambridge University Press, Cambridge.

Komárek, J., Anagnostidis, K., 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 4: Nostocales. *Algol. Stud.*, 56, 247-345.

Komárek, J., Anagnostidis, K., 1999. Cyanoprokayota 1. In: Ettl, H., Gartner, G., Heyning, H., Mollenhauer, D. (Eds) Chroococcales. *Subwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer, Stuttgart.

Komárek, J., Anagnostidis, K., 2005. Cyanoprokayota 2. In: Bridel, B., Krienitz, L., Gartner, G., Schargerl, M. (Eds) Oscillatoriales. *Subwasserflora von Mitteleuropa*. Elsevier GmbH, München.

Komárek, J., Cronberg, G., 2001. Some Chroococcalean and Oscillatorialen Cyanoprokaryotes from southern African lakes, ponds and pools. *Nova Hedwigia* 73, 129-160.

Komárek, J., Fott, B., 1983. Chlorophyceae: Chlorococcales. Begründent von August Thienemann, Stuttgart.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991a. Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, SEMPER BONIS ARTIBUS.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991b. Bacillariophyceae, 4. Teil: Achananthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) and *Gomphonema* Gesamthitratverzeichnis Teil 1-4, SEMPER BONIS ARTIBUS.

Margalef, R., 1983. *Limnologia*. Omega, Barcelona.

Marinho, M.M., Huszar, V.L.M., 2002. Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). *Arch. Hydrobiol.* 153(3), 443-468.

McGregor, G.B., Fabbro, L.D., 2000. Dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanoprokaryota) in Queensland tropical and subtropical reservoirs: implications for monitoring and management. *Lakes Reserv. Res. Manag.* 5, 195-205.

Melo, S., Huszar V.L.M., 2000. Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brazil): diel variation and species strategies. *J. Plankton Res.* 22(1), 63-76.

Mischke, U., 2003. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecol.* 24, s11-s23.

Morabito, G., Oggioni, A., Panzani, P., 2003. Phytoplankton assemblage at equilibrium in large and deep subalpine lakes: A case study from Lago Maggiore (N. Italy). *Hydrobiologia* 502, 37–48.

Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Dantas, E.W., Arruda-Neto, J.D.T., 2007a. Phytoplanktonic Associations: A Tool to Understand Dominance Events in a Tropical Brazilian Reservoir. *Acta Bot. Brasil.* 21(3), 641-648.

Moura, A.N., Dantas, E.W., Bittencourt-Oliveira, M.C., 2007b. Structure of the phytoplankton in a water supply system in the state of Pernambuco – Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 50(4), 645-654.

Nabout, J.C., Nogueira, I.S., Oliveira, I.G., 2006. Phytoplankton community of floodplain lakes of the Araguaia River, Brazil, in the rainy and dry seasons. *J. Plankton Res.* 28(2), 181–193.

Naselli-Flores, L., Barone, R., 2003. Steady-state assemblages in a Mediterranean hypertrophic reservoir. The role of *Microcystis* ecomorphological variability in maintaining an apparent equilibrium. *Hydrobiologia* 502, 133-143.

Naselli-Flores, L., Barone, R., 2007. Pluriannual morphological variability of phytoplankton in a highly productive Mediterranean reservoir (lake Arancio, Southwestern Sicily). *Hydrobiologia* 578, 87-95.

Nixdorf, B., Mischke, U., Rucker, J., 2003. Phytoplankton assemblages and steady state in deep and shallow eutrophic lakes – an approach to differentiate the habitat properties of Oscillatoriales. *Hydrobiologia* 502, 111-121.

Padisák, J., Reynolds, C.S., 1998. Selection of phytoplankton associations in lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokariotes. *Hydrobiologia* 384, 41-53.

Padisák, J., Crossetti, L.O., Naselli-Flores, L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621, 1-19.

Pennard, A., Bormans, M., Lagadeuc, Y., 2008. Phytoplankton species turnover controlled by physical forcing at different time scales. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65, 47-60.

Popovský, J., Pfiester, L.A., 1990. Dinophyceae (Dinoflagellida). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart.

Prescott, G.W., Vinyard, W.C., 1982. A Synopsis of North American Desmids. University of Nebraska Press, Nebraska.

Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S., 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24(5), 417-428.

Rucker, J., Wiedner, C., Zippel, P., 1997. Factors controlling the dominance of *Planktothrix agardhii* and *Limnothrix redekei* in eutrophic shallow lakes. *Hydrobiologia* 342/343, 107-115.

Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (SRH), 2000. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – Documento Síntese, Recife.

Silva, C.A., Train, S., Rodrigues, L.C., 2005. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia* 537, 99-109.

Stoyneva, M.P., 2003. Steady-state phytoplankton assemblages in shallow Bulgarian wetlands. *Hydrobiologia* 502, 169-176.

Strickland, J.D., Parsons, T.R., 1965. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 125, 1-185.

Toledo Jr., A.P., Talarico, M., Chinez, S.J., Agudo, E.G., 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Camboriú, p.1–34.

Utermöhl, H., 1958. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9, 1-38.

Valderrama, G.C., 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* 10, 109-122.

Vardaka, E., Moustaka-Gouni, M., Cook, C.M., Lanaras, T., 2005. Cyanobacterial blooms and water quality in Greek waterbodies. *J. Appl. Phycol.* 17, 391-401.

Wilhelm, S., Adrian, R., 2008. Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. *Freshw. Biol.* 53, 226–237.

Winder, M., Reuter, J.E., Schladow, S.G., 2009. Lake warming favours small-sized planktonic diatom species. *Proc. R. Soc. Biol. Sci. Ser. B* 276, 427-435.

6. TERCEIRO MANUSCRITO:

A ser encaminhado para publicação na
revista Journal of Plankton Research

**Influência da estratificação térmica no estabelecimento de florações de
cianobactérias em dois reservatórios do semi-árido do Brasil**

Ênio Woclyli Dantas^{1,2}, Maria do Carmo Bittencourt-Oliveira³, Ariadne do Nascimento
Moura²

¹Universidade Estadual da Paraíba - UEPB - Campus V, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas – CCBSA, R. Monsenhor Walfredo Leal, nº 487, Tambiá, 58020-540, João Pessoa, Paraíba, Brasil. Phone: +55 83 3238 9236, E-mail: eniowoclyli@yahoo.com.br

²Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Área de Botânica, R. D. Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52171-030, Recife, Pernambuco, Brasil. Phone: +55 81 3320 6350.

³Departamento de Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias 11, Piracicaba, SP, Brasil. 13418-900. Phone: +5519-3429-4128. Fax: +5519-3434-8295.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi investigar a dinâmica das cianobactérias planctônicas em dois reservatórios profundos ($Z_{max} > 10$ m) e eutróficos do semi-árido, Arcoverde e Pedra, com ocorrência de estratificação térmica. Cinco coletas realizadas em intervalos trimestrais foram feitas em cada um dos reservatórios, no período de um ano, em duas profundidades (0,1 m e próximo ao sedimento). As variáveis abióticas analisadas foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, transparência da água, nitrogênio total, fósforo total, fósforo total dissolvido e ortofosfato. As amostras de fitoplâncton, com ênfase em cianobactérias, foram coletadas com garrafa de Van Dorn, preservadas em lugol acético e quantificadas em microscópio invertido para determinação da densidade e biomassa. Os dados foram tratados através da análise de correspondência canônica. Nos reservatórios de Arcoverde e Pedra foram verificadas médias de biomassa ($>22,3 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ e $>31,4 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) fitoplanctônicas mais elevadas no período de estratificação térmica. Os reservatórios durante este período apresentaram estrutura semelhante, com o desenvolvimento de florações de cianobactérias dominadas por um único táxon,

Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju ($>18 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$). Durante o período de desestratificação térmica, esta espécie codominou com as cianobactérias *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Geitlerinema amphibium* (C. Agardh) Anagnostidis, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing e *Merismopedia tenuissima* Lemmermann, e com as diatomáceas e fitoflagelados. A instabilidade ambiental e a competição entre as algas dificultaram o estabelecimento de floração durante o período de mistura.

Palavras-chave: biomassa, *Cylindrospermopsis raciborskii*, regime térmico, dinâmica sazonal.

Abstract (Influence of thermal stratification on the establishment of cyanobacteria blooms in reservoirs in the semi-arid region of Brazil): The aim of the present study was to investigate the dynamics of cyanobacteria in two deep, eutrophic reservoirs ($Z_{\text{max}} > 10 \text{ m}$) in a semi-arid region of Brazil (Arcoverde and Pedra) with regard to thermal stratification. Five collections were carried out at each of the reservoirs at two depths (0.1 m and near the sediment) at three-month intervals. The abiotic variables analyzed were: water temperature, dissolved oxygen, pH, turbidity, water transparency, total phosphorus, total dissolved phosphorus, orthophosphate and total nitrogen. The phytoplankton samples focusing cyanobacteria were collected with a Van Dorn bottle, preserved in Lugol's solution and quantified under an inverted microscope for the determination of density and biomass. The data were explored using canonical correspondence analysis. Higher mean phytoplankton biomass values ($> 22.3 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ and $> 31.4 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) occurred in the period of thermal stratification. Greater structural similarity in the phytoplankton communities occurred in this period, related to the development of cyanobacteria, dominated by a single taxon, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju ($>18 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$). During the period of thermal de-stratification, this species co-dominated with *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Geitlerinema amphibium* (C. Agardh) Anagnostidis, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing and *Merismopedia tenuissima* Lemmermann as well as the diatoms and phytoflagellates. Environmental instability and competition among algae hinder the establishment of blooms more during the mixture period when compared to the period of stratification.

Keywords: biomass, *Cylindrospermopsis raciborskii*, seasonal dynamics, thermal pattern

6.1. Introdução

A dominância de cianobactérias em ecossistemas aquáticos é frequentemente relatada como sendo causada por diversos fatores, tais como elevadas temperatura da água, pH alcalino, baixa relação N:P, capacidade de estocar fósforo, minimizar a predação e regular sua flutuabilidade (Dokulil e Teubner, 2000). Dentre estes fatores, é consenso que a temperatura é crucial para o crescimento e abundância destes organismos (Huszar et al., 2000; Paerl e Huisman, 2008), produzindo florações que causam mudança de coloração nos corpos aquáticos e sérios problemas na qualidade da água.

Em ecossistemas tropicais rasos, o aumento da eutrofização tem sido relacionada com o aparecimento de florações de cianobactérias (Bouvy et al., 2000; Dantas et al., 2008), enquanto que a estratificação térmica observado nos meses quentes é a principal causa da formação de *blooms* em ecossistemas tropicais profundos (Saker e Griffiths, 2001).

A temperatura apresenta um comportamento vertical que pode interferir tanto na disponibilidade de luz como de nutrientes, sendo o principal fator determinante na dinâmica sazonal do fitoplâncton (Becker et al., 2009), e por sua vez, no estabelecimento de florações de cianobactérias. Fenômenos meteorológicos como o vento e a chuva têm importante papel na ecologia do fitoplâncton em reservatórios (Calijuri et al., 2002), especialmente por atuar modificando o regime térmico, com a quebra da estabilidade. A estabilidade térmica é apontada como responsável pelo estabelecimento de elevadas biomassas de cianobactérias (Marinho e Huszar, 2002), sendo a instabilidade térmica frequentemente relatada como causadora de mudança na estrutura algal, na substituição de cianobactérias por diatomáceas (Tundisi, 1990; Heo e Kim, 2004) e clorófitas (Naselli-Flores e Barone, 1998; Becker et al., 2006). No entanto, são verificadas associações de cianobactérias causadoras de florações tanto em condição de mistura como estratificação térmica (Dokulil e Teubner, 2000) e são formadas por espécies com diferentes formas de vida e estratégias de sobrevivência.

Estudos sobre a comunidade fitoplanctônica em reservatórios da região semi-árida do Brasil apontam elevadas densidades e biomassas de cianobactérias em diferentes períodos do ano (Bouvy et al., 1999; 2001; Huszar et al., 2000; Chellappa e Costa, 2003; Moura et al., 2007a; 2007b; Chellappa et al., 2008a; Dantas et al., 2008; von Sperling et al., 2008). Nestes estudos não foi verificada a ocorrência de estratificação térmica por se tratar de ecossistemas rasos, ou pela redução do nível

dos ecossistemas durante as secas prolongadas e das chuvas intensificadas em curtos períodos do ano, que impedem a estabilidade do reservatório.

Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar a dinâmica das cianobactérias planctônicas em dois reservatórios profundos ($Z_{\max} > 10\text{m}$) e eutróficos do semi-árido com ocorrência de estratificação térmica. Com isso, este estudo testa as seguintes hipóteses: a) a estratificação térmica estimula a ocorrência de elevadas biomassas de cianobactérias. Espera-se que os efeitos físicos da mistura térmica relacionem-se a redução da biomassa fitoplanctônica, com substituição de cianobactérias por outros grupos algais. b) A variação na disponibilidade de luz e nutrientes no gradiente de mistura e estratificação corresponde ao principal regulador do comportamento das cianobactérias nos reservatórios profundos e eutróficos do semi-árido do Brasil. É esperado ocorrer maior abundância de espécies tolerantes a reduzida luminosidade durante o período de mistura térmica e tolerantes a redução dos teores de nutrientes durante o período de estratificação térmica.

6.2. Área de estudo

Os reservatórios de Arcoverde ($8^{\circ}33'28''\text{S}$ e $36^{\circ}59'15''\text{W}$) e Pedra ($8^{\circ}29'35''\text{S}$ e $36^{\circ}56'39''\text{W}$) localizam-se no município de Pedra, Agreste do estado de Pernambuco, Brasil. A zona Agreste de Pernambuco caracteriza-se por apresentar um clima intermediário entre as condições úmidas da Zona da Mata e seca do Sertão, havendo predomínio do clima semi-árido, com duas estações sazonais definidas, uma chuvosa - março a agosto, e uma de estiagem - setembro a fevereiro (Melo-Júnior et al., 2007).

Áreas abertas e de caatinga degradadas são encontradas ao redor destes sistemas que apresentam pouca ou nenhuma vegetação aquática (Almeida et al., 2009). Ambos os reservatórios constituem barramento do riacho Mororó, inserido no domínio da bacia do rio Ipanema, sendo o reservatório de Arcoverde situado a jusante de Pedra e são utilizados para o abastecimento de água de uma população aproximada de 100 mil habitantes. O reservatório de Arcoverde apresenta uma área de $2,0 \times 10^6 \text{ m}^2$, extensão de 4,2 km e capacidade de acumulação de $18,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, enquanto que o reservatório de Pedra possui uma área de $0,4 \times 10^6 \text{ m}^2$, extensão de 1,6 km e volume de $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ (SRH, 2000)

6.3. Material e métodos

As amostragens foram feitas em intervalos de três meses no período de um ano, entre maio de 2007 e maio de 2008, sendo realizadas cinco coletas por reservatório. O ponto de coleta nos reservatório de Arcoverde e Pedra foram realizados no corpo central, 200 metros do barramento. As amostras de água para determinação das variáveis abióticas e para a análise quantitativa das cianobactérias foram coletadas em duas profundidades, na subsuperfície (0,1 m) e em profundidade próxima ao fundo (1 m acima do sedimento), através de uma garrafa de Van Dorn.

Variáveis abióticas foram medidas *in situ*, por meio de equipamentos de campo, sendo a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), determinada por meio de um oxímetro Schott, Handylab OX1; transparência da água, medida com disco de Secchi; e profundidade máxima, com ecobatímetro. A zona eufótica (Zeu) foi determinada baseada nos procedimentos descritos em Margalef (1983). A zona de mistura (Zmix) foi estimada de acordo com o perfil de temperatura da coluna d'água, sendo igual à profundidade máxima (Zmax) quando não observado gradiente térmico com diferença mínima de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. Os valores de turbidez (NTU) e o pH da água foram obtidas através de medições no laboratório com um turbidímetro Hanna Instruments, HI 93703 e um potenciômetro Digimed, DMPH-2, respectivamente.

Para determinação do nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) foi utilizada metodologia proposta por Valderrama (1981). Para o fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), fósforo total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$), utilizaram-se Valderrama (1981) e Strickland e Parsons (1965), respectivamente. Para caracterização dos ecossistemas foi adotado o índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo et al (1983) para regiões tropicais e calculada a relação atômica NT:PT (Downing & McCauley, 1992).

Para o conhecimento da composição fitoplanctônica, amostras de plâncton foram coletadas através de rede com 25 μm abertura de malha e posteriormente preservada em lugol acético (Bicudo e Menezes, 2006). A identificação das cianobactérias foi realizada até o menor nível hierárquico possível, com uso de literatura especializada (Komárek e Anagnostidis, 1989, 1999, 2005 e Komárek e Cronberg, 2001), enquanto que as outras algas foram identificadas apenas em nível de grupos, sendo estes, Bacillariophyta, Chlorophyta e Fitoflagelados.

Para a análise quantitativa do fitoplâncton, alíquotas de 100 mL ($n=2$) foram coletadas e preservadas em solução de lugol acético. A determinação da densidade (ind.mL^{-1}) foi feita usando o método de Utermöhl (Utermöhl, 1958). A biomassa ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) foi estimada utilizando os valores calculados do biovolume celular. Para

isto, foi multiplicada a densidade de cada espécie pelo volume médio de suas células considerando as medidas celulares de 30 indivíduos de cada espécie seguindo metodologia de Hillebrand et al. (1999). Este procedimento foi feito, sempre quando possível, por amostra de cada um dos reservatórios estudados.

Análises de variância (ANOVA) foram usadas para testar as diferenças sazonais (meses estratificados e com mistura térmica) e verticais das variáveis abióticas e bióticas ($p < 0,05$) através do programa Statistica 2004 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Análise de correspondência canônica (ACC) foi usada para avaliar as relações entre as cianobactérias e as variáveis ambientais. A matriz com dados bióticos foi feita com as espécies de cianobactérias que apresentaram mais de 5% da biomassa total em pelo menos um mês amostral. As variáveis abióticas, transformadas em $\log(x)$, foram progressivamente reduzidas utilizando a rotina "forward selection" disponível no software Canoco 4.5, sendo a significância ($p < 0,05$) testada através do teste de Monte Carlo, com 999 permutações irrestritas.

6.4. Resultados

Estratificação térmica foi verificada no período de estiagem em Arcoverde e no período de estiagem e no mês de agosto de 2007, em Pedra (Figura 1). A Zeu:Zmix foi comumente menor que 1, com exceção de fev/08, em Arcoverde (Tabela 1).

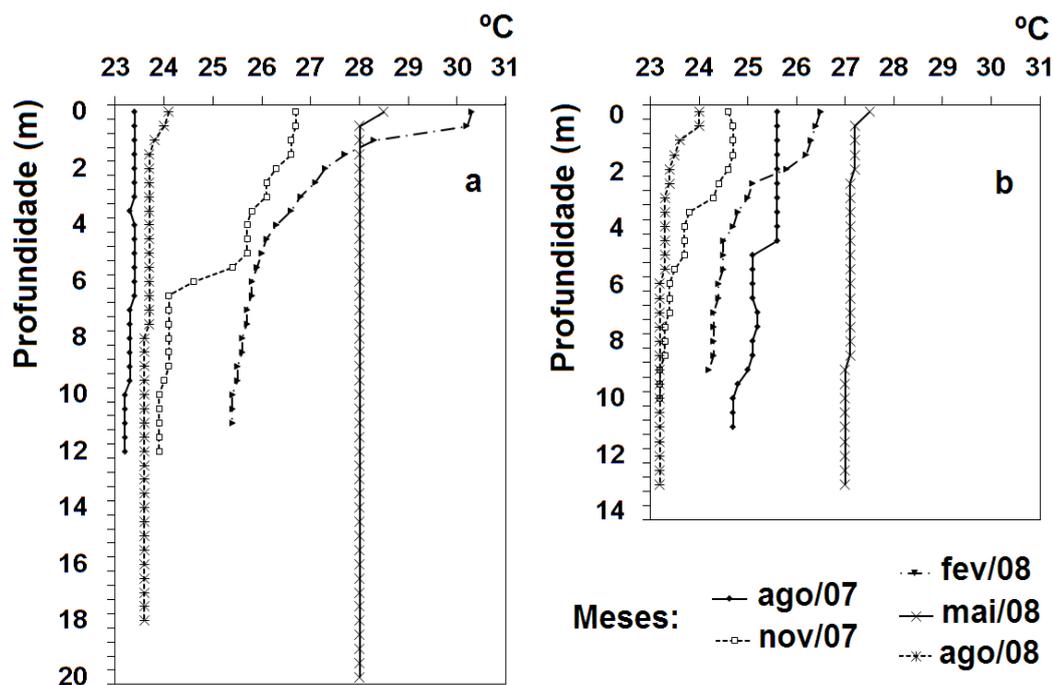


Figura 1: Perfis de temperatura nos reservatórios de Arcoverde (a) e Pedra (b), Pernambuco, Brasil, no período entre agosto de 2007 e agosto de 2008. Meses de estiagem: nov/07 e fev/08; meses chuvosos: ago/07, mai/08 e ago/08.

Tabela 1: Valores de zona eufótica, zona de mistura, profundidade máxima, temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, fósforo total, fósforo total dissolvido, ortofosfato, nitrogênio total, relação N:P e índice de estado trófico de dois reservatórios do estado de Pernambuco, Brasil, no período entre agosto de 2007 e agosto de 2008.

Variáveis		Arcoverde					Pedra						
		Mistura		Estratificado			Mistura		Estratificado			Mistura	
		ago/07	nov/07	fev/08	mai/08	ago/08	ago/07	nov/07	fev/08	mai/08	ago/08		
Zona eufótica (m)		2,1	1,2	1,4	1,5	3,1	0,9	1,2	1,1	0,9	1,9		
Zona de mistura (m)		13,6	5,0	1,0	22,0	19,4	4,5	3,0	1,5	13,7	16,5		
Profundidade máxima (m)		13,6	12,5	11,0	22,0	19,4	11,7	11,0	10,0	13,7	16,5		
Temperatura da água (°C)	Superfície	23,4	26,7	30,3	28,5	24,1	25,6	24,6	26,5	27,5	24,0		
	Fundo	23,2	23,9	25,4	28,0	23,6	24,7	23,2	24,2	27,0	23,2		
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Superfície	6,0	3,0	9,2	1,2	4,0	7,4	0,6	7,1	1,9	4,6		
	Fundo	3,9	0,1	0,1	0,7	2,3	1,0	0,1	0,1	0,5	0,0		
pH	Superfície	7,1	8,7	7,7	6,8	7,1	7,5	8,2	7,3	8,0	6,5		
	Fundo	7,2	7,8	7,5	6,9	7,3	6,8	7,3	7,4	7,1	6,7		
Turbidez (NTU)	Superfície	160,0	63,0	43,1	50,0	8,2	1000,0	65,0	90,0	84,0	27,4		
	Fundo	258,0	18,8	35,3	43,7	6,8	477,0	52,0	51,0	109,0	18,8		
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	Superfície	64,7	56,9	100,9	1007,6	57,8	71,2	76,3	193,7	863,7	128,3		
	Fundo	60,8	73,8	220,9	1255,2	71,9	143,6	124,2	267,3	800,3	246,8		
Fósforo total dissolvido (µg.L ⁻¹)	Superfície	37,5	28,8	38,4	387,9	7,5	41,3	43,8	46,1	76,4	23,6		
	Fundo	40,0	37,5	113,4	305,6	11,2	45,0	55,0	69,2	211,6	100,8		
Ortofosfato (µg.L ⁻¹)	Superfície	21,9	40,2	24,6	1590,6	140,9	69,4	47,5	14,7	984,6	316,2		
	Fundo	40,2	95,0	211,3	1742,1	172,2	80,4	106,0	83,5	1022,5	441,4		
Nitrogênio total (µg.L ⁻¹)	Superfície	13,0	13,9	14,8	12,8	15,2	10,1	5,5	10,1	12,8	20,3		
	Fundo	10,7	13,0	11,0	20,7	91,5	26,9	8,1	14,2	11,3	198,2		
Relação N:P	Superfície	0,3	0,2	0,1	0,0	0,4	0,4	0,5	0,3	0,0	0,6		
	Fundo	0,4	0,1	0,1	0,0	1,8	0,4	0,4	0,1	0,0	2,8		
Índice de estado trófico		61,5	60,8	70,0	85,6	63,7	56,6	58,0	62,6	84,6	53,5		

Ambos os reservatórios apresentaram limitação por nitrogênio durante todo o estudo. As concentrações de nitrogênio total foram inferiores a $30 \mu\text{g.L}^{-1}$, exceto em agosto de 2008 no ponto mais profundo de ambos os reservatórios ($91,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ em Arcoverde e $198,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ em Pedra) (Tabela 1)

Durante a estratificação térmica, as águas do reservatório de Arcoverde estavam anóxicas no hipolímnio e com pH mais alcalino ($F=14,07$, $p<0,01$) em relação ao período de águas misturadas. Os maiores valores de fósforo total, fósforo total dissolvido e ortofosfato foram verificados em maio de 2008, com concentrações entre $306 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $1742 \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que os valores mais elevados de turbidez (>150 NTU) foram verificados em agosto de 2007 (Tabela 1).

O reservatório de Pedra apresentou águas mais quentes ($F=8,60$, $p<0,05$) e mais oxigenadas ($F=9,170$, $p<0,05$) na subsuperfície e maiores valores de ortofosfato no fundo ($F=10,04$, $p<0,05$). Águas anóxicas ou hipóxicas foram verificadas no hipolímnio durante todo o estudo e no epilímnio nos meses de novembro de 2007 e maio de 2008. A dinâmica dos nutrientes apresentou relação inversa com a estratificação, estando às concentrações de fósforo total ($F=5,62$, $p<0,05$) e ortofosfato ($18,52$, $p<0,01$) mais elevados durante o período de instabilidade térmica (Tabela 1).

Vinte espécies de cianobactérias planctônicas, pertencentes a três ordens, Chroococcales, Oscillatoriales e Nostocales, foram identificadas. Em ambos os ecossistemas a biomassa fitoplanctônica foi predominantemente de cianobactérias, principalmente no período de estratificação térmica (média de $28,0 \pm 28,9 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Arcoverde e $26,5 \pm 14,7 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Pedra). Durante o período de mistura, a biomassa relativa das cianobactérias diminuiu, contribuindo para a ocorrência de outras algas, especialmente diatomáceas em Arcoverde e fitoflagelados em Pedra (Tabela 2, Figura 2).

Os valores de biomassa fitoplanctônica foram significativamente diferentes entre o período de estratificação e mistura ($F=11,63$, $p<0,01$), com médias durante o período de estabilidade térmica ($29,3 \pm 30,3 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Arcoverde e $35,2 \pm 20,3 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Pedra) 4,7 e 3,9 vezes mais elevadas que o período de instabilidade ($6,2 \pm 2,6 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Arcoverde e $9,0 \pm 5,7 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Pedra). Variação vertical foi observada apenas durante o período de estratificação ($F=52,21$, $p<0,001$) onde as médias de biomassa foram mais elevadas na subsuperfície ($53,8 \pm 19,2 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Arcoverde e $53,3 \pm 5,2 \text{ mm}^3.\text{L}^{-1}$ em Pedra) na proporção de 10,9 e 3,1 vezes em

relação às biomassas médias registradas próximo ao sedimento ($4,9 \pm 0,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ em Arcoverde e $17,2 \pm 4,8 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ em Pedra) (Figura 2).

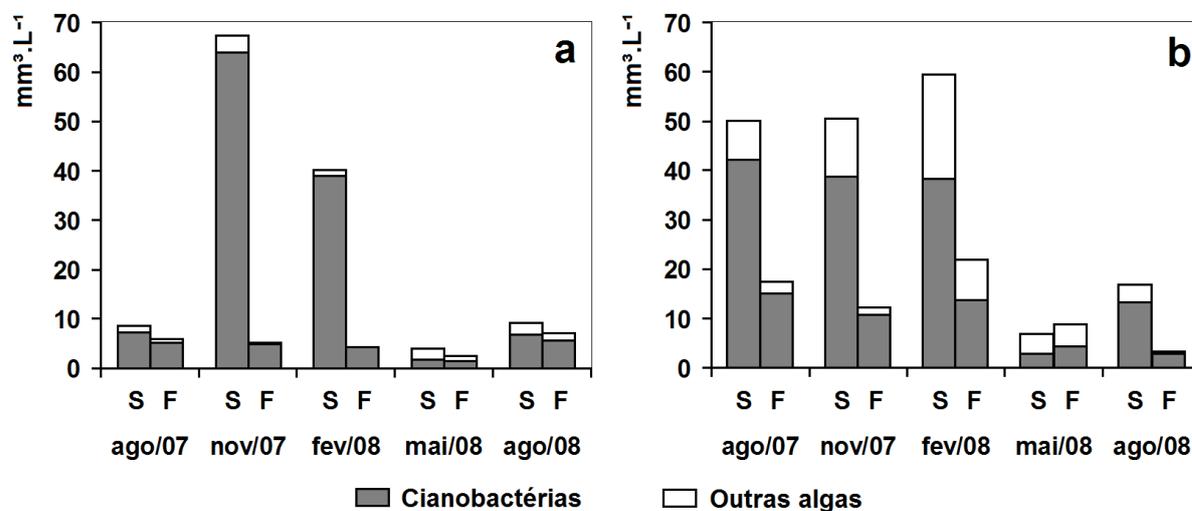


Figura 2: Variação da biomassa da comunidade de cianobactérias e outras algas planctônicas ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) nos reservatórios de Arcoverde (a) e Pedra (b), Pernambuco, Brasil. Legenda: S = superfície; F = fundo.

A cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* predominou no período de estratificação térmica, com valores de biomassa médias acima de $20,0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$, sendo mais que 80,0% e 50,0% da estrutura fitoplanctônica nos reservatórios de Arcoverde e Pedra, respectivamente. Neste período, outras cianobactérias com biomassa superior a 5% foram verificadas no reservatório de Pedra: *Merismopedia tenuissima* ($1,5 \pm 0,5 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) e *Planktothrix agardhii* ($1,1 \pm 0,7 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) ocorreram principalmente no fundo (Tabela 2).

Durante o período de mistura, houve mudança na estrutura da comunidade fitoplanctônica em ambos os reservatórios. *C. raciborskii* apresentou uma significativa redução nos valores de biomassa ($F=14,49$, $p<0,01$), apresentando valores abaixo de $1,3 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ e biomassa relativa entre 8,0% a 18,7%. *P. agardhii* apresentou comportamento contrário ($F=8,12$, $p<0,05$) sendo o táxon mais abundante durante este período, com biomassa relativa entre 29,3% e 39,3% (Tabela 2). No entanto, a biomassa não superou $5,0 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$.

Geitlerinema amphibium ($0,5 \pm 0,5 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) e *Microcystis aeruginosa* ($0,8 \pm 1,3 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) apresentaram biomassa relativa acima de 5% no reservatório de Arcoverde no período de mistura. Em Pedra, *G. amphibium* ($1,4 \pm 1,9 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) apresentou biomassa relativa acima de 5% na subsuperfície, enquanto que *M. tenuissima* ($1,0 \pm 0,2 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) ocorreu principalmente no fundo (Tabela 2).

Tabela 2: Biomassa relativa média (%) das cianobactérias planctônicas nos reservatórios de Arcoverde e Pedra durante o período de estratificação (E) e mistura (M). Legenda: S = subsuperfície; F = fundo; + = ocorrência com biomassa relativa inferior a 0,1% da biomassa total.

Táxons	Arcoverde				Pedra			
	E		M		E		M	
	S	F	S	F	S	F	S	F
CYANOPHYTA								
Chroococcales								
<i>Aphanocapsa elachista</i> W. West & G.S. West	-	+	-	-	-	-	+	-
<i>A. incerta</i> (Lemmermann) Cronberg & Komárek	0,1	0,4	+	+	+	+	+	+
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>C. minimus</i> (Keissler) Lemmermann	+	+	+	+	-	-	+	-
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	+	+	0,1	0,1	+	+	+	0,1
<i>C. turgidus</i> Kützing	-	-	+	+	+	+	0,1	+
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	0,1	4,3	3,1	4,2	0,5	8,6	2,2	16,2
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	5,0	3,2	15,2	6,1	0,5	1,6	1,5	0,2
<i>M. flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner	-	-	0,8	1,9	+	0,2	0,5	1,1
<i>Woronichinia botrys</i> (Skuja) Komárek & Hindák	-	-	0,3	-	-	-	-	-
Oscillatoriales								
<i>Geitlerinema amphibium</i> (C. Agardh) Anagnostidis	0,9	4,8	7,5	8,3	2,8	4,1	12,2	4,3
<i>Planktolyngbya</i> sp.	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	0,3	-	33,5	39,3	2,0	6,4	31,3	29,3
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	-	-	1,2	0,9	-	0,3	-	-
<i>P. limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	0,2	+	-	-	0,3	0,3	0,1	-
Nostocales								
<i>Anabaena constricta</i> (Szafer) Geitler	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>A. spiroides</i> Klebahn	-	-	0,2	0,3	-	-	-	-
<i>Aphanizomenon</i> sp.	-	-	0,6	0,4	-	-	-	-
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju	87,3	80,1	10,0	17,3	65,0	52,4	18,7	8,0
<i>Raphidiopsis mediterranea</i> Skuja	1,8	1,1	0,3	0,6	3,3	2,6	0,5	0,3
OUTRAS ALGAS								
Bacillariophyta	1,7	3,3	18,3	15,2	8,8	9,6	8,2	5,1
Chlorophyta	0,5	2,2	1,6	2,0	0,8	2,3	1,4	1,5
Fitoflagelados	2,1	0,4	7,2	3,4	15,8	11,6	23,0	33,7

A análise de correspondência canônica (ACC) confirmou haver relação entre os dados abióticos e as biomassas das cianobactérias planctônicas ($p < 0,01$). Os eixos 1 e 2 explicaram 62,4% da variância da biomassa no gradiente de variação ambiental. A correlação das espécies com as variáveis abióticas foi alta explicando 84,6% da ordenação canônica nos dois primeiros eixos (Tabela 3).

Tabela 3: Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as espécies fitoplanctônicas e variáveis abióticas dos dois primeiros eixos da ACC, nos reservatórios de Arcoverde e Pedra, Pernambuco, Brasil.

	Eixo 1	Eixo 2
Eigenvalues	0,213	0,138
Variância acumulada dos dados bióticos (%)	37,8	62,4
Variância acumulada da relação espécie-ambiente (%)	51,3	84,6
Correlação espécie-ambiente	0,943	0,866
Teste de Monte Carlo		
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
Zona de mistura (Zmix)	0,80	0,10	0,85	0,11
Profundidade máxima (Zmax)	0,61	0,19	0,64	0,22
Oxigênio dissolvido (O2)	-0,18	-0,46	-0,19	-0,53
pH	-0,47	-0,37	-0,50	-0,42
Fósforo total dissolvido (PTD)	0,09	0,59	0,09	0,69
Ortofosfato (PO4)	0,38	0,59	0,40	0,68

O gradiente térmico apresentou relação com o primeiro eixo canônico, onde as unidades amostrais que apresentaram estratificação térmica foram reunidas no lado negativo do eixo enquanto as relacionadas à mistura do lado positivo. A cianobactéria *C. raciborskii* apresentou relação inversa com o eixo 1, sendo o táxon mais abundante durante o período de estratificação térmica em ambos os reservatórios, ocorrendo em condições com pH mais elevado, menor profundidade e menores valores de fósforo. A cianobactéria *P. agardhii* apresentou relação direta com o eixo, ocorrendo em condições contrárias a *C. raciborskii* (Figura 3).

O segundo eixo separou as unidades amostrais dos reservatórios estudados, assim como os meses que apresentaram mistura térmica. Variação nos valores de pH e nas concentrações de oxigênio dissolvido, fósforo total dissolvido e ortofosfato relacionaram-se a variação das cianobactérias *M. aeruginosa* e *M. tenuissima* durante o período de mistura térmica em ambos os reservatórios. *M. aeruginosa* apresentou relação inversa com o eixo e foi encontrada na superfície em condições com elevados valores de pH e oxigênio dissolvido e de menores concentrações de fósforo. O contrário foi verificado para *M. tenuissima*, cuja ocorrência foi mais comum em condição de anoxia e elevadas concentrações de fósforo (Tabela 2, Figura 3).

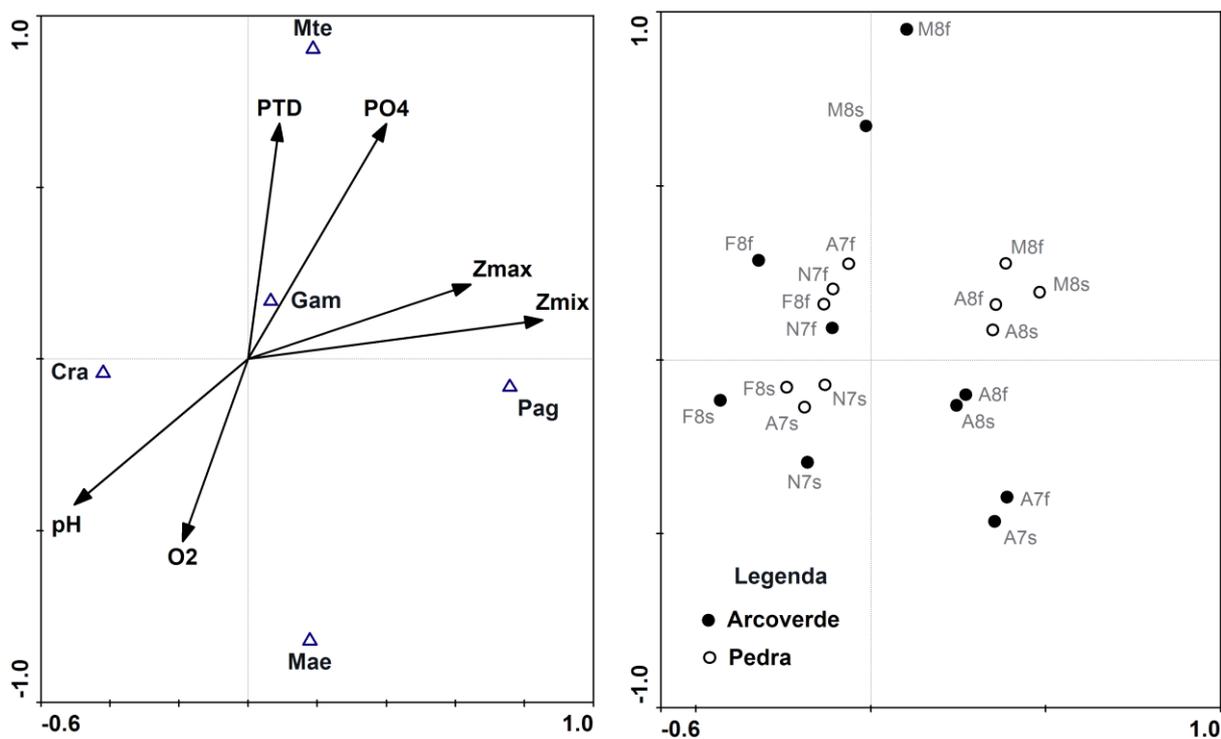


Figura 3: ACC realizada entre as principais espécies de algas planctônicas e as variáveis abióticas significativas nos reservatórios de Arcoverde e Pedra, Pernambuco, Brasil. Legendas: cianobactérias – Cra: *Cylindrospermopsis raciborskii*, Gam: *Geitlerinema amphibium*, Mae: *Microcystis aeruginosa*, Mte: *Merismopedia tenuissima*, Pag: *Planktothrix agardhii*; variáveis abióticas – PTD: fósforo total dissolvido; Zeu: zona eufótica; Zmax: zona de mistura; Zmax: profundidade máxima; as unidades amostrais são identificadas com a letra do mês (A: agosto; F: fevereiro; M: maio; N: novembro), o número do ano correspondente (7: 2007; 8: 2008) e a profundidade de coleta (S: superfície; F: fundo).

6.5. Discussão

Independente da condição térmica, as cianobactérias predominaram nos reservatórios eutróficos do semi-árido do Nordeste do Brasil. Maiores biomassas foram verificadas em condição de estratificação, quando houve dominância de uma única espécie. Durante o período de mistura, a estrutura da comunidade fitoplanctônica esteve formada por várias espécies. Outras divisões algais coexistiram com as cianobactérias, especialmente durante o período de instabilidade térmica, com destaque para diatomáceas e fitoflagelados.

A dominância de cianobactérias é relatada em reservatórios da região semi-árida do Nordeste do Brasil, principalmente em condições semelhantes aos encontrados neste trabalho. Entre as principais características ambientais relacionadas à predominância destas algas estão às elevadas temperaturas da água, pH alcalino, baixa relação N:P e condições eutróficas a hipertróficas (Bouvy et al., 1999; Huszar et al., 2000; Chellappa e Costa, 2003; Costa et al., 2006; Moura et al., 2007a, 2007b; Chellappa et al., 2008a; Dantas et al., 2008; von Sperling et al.,

2008). No que se refere à dominância monoespecífica de cianobactérias, Bouvy et al. (2000) relata ser provavelmente a manifestação da hipertrofia dos ecossistemas.

A ocorrência de outras divisões algais em reservatórios do semi-árido do Nordeste do Brasil é verificada, no entanto, apresentam reduzida abundância (Bouvy et al., 1999; Huszar et al., 2000, Moura et al., 2007b; Dantas et al., 2008), exceto nos trabalhos de Chellappa e Costa (2003) e Chellappa et al. (2008b). Estes autores encontraram mudança na dominância das cianobactérias por clorófitas no período chuvoso em um reservatório eutrófico e predominância das clorófitas durante todo o ano em um ecossistema oligo-mesotrófico. Apesar disso, esta divisão apresentou reduzida biomassa relativa (< 3%) no presente estudo.

Mudança na estrutura fitoplanctônica é comumente reportada em razão de variação no comportamento térmico em ecossistemas eutróficos subtropicais (Heo e Kim, 2004; Becker et al., 2006; Pennard et al., 2008) e tropicais (Marinho e Huszar, 2002). Estes trabalhos apontam que as cianobactérias apresentam biomassas elevadas durante o período de estratificação térmica sendo substituídas por diatomáceas quando estabelecidas condições de circulação térmica.

As chuvas contribuíram não somente para elevação no volume dos ecossistemas, mas também no estabelecimento de um padrão térmico de mistura. Segundo Mischke (2003), estes fatores não só influenciam na disponibilidade de luz como facilita o *input* de nutrientes do sedimento. Apesar de haver um aumento da zona eufótica durante o período chuvoso nos ecossistemas estudados, o estabelecimento da mistura térmica comprometeu a disponibilidade de luz na coluna d'água. Segundo O'Farrell et al. (2003) condições desfavoráveis de luminosidade podem ser desvantajosas para fototróficos obrigatórios e contribuem para o sucesso de táxons com mixotrofia. Isto foi verificado no presente estudo com o desenvolvimento de fitoflagelados durante o período de mistura no reservatório de Pedra. No entanto, tanto as diatomáceas como os fitoflagelados, contribuíram para o aumento da competição pelos recursos durante o período de instabilidade ambiental e dificultaram a ocorrência de florações de cianobactérias.

Fonseca e Bicudo (2008) e Crossetti e Bicudo (2008) observaram mudança na estrutura fitoplanctônica ao longo do tempo no reservatório tropical das Garças, Brasil. Estes autores observaram a substituição e coexistência de espécies da mesma divisão de algas durante período de estratificação e mistura. Padrão diferenciado foi observado por Dantas et al. (2008) em um reservatório do semi-árido do Nordeste do Brasil em que uma mesma espécie apresentou elevada abundância

(> 50%) em ambos os períodos sazonais com variação apenas nos valores de biomassa ao longo do tempo, mais elevados durante a estratificação térmica (> 23,0 mm³.L⁻¹). No presente estudo, o padrão assemelhou-se ao observado no reservatório das Garças, tendo diferentes espécies de cianobactérias predominado em cada condição térmica ao longo do ano.

Durante o período de estratificação houve dominância de *C. raciborskii*, com biomassas médias superiores a 20 mm³.L⁻¹, sendo substituída pela cianobactéria *P. agardhii* durante o período de mistura cujas biomassas não ultrapassaram valores de 5 mm³.L⁻¹. Segundo Bernhardt et al. (2008) é esperado haver diminuição da biomassa com a redução da disponibilidade de luz produzida pelo aumento da profundidade de mistura, onde neste caso, a comunidade fitoplanctônica é dominada por algas tolerantes a baixa luminosidade.

De acordo com os resultados de Bouvy et al. (2000), Marinho e Huszar (2002) e Bormans et al. (2005), a dominância de *C. raciborskii* ocorre em ecossistemas fortemente estratificados e com elevada intermitência na disponibilidade de nutrientes. Apesar da condição de estratificação não ser verificada em outros reservatórios da região semi-árida do Nordeste (Bouvy et al., 1999; Huszar et al., 2000; Chellappa e Costa, 2003, von Sperling et al., 2008), estes autores relataram a dominância desta espécie durante o período com menores teores de nutrientes, especialmente nitrogênio.

A substituição de *C. raciborskii* por *P. agardhii* foi verificada por Borics et al. (2000) em viveiros de peixes na Hungria. Conforme estes autores, o desaparecimento de *C. raciborskii* foi acompanhado de uma diminuição nos valores de biomassa da comunidade e abundância das cianobactérias *P. agardhii* e *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek. Segundo Naselli-Flores e Barone (1998), a dominância de *P. agardhii* seguiu a diminuição da zona eufótica e aumento da zona de mistura no lago Arancio, Itália.

Os dados levantados para os reservatórios da região semi-árida do Nordeste evidenciaram a dominância de *C. raciborskii* durante o período onde foram verificados menores valores de nutrientes, enquanto que a maior abundância de *P. agardhii* seguiu aumento tanto da zona eufótica como da zona de mistura, mas com diminuição da disponibilidade de luz pela redução da relação $Z_{eu}:Z_{mix}$ durante o período de mistura térmica. De acordo com Bouvy et al. (1999) isto condicionou menor vantagem competitiva de *C. raciborskii* na comunidade fitoplanctônica no

reservatório de Ingazeira e certamente foi um dos fatores que contribuiu para a sua substituição no presente trabalho.

Outras cianobactérias, como *G. amphibium*, *M. aeruginosa* e *M. tenuissima*, apresentaram abundância relativa elevada nos reservatórios do semi-árido do Nordeste do Brasil. Estas apresentaram maiores biomassas durante o período de mistura térmica, coexistindo com *P. agardhii* e *C. raciborskii*. Isto corrobora com o verificado por Dantas et al. (2008) em um reservatório eutrófico da região semi-árida do Nordeste, Brasil, para as espécies *G. amphibium* e *M. aeruginosa*. De acordo com estes autores, *G. amphibium* apresentou maior biomassa próximo ao sedimento, durante uma floração de *C. raciborskii*, enquanto *M. aeruginosa* floresceu em situações com menores valores de fósforo e maiores concentrações de oxigênio dissolvido.

Apesar de haverem trabalhos em ecossistemas tropicais e subtropicais (Nogueira, 2000; Borges et al., 2008; Crossetti e Bicudo, 2008) que enfatizam a ocorrência de *M. aeruginosa* em condição de estratificação térmica, outros (Chellappa e Costa, 2003; Naselli-Flores e Barone, 2003; Moustaka-Gouni et al., 2007) apontam para a relação deste táxon com padrões de mistura térmica. Estes últimos autores relacionam a habilidade do táxon de regular sua flutuação como estratégia para o sucesso em condição de baixa relação $Z_{eu}:Z_{mix}$ e que certamente foi utilizada para estabelecer elevada abundância nos reservatórios de Arcoverde e Pedra.

A dinâmica dos diferentes reservatórios profundos e eutróficos da região semi-árida do Nordeste do Brasil foi influenciada pelo padrão térmico, estando à estrutura da comunidade algal, o comportamento da zona eufótica e da disponibilidade de nutrientes similar durante o período de estratificação térmica. Enquanto a estratificação direcionou a dominância de *C. raciborskii*, capaz de reunir elevada biomassa, a mistura dificultou a formação de florações algais, elevando a competição entre as espécies.

As algas tolerantes a baixa luminosidade foram dominantes nos reservatórios do semi-árido, sendo *C. raciborskii* durante o período de estratificação e especialmente *P. agardhii*, durante a mistura. A relação $Z_{eu}:Z_{mix}$ foi comumente inferior a 1 durante todo o estudo e estratégias para a flutuabilidade, no desenvolvimento de *M. aeruginosa*, ressuspensão de frústulas, no caso de diatomáceas, e mobilidade e mixotrofia para os fitoflagelados, foram fatores

intrínsecos no sucesso de diferentes espécies em Arcoverde e Pedra durante a mistura que impediram a dominância algal e a elevação da biomassa fitoplanctônica.

Apesar da redução na biomassa algal durante o período de mistura, as cianobactérias não foram substituídas por outras divisões e prevaleceram durante todo o ano. No entanto, outras algas apresentaram elevada abundância relativa durante a circulação térmica e a competição com as diferentes cianobactérias dificultou o estabelecimento de florações. A estratificação térmica, pois, apresentou uma influência direta no estabelecimento de florações de cianobactérias nos reservatórios profundos e eutróficos do semi-árido, Nordeste, Brasil, direcionando a dominância algal e a elevação nos valores de biomassa fitoplanctônica.

6.6. Referências

- Almeida, V.L.S., Dantas, E.W., Melo-Júnior, M., Bittencourt-Oliveira, M.C. and Moura, A.N. (2009) Zooplanktonic community of six reservoirs in northeast Brazil. *Braz. J. Biol.*, **69**(1), 57-65.
- Becker, A., Herschel, A. and Wilhelm, C. (2006) Biological effects of incomplete destratification of hypertrophic freshwater reservoir. *Hydrobiologia*, **559**, 85-100.
- Becker, V., Huszar, V.L.M. and Crossetti, L.O. (2009) Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia*, DOI 10.1007/s10750-009-9751-7.
- Benhardt, J., Elliott, J.A. and Jones, I.D. (2008) Modelling the effects on phytoplankton communities of changing mixed depth and background extinction coefficient on three contrasting lakes in the English Lake District. *Freshw. Biol.*, **53**, 2573-2586.
- Bicudo, C.E.M., Menezes, M., 2006. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições, 2 ed. Rima, São Carlos.
- Borges, P.A.F., Train, S. and Rodrigues, L.C. (2008) Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. *Hydrobiologia*, **607**, 63-74.
- Borics, G., Grigorszky, I., Szabó, S. and Padisák, J. (2000) Phytoplankton associations in a small hypertrophic fishpond in East Hungary during a change from bottom-up to top-down control. *Hydrobiologia*, **424**, 79-90.

Bormans, M., Ford, P.W. and Fabbro, L. (2005) Spatial and temporal variability in cyanobacterial populations controlled by physical processes. *J. Plankton Res.*, **27**(1) 61-70.

Bouvy, M., Molica, R., De Oliveira, S., Marinho, M. and Becker, B. (1999) Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. *Aquat. Microb. Ecol.*, **20**(3), 285-297.

Bouvy, M.A., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M. and Moura, A. (2000) Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquat. Microb. Ecol.*, **23**, 13-27.

Bouvy, M.A., Molica, R., Oliveira, S., Marinho, M. and Becker, B. (2001) Effects of a cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) on bacteria and zooplankton communities in Ingazeira reservoir (northeast Brazil). *Aquat. Microb. Ecol.*, **25**(3), 215-227.

Calijuri, M.C., Dos Santos, A.C.A. and Jati, S. (2002) Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP, Brazil). *J. Plankton Res.*, **24**(7), 617-634.

Chellappa, N.T. and Costa, M.A.M. (2003) Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. *Acta Oecol.*, **24**, S3-S10.

Chellappa, N.T., Chellappa, S.L. and Chellappa, S. (2008a) Harmful phytoplankton blooms and fish mortality in a eutrophicated reservoir of Northeast Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, **51**(4), 833-841.

Chellappa, N.T., Borba, J.M. and Rocha, O. (2008b) Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. *Braz. J. Biol.*, **68**(3), 477-494.

Costa, I.A.S., Azevedo, S.M.F.O., Senna, P.A.C., Bernardo, R.R., Costa, S.M. and Chellappa, N.T. (2006) Occurrence of toxin producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semiarid reservoir. *Braz. J. Biol.*, **66**, 211-219.

Crossetti, L.O. and Bicudo, C.E.M. (2008) Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garças pond): the assemblage index application. *Hydrobiologia*, **610**, 161-173.

Dantas, E.W., Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Arruda-Neto, J.D.T. and Cavalcanti, A.D.C. (2008) Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Bot. Brasil.*, **22**(4), 970-982.

Dokulil, M.T. and Teubner, K. (2000) Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia*, **438**, 1-12.

Downing, J.A., Mccauley, E., 1992. The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 37, 936-945.

Fonseca, B.M. and Bicudo, C.E.M. (2008) Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, **600**, 267–282.

Heo, W. and Kim, B. (2004) The effect of artificial destratification on phytoplankton in a reservoir. *Hydrobiologia*, **524**, 229-239.

Hillebrand, H., Dürselen, C., Kirschtel, D., Pollinger, U. and Zohary, T. (1999) Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.*, **35**, 403-424.

Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Marinho, M., Domingos, P. and Sant'Anna, C.L. (2000) Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia*, **424**, 67-77.

Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1989) Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 4: Nostocales. *Algol. Stud.*, **56**, 247-345.

Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1999) Cyanoprokayota 1. In: Ettl, H., Gartner, G., Heyning, H. and Mollenhauer, D. (eds.), *Chroococcales*. Subwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer, Stuttgart.

Komárek, J. and Anagnostidis, K. (2005) Cyanoprokayota 2. In: Bridel, B.; Krienitz, L., Gartner, G. and Schargerl, M. (eds.), *Oscillatoriales*. Subwasserflora von Mitteleuropa. Elsevier GmbH, München.

Komárek, J. and Cronberg, G. (2001) Some Chroococcalean and Oscilatorialen Cyanoprokaryotes from southern African lakes, ponds and pools. *Nova Hedwigia*, **73**, 129-160.

Margalef, R. (1983). *Limnologia*. Omega, Barcelona.

Marinho, M.M. and Huszar, V.L.M. (2002) Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). *Arch. Hydrobiol.*, **153**(3), 443-468.

Melo-Júnior, M., Almeida, V.L.S., Paranaguá, M.N. and Moura, A.N. (2007) Crustáceos planctônicos de um reservatório oligotrófico do Nordeste do Brasil. *Rev. Brasi. Zool.*, **9**(1), 19-30.

Mischke, U. (2003) Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecol.*, **24**, s11-s23.

Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Dantas, E.W. and Arruda-Neto, J.D.T. (2007a) Phytoplanktonic Associations: A Tool to Understand Dominance Events in a Tropical Brazilian Reservoir. *Acta Bot. Brasil.*, **21**(3), 641-648.

Moura, A.N., Dantas, E.W. and Bittencourt-Oliveira, M.C. (2007b) Structure of the phytoplankton in a water supply system in the state of Pernambuco – Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, **50**(4), 645-654.

Moustaka-Gouni, M. and Vardaka, E. (2007) Phytoplankton species succession in a shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): steady-state dominance of *Limnithrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hydrobiologia*, **575**, 129-140.

Naselli-Flores, L. and Barone, R. (1998) Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy). *Hydrobiologia*, **369/370**, 163-178.

Naselli-Flores, L. and Barone, R. (2003) Steady-state assemblages in a Mediterranean hypertrophic reservoir. The role of *Microcystis* ecomorphological variability in maintaining an apparent equilibrium. *Hydrobiologia*, **502**, 133-143.

Nogueira, M.G. (2000) Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicator of environmental compartmentalization in Jurumirim reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, **431**(2-3), 115-128.

O'Farrell, I., Sinistro, R., Izaguirre, I. and Unrein, F. (2003) Do steady state assemblages occur in shallow lentic environments from wetlands? *Hydrobiologia*, **502**, 197-209.

Paerl, H.W. and Huisman, J. (2008) Blooms like it hot. *Science*, **320**, 57–58.

Pennard, A., Bormans, M. and Lagadeuc, Y. (2008) Phytoplankton species turnover controlled by physical forcing at different time scales. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **65**,47-60.

Saker, M.L. and Griffiths, D.J. (2001) Occurrence of blooms of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya and Subba Raju in a north Queensland domestic water supply. *Mar. Freshw. Res.*, **52**, 907-915.

von Sperling, E.V., Ferreira, A.C.S. and Gomes, L.N.L. (2008) Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. *Desalination*, **226**, 169-174.

SRH. Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (2000) Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – Documento Síntese, Recife.

Strickland, J.D. and Parsons, T.R. (1965) A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, **125**, 1-185.

Toledo Jr., A.P., Talarico, M., Chinez, S.J. and Agudo, E.G. (1983) A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Camboriú, p.1–34.

Tundisi, J.G. (1990) Perspectives for ecological modeling of tropical and subtropical reservoirs in South America. *Ecol. Model.*, **52**(1/2), 7-20.

Utermöhl, H. (1958) Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, **9**, 1-38.

Valderrama, G.C. (1981) The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.*, **10**, 109-122.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mananciais utilizados para este estudo localizam-se próximos a importantes núcleos metropolitanos do Estado e servem de abastecimento de água para aproximadamente três milhões e 500 mil habitantes, 40% da população de Pernambuco. O crescimento demográfico do Estado apontou um aumento em torno de um milhão de habitantes nos últimos dez anos, especialmente na zona urbana, sem haver quase avanço nos setores sociais e econômicos. Conforme dados do IBGE, Pernambuco apresenta um dos piores índices de desenvolvimento humano, de mortalidade infantil e de analfabetismo do país, superando apenas os Estados da Paraíba, Maranhão, Piauí e Alagoas.

Sintomas destes números são observados no reduzido avanço de estratégias de uso sustentável dos solos e no aumento de problemas relacionados à gestão de resíduos sólidos e de efluentes domésticos e industriais no Estado. Elevadas cargas de fertilizantes e de nutrientes, oriundos de latifúndios na Zona da Mata e de áreas erodidas no Agreste, associada à elevada carga de nutrientes advindas de indústrias têxteis, especialmente no rio Capibaribe e de áreas urbanas circunvizinhas, é que alimentam o estado de eutrofização dos mananciais utilizados nesta tese.

Os ecossistemas estudados estão inseridos em áreas de Mata Atlântica e Caatinga, apresentando, portanto, comportamentos climáticos distintos. Foram verificadas áreas com elevada precipitação, bem distribuídas ao longo do ano, como observado na Zona da Mata, e áreas com baixa precipitação, como observado no Agreste inserida no clima semi-árido. A construção de mananciais nestas áreas apresenta finalidades que vão desde a contenção de enchentes até o armazenamento de água para abastecimento durante o período de estiagem.

O número de pesquisas relacionadas à ecologia do fitoplâncton aumentou nos últimos anos no estado de Pernambuco em reflexo aos registros de florações de cianobactérias nos mananciais. O aumento do interesse com pesquisas de cunho quantitativo foi mais evidente após o incidente de Caruaru, em 1996, onde dezenas de pessoas morreram intoxicadas com cianotoxinas.

Dos cinco reservatórios eutróficos estudados, foram verificadas florações algais em quatro. Estes *blooms* foram mais frequentes na região semi-árida e ocorreram especialmente durante o período de estiagem e, ao contrário do que se tem registro para ecossistemas do Nordeste, somente em condição de estratificação térmica.

A estratificação térmica foi verificada especialmente durante o período de estiagem em reservatórios com profundidade média em torno de 12 metros e durante todo o período em ecossistemas com profundidade superior a 15 metros. Padrão de mistura térmica ocorreu especialmente durante o período chuvoso em reservatórios com profundidade média menor que 12 metros e durante todo o ano em ecossistemas rasos (<7 metros de profundidade).

As espécies responsáveis pelos eventos de florações foram as cianobactérias *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju, nos reservatórios de Arcoverde e Pedra, e *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, nos reservatórios de Tapacurá e Jucazinho. Nestes ecossistemas em que ocorreram florações, as cianobactérias predominaram durante todo o ano, tanto em condição de mistura como de estratificação térmica. A diversidade beta destes ecossistemas foi baixa (<25), indicando que há pouca variação florística nas comunidades fitoplanctônicas em que as cianobactérias correspondem ao grupo mais abundante.

Em Duas Unas (Zona da Mata) foi verificado as menores biomassas fitoplanctônicas ($1,5 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), sendo observadas padrão térmico de mistura durante todo o período amostral. Isto favoreceu o estabelecimento de associações de diatomáceas, como *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Melosira varians* C. Agardh e *Urosolenia eriensis* (H.L. Smith) F.E. Round, boa parte do ano. O padrão de diversidade deste reservatório variou em relação aos outros estudados, sendo Duas Unas o ecossistema eutrófico com estrutura fitoplanctônica mais dissimilar.

A sazonalidade teve uma influência importante nos padrões de riqueza e biomassa algal nos reservatórios estudados. O maior número de táxons foi registrado durante o período chuvoso (103 spp.). No entanto, os reservatórios localizados na Zona da Mata (82 spp.), apresentaram uma diversidade algal menor que os localizados no Agreste (94 spp.). Os valores de biomassa foram mais elevados no Agreste ($18,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) que na Zona da Mata ($3,6 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$), sendo a diferença conspícua durante o período de estiagem. A precipitação foi o principal fator controlador do fitoplâncton nos ecossistemas no Nordeste do Brasil, apresentando relação inversa no comportamento da riqueza e biomassa fitoplanctônica.

No entanto, a influência da sazonalidade na dinâmica da comunidade fitoplanctônica foi mais baixa em reservatórios mais profundos e isto interferiu no comportamento das associações algais. Em ecossistemas rasos, as associações A e

H1, apresentaram maior abundância durante o período chuvoso. Em ecossistemas com maior profundidade, as variações na disponibilidade de luz e o padrão térmico foram determinantes na mudança de estrutura fitoplanctônica. Condição de estratificação em que $Z_{eu} < Z_{mix}$ foi preponderante para a manutenção de elevadas biomassas de cianobactérias cocoides no reservatório de Tapacurá, floração pontual de *M. aeruginosa* em Jucazinho e de *C. raciborskii* nos reservatórios de Pedra e Arcoverde. A substituição das associações C, S1 e Sn, relacionaram-se a redução da camada eufótica em vez da zona de mistura, sendo contrário ao verificado para a delimitação estas associações.

A abundância de espécies de outras divisões algais e, até de outras cianobactérias foram evidenciadas durante o período de mistura. Dentre estas espécies, destacam-se as cianobactérias *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis e Komárek, as euglenófitas *Phacus longicauda* (Ehrenberg) Dujardin e *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg, e o dinoflagelado *Peridinium* sp., especialmente nos reservatórios do Agreste. As cianobactérias *Geitlerinema amphibium* (C. Agardh) Anagnostidis e *Merismopedia tenuissima* Lemmermann, e as diatomáceas *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen e *Cyclotella meneghiniana* Kützing, ocorreram em ambas as zonas fitogeográficas e foram abundantes durante o período de mistura.

A instabilidade ambiental e a competição entre as algas dificultaram o estabelecimento de floração durante o período de mistura em todos os ecossistemas estudados e condicionaram as maiores diversidades algais registradas nos ecossistemas rasos em comparação com os de maior profundidade.

Portanto, o estudo da comunidade de algas planctônicas em cinco reservatórios eutróficos de Pernambuco, Nordeste do Brasil, revelou importantes características na ecologia destes organismos. A sazonalidade apresentou maior influência em ecossistemas rasos e, pouco influenciou na estrutura fitoplanctônica em reservatórios mais profundos, sendo o padrão térmico e a variação na disponibilidade de luz os principais atributos relacionados à mudança na estrutura das algas planctônicas nos ecossistemas estudados.

NORMAS DE SUBMISSÃO DA REVISTA ACTA OECOLOGICA

Editor-in-Chief:

R. Arditi

Ecologie des populations et communautés, Institut national agronomique Paris-Grignon, 16, rue Claude-Bernard, 75231 Paris cedex 05, France., Tel: +33 1 44 08 86 34, Fax: +33 1 44 08 72 57, Email: arditi@agroparistech.fr

Impact Factor: 1.456 (2009) *

* Journal Citation Reports®,

Aims & Scope

Acta Oecologica is a venue for the publication of original research articles in ecology. We encourage studies in all areas of ecology, including ecosystem ecology, community ecology, population ecology, conservation ecology and evolutionary ecology. There is no bias with respect to taxon, biome or geographic area. Both theoretical and empirical papers are welcome, but combinations are particularly sought. Priority is given to papers based on explicitly stated hypotheses.

The forum section is reserved for short papers with critical discussion of current issues in ecology, as well as comments and viewpoints on previously published papers. Acta Oecologica does not publish book reviews, but comments on new books are welcome in the forum section.

Before you begin

Ethics in Publishing

For information on Ethics in Publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/ethicalguidelines>.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>.

Submission declaration

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, without the written consent of the copyright-holder.

Contributors

Each author is required to declare his or her individual contribution to the article: all authors must have materially participated in the research and/or article preparation, so roles for all authors should be described. The statement that all authors have approved the final article should be true and included in the disclosure.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright see <http://www.elsevier.com/copyright>). Acceptance of the agreement will ensure the widest possible dissemination of information. An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights; for details you are referred to: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the paper for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated. Please see <http://www.elsevier.com/funding>.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Language and language services

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who require information about language editing and copyediting services pre- and post-submission please visit <http://www.elsevier.com/languagepolishing> or our customer support site at <http://epsupport.elsevier.com> for more information. Please note Elsevier neither endorses nor takes responsibility for any products, goods or services offered by outside vendors through our services or in any advertising. For more information please refer to our Terms & Conditions: <http://www.elsevier.com/termsandconditions>.

If you have difficulty with your submission or any other questions, please contact the editorial office: acta.oecologica@agroparistech.fr In case of necessity, our postal address is:

Acta Oecologica

Ecologie et Évolution (UMR7625, CNRS)

Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)

7 quai Saint Bernard Bât. A, 7ème étage, case 237

75252 Paris cedex 05 France/ Tel. +33 1 44 27 26 31/ Fax. +33 1 44 27 35 16

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 3 potential referees. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

Preparation

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. Do not embed "graphically designed" equations or tables, but prepare these using the wordprocessor's facility. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Do not import the figures into the text file but, instead, indicate their approximate locations directly in the electronic text and on the manuscript. See also the section on Electronic illustrations. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the "spell-check" and "grammar-check" functions of your wordprocessor.

Articles should be divided into sections in the following sequence: title page, abstract, keywords, introduction, materials and methods, results, discussion, conclusion, acknowledgements, references, tables, legends of figures and figures.

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to "the text". Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name, and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that telephone and fax numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address.
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a "Present address" (or "Permanent address") may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, "and", "of"). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number

consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Save text in illustrations as "graphics" or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times, Symbol.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.
- Submit each figure as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalised, please "save as" or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS: Vector drawings. Embed the font or save the text as "graphics".

TIFF: color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF: Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF: Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

DOC, XLS or PPT: If your electronic artwork is created in any of these Microsoft Office applications please supply "as is".

Please do not:

- Supply embedded graphics in your wordprocessor (spreadsheet, presentation) document;
- Supply files that are optimised for screen use (like GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will

appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to "gray scale" (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either "Unpublished results" or "Personal communication" Citation of a reference as "in press" implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by "et al." and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: "as demonstrated (Allan, 1996a, 1996b, 1999; Allan and Jones, 1995). Kramer et al. (2000) have recently shown"

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters "a", "b", "c", etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2000. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51-59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 1979. *The Elements of Style*, third ed. Macmillan, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 1999. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281-304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to Index Medicus journal abbreviations: <http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lji.html>;

List of serial title word abbreviations: <http://www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php>;

CAS (Chemical Abstracts Service): <http://www.cas.org/sent.html>.

Supplementary material

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, movies, animation sequences, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please ensure that data are provided in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. Video files: please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your supplementary information. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Submission checklist

It is hoped that this list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal's Editor for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One Author designated as corresponding Author:

- E-mail address
- Full postal address
- Telephone and fax numbers

All necessary files have been uploaded

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been "spellchecked" and "grammar-checked"
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black and white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://epsupport.elsevier.com>.

After Acceptance

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. The correct format for citing a DOI is shown as follows (example taken from a document in the journal *Physics Letters B*):
doi:10.1016/j.physletb.2003.10.071

When you use the DOI to create URL hyperlinks to documents on the web, they are guaranteed never to change.

Proofs

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves. Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 7 (or higher) available free from <http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>. Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site: <http://www.adobe.com/products/acrobat/acrrsystemregs.html#70win>. If you do not wish to use the PDF annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Therefore, it is important to ensure that all of your corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is

solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail. The PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use. Additional paper offprints can be ordered by the authors. An order form with prices will be sent to the corresponding author.

Author Inquiries

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission where available) please visit this journal's homepage. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle> and set up e-mail alerts to inform you of when an article's status has changed. Also accessible from here is information on copyright, frequently asked questions and more. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher.

NORMAS DE SUBMISSÃO DA REVISTA JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH

Editor-in-Chief:

Roger Harris

UK

Impact Factor: 1.897 (2008) *

* Journal Citation Reports®, Thomson Reuters

Instructions for Authors

Please follow these instructions carefully. The editors *will not* accept manuscripts that are not in accordance with these instructions: failure to follow the instructions will therefore slow down the processing of your manuscript.

Scope of the Journal

Journal of Plankton Research publishes innovative papers that significantly advance the field of plankton research. All kinds of marine, brackish and freshwater plankton are considered: viruses, bacteria, fungi, phytoplankton and zooplankton, including meroplankton and ichthyoplankton. The main topics covered are:

- plankton ecology and behaviour, including model studies
- plankton physiology, including experimental results
- genetics and taxonomy of planktonic organisms
- biological properties and content of natural waters as they impinge directly on plankton physiology and ecology
- development and testing of new methods for plankton research

Hypothesis-driven work is particularly welcomed; purely descriptive papers will generally not be considered. Investigations carried out using interdisciplinary methods are encouraged.

Categories of papers

The *Journal of Plankton Research* publishes papers in each of the following five categories:

- **Original articles**- traditional research papers. Text not normally exceeding 7500 words. Max. **20 printed pages** inclusive of text, appropriate references, figs, and tables.
- **Short communications** – these should not normally exceed 2000 words of text (excl. references and figures). The method, results and discussion should all be presented in a single, untitled section. Include a short Abstract (30 words) and present the acknowledgements and references as in a full-length paper. Max. **5 printed pages** inclusive of text, appropriate references, figs, and tables.
- **Horizons articles** - topical and provocative reviews; Manuscripts for consideration should be short, approximately 2500 words. Max. **8 printed pages** inclusive of text, appropriate references, figs, and tables
- **Review articles**- more comprehensive reviews on topics of wide general interest within plankton research. Potential authors are advised to contact the Editor regarding topic and proposed length.
- **Responses** - comments on, or replies to published papers, particularly Horizons articles, within 6 months of appearance in the Journal of Plankton Research; approximately 500 words. Max. **2 printed pages**.

*The aim of "Horizons" is to be somewhat provocative, to set hypotheses and to suggest methods for testing them. Based on a concise review of the current issues in a particular field of plankton research, the intention is to stimulate new research and to indicate new

directions. For example, [Xabier Irigoien \(2004\)](#) Some ideas about the role of lipids in the life cycle of *Calanus finmarchicus*. *J. Plankton Res.* **26**:259–263.

Journal of Plankton Research also publishes “Themed Clusters” of papers and occasional Special Issues on appropriate topical themes. These may be based on submissions at special sessions at scientific meetings or workshops. For example, “The role of zooplankton predator–prey interactions in structuring plankton communities”, *J. Plankton Res.*, **27**: 957. Please contact the [Editor-in-Chief](#) with proposals for themed clusters of papers or potential Special Issues.

Submission of manuscripts

Submission of a paper implies that it reports unpublished work and that it is not under consideration for publication elsewhere. If previously published tables, illustrations or more than 200 words of text are to be included then the copyright holder's permission must be obtained. For further information regarding the preparation of manuscripts before submission click [here](#). To submit a manuscript click [here](#).

Proofs

Page proofs are sent to authors as a PDF file by e-mail. To avoid delays in publication, proofs should be checked immediately for typographical errors and returned as instructed in the proof e-mail. Essential changes of an extensive nature may be made only by insertion of a Note Added in Proof.

Page charges will not be levied. Authors will, however, be charged for extensive changes made in proof and for special items such as colour that appear in the printed Journal (but see below under 'Illustrations' for inclusion of colour online without charge).

Reprints

The publishers supply free of charge 25 reprints and a unique URL that gives access to both PDF and html versions of the paper. Offprint order forms are sent out with the proofs, and must be returned with the proofs to Oxford University Press in order to claim the 25 free print copies or if extra offprints are required. If the form is not returned before the issue in which an article appears in print has gone to press then free print offprints will not be provided. Late orders submitted after the journal has gone to the press are subject to a 100% surcharge (to cover the additional printing cost).

Copyright

It is a condition of publication in the Journal that authors assign an exclusive [licence](#) to Oxford University Press. This ensures that requests from third parties to reproduce articles are handled efficiently and consistently and will also allow the article to be as widely disseminated as possible. In assigning a licence, authors may use their own material in other publications provided that the Journal is acknowledged as the original place of publication and Oxford University Press is notified in writing and in advance. (Note that a few employers, usually governmental organizations, prohibit such copyright or license assignment. If this applies to you, please indicate on the license assignment form that will be sent to you with the proofs).

Conflict of Interest

All authors must declare any conflicts of interest. When submitting your manuscript via Manuscript Central, you will be asked whether you have any conflicts of interest. As submitting author, it is your responsibility to ascertain any conflicts of interest from your co-

authors and to highlight these accordingly. If you are unable to declare any conflicts of interest on behalf of your co-authors, all contributing authors will need to complete and return Conflict of Interest forms. These must be sent to the editorial office by fax to: +44 (0)1865 355 969.

Any potential conflict of interest that might constitute an embarrassment to any of the authors if it were not to be declared and were to emerge after publication should be declared. It is the Corresponding author's responsibility to ensure that all authors adhere to this policy. If the manuscript is published, Conflict of Interest information will be communicated in a statement in the published paper.

Preparation of Manuscripts for Submission

Funding

Details of all funding sources for the work in question should be given in a separate section entitled 'Funding'. This should appear after the 'Acknowledgements' section.

The following rules should be followed:

- The sentence should begin: 'This work was supported by ...'
- The full official funding agency name should be given, i.e. 'National Institutes of Health', not 'NIH' (full RIN-approved list of UK funding agencies) Grant numbers should be given in brackets as follows: '[grant number xxxx]'
- Multiple grant numbers should be separated by a comma as follows: '[grant numbers xxxx, yyyy]'
- Agencies should be separated by a semi-colon (plus 'and' before the last funding agency)
- Where individuals need to be specified for certain sources of funding the following text should be added after the relevant agency or grant number 'to [author initials]'.

An example is given here: 'This work was supported by the National Institutes of Health [AA123456 to C.S., BB765432 to M.H.]; and the Alcohol & Education Research Council [hfygr667789].'

Oxford Journals will deposit all NIH-funded articles in PubMed Central. See http://www.oxfordjournals.org/for_authors/repositories.html for details. Authors must ensure that manuscripts are clearly indicated as NIH-funded using the guidelines above.

Author Self-Archiving/Public Access policy

For information about this journal's policy, please visit our [Author Self-Archiving policy page](#).

Open Access Option for Authors

Starting in July 2005, *Journal of Plankton Research* authors have had the option, at an additional charge, to make their paper freely available online immediately upon publication, under the Oxford Open initiative. After your manuscript is accepted, as part of the mandatory licence form required of all corresponding authors, you will be asked to indicate whether or not you wish to pay to have your paper made freely available immediately. If you do not select the Open Access option, your paper will be published with standard subscription-based access and you will not be charged.

For those selecting the Open Access option, the charges for *Journal of Plankton Research* vary depending on the institution at which the Corresponding author is based:

Optional Oxford Open charges:

For a Corresponding author based at an institution with an online subscription to *Journal of Plankton Research*:

Regular charge per paper – £900 / €1350 / \$1800

List B developing country charge* – £450 / €675 / \$900

List A developing country charge* – £0 / €0 / \$0

For a Corresponding author based at an institution that does not subscribe to the online journal:

Regular charge per paper – £1500 / €2250 / \$3000

List B developing country charge* – £750 / €1125 / \$1500

List A developing country charge* – £0 / €0 / \$0

*Visit <http://www.oxfordjournals.org/jnls/devel/> for list of qualifying countries

Orders from UK will be subject to a 17.5% VAT charge. For orders from the rest of the EU, we will assume that the service is provided for business purposes, please provide a VAT number for yourself or your institution and ensure you account for your own local VAT correctly.

The above Open Access charges are in addition to any page charges and colour charges that might apply.

If you choose the Open Access option you will also be asked to complete an Open Access charge form online. You will be automatically directed to the appropriate version of the form depending on whether you are based at an institution with an online subscription to *Journal of Plankton Research*. Therefore please make sure that you are using an institutional computer when accessing the form. To check whether you are based at a subscribing institution please use the Subscriber Test link for *Journal of Plankton Research*.

PREPARATION OF MANUSCRIPTS AND ONLINE SUBMISSION

Manuscripts should be in their final form when they are submitted so that proofs will require only correction of typographical errors.

Sections of the Manuscript

Typically papers should be divided into the following sequence of headed sections:

- Title (title page should also include author contact information and up to five keywords)
- Abstract (max. 200 words)
- Introduction
- Method
- Results
- Discussion
- Acknowledgements
- References
- Table and Figure legends
- Tables
- Figures

General Format of Submitted Manuscripts

- Manuscripts should occupy not more than the page limit for the manuscript category including text, all tables and figures. The Editor-in-Chief should be consulted prior to submission if this limit cannot be achieved
- Number each page to enable reviewers to refer to items in the manuscript easily.

- Use 1.5 line spacing with a 2 cm margin on all sides of the text.
- The text should be Times New Roman font size 12 (except if required within tables where size 10 may be used).
- Avoid footnotes.
- Use 'L' for litre (eg mL), not 'l'
- Nutrient concentrations should be reported as molar (not mass; i.e. μM nitrate (not μg nitrate-N L^{-1})
- Avoid use of 'reduce' (opposite of oxidise) except when for chemical usage.
- Use 'autumn' not fall.
- Identify sampling locations by latitude, longitude and by country as appropriate.
- Check the PDF for the clear reproduction of figures, special symbols and Greek letters.
- Differentiate between the letter O and zero, and the letters l and I and the number 1.

Formatting References

Authors are responsible for the accuracy of the References. Published articles and those in press (state the journal which has accepted them) may be included.

In the text a reference should be cited by author and date as:

...experiments by Author (Author, 1989) have demonstrated...,

'or'

...as reported earlier (Author and Author, 1985; Author et al., 1998)...

Do **NOT** place text other than the author and date within the parentheses. No more than two authors may be cited per reference; if there are more than two authors use et al. If in doubt, please consult the most recent issue of the Journal.

Reference Citation:

At the end of the manuscript the citations should be typed in alphabetical order by first author's surname followed by initials. References should include, in the following order:

- Authors' names
- Year
- Paper title
- Journal title
- Volume number and inclusive page numbers

The name of the journal should be abbreviated according to the World List of Scientific Periodicals. Book references should also include the editors and the name and address of the publisher.

Some examples:

Langeland, A. and Rognerud, S. (1974) Statistical analyses used in the comparison of three methods of freshwater zooplankton sampling. *Arch. Hydrobiol.*, **3**, 403--410.

Russell, F. A. and Yonge, M. (eds) (1976) *Advances in Marine Biology*. Vol. 13. Academic Press, London.

Schimizu, I. (1978) Dinoflagellate toxins. In Scheuer, D. J. (ed.), *Marine Natural Products, Chemical and Biological Perspectives*. Vol. 1. Academic Press, London, pp. 1--42.

Personal communications should cite the name and location of the author (J. Smith, Sydney, personal communication) and unpublished data should be cited as '(unpublished data)'. Both should be used as sparingly as possible.

Legends for Tables and Figures

These should be listed on a separate, numbered page of the manuscript (or several pages if needed) after the References. Define all symbols and abbreviations used in the figure unless these are defined within the figure itself. Common abbreviations and those defined in the preceding text need not be redefined in the legend.

Tables

Tables should be typed on separate pages and numbered consecutively with Roman numerals. They should be self-explanatory and include a brief descriptive title. They should be of such a size that, when typeset, they will easily fit onto a Journal page, the type area of which is 220 (height) x 164 mm (width).

Footnotes to tables indicated by lower case letters are acceptable, but they should not include extensive experimental detail.

Figures

All illustrations (line drawings and photographs) should be referred as 'Fig. 1' throughout text and legends.

Electronic illustrations submitted to the Journal must:

- use Adobe Postscript fonts, not TrueType or system 'bitmap' fonts
- be converted to grayscale or bitmap mode if originally in colour but are to be reproduced in black and white
- have any unnecessary white space cropped from around the outside of the image if the file is a .tif file.
- each be saved in a separate file. If a figure has multiple parts (e.g., Fig. 1A, Fig. 1B) all parts should be saved into one file arranged as the author wishes them to appear in the final publication
- have a resolution of 600 dpi for line figures, and 300 dpi for half tones) for publication, saved as .tif, .jpg, .gif, .bmp, .eps, Word (or .rtf) or PowerPoint files
- if they are to be reproduced in colour, be in CMYK, not RGB mode, and saved at 300 dpi
- always use the latest version of the software program available. Files from older versions often lose integrity when opened in newer versions.

Line Figures

Line figures should be the size intended for publication (maximum dimensions 220 x 164 mm including legends), with uniform lettering style which is in proportion with the overall dimensions of the drawing. All lines, letters and symbols should be black: grey does not reproduce on printing. No additional artwork, re-drawing or typesetting will be done. Scale bars, where appropriate, should be included within the figure, not in the legend.

Photographs

Photographs must be submitted for printing in the desired final size so that reduction can be avoided. Photographs, including their legends, must not exceed 220 x 164 mm. Photographs should be of sufficiently high quality with respect to detail, contrast and fineness of grain to withstand the inevitable loss of contrast and detail inherent in the printing process. Please indicate the magnification by a rule on the photograph. Do not state the magnification in the legend: it may be necessary to change photographs slightly to improve the layout of the paper.

Colour Figures

Colour illustrations are accepted, but will incur a charge of **£350** per figure. Illustrations for which colour is not essential can be reproduced in black and white in the print Journal and, additionally, in colour as online Supplementary Data. This option is not subject to colour charges. Authors should indicate clearly that they would like to take up this option in their original submission.

Colour Figures as Supplementary Data

Illustrations for which colour is not essential can be made available online as Supplementary data, linked to the online manuscript. The availability of additional colour images as Supplementary Data should be mentioned where relevant in the main text of the manuscript. *Process.* Authors should indicate clearly that they would like to take up this option in their original submission. Colour figures for online-only reproduction must be submitted at the same time as the main manuscript. They cannot be altered or replaced after the paper has been accepted for publication. The figures must be identical to those reproduced in the print journal, but for the addition of colour.

Conventions

In general, the Journal follows the conventions of the CBE Style Manual (Council of Biology Editors, Bethesda, MD, 1983, 5th edn). Follow Chemical Abstracts and its indexes for chemical names. For guidance in the use of biochemical terminology follow the recommendations issued by the IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature, as given in Biochemical Nomenclature and Related Documents, published by the Biochemical Society, UK. For enzymes use the recommended name assigned by the IUPAC-IUB Commission on the Biochemical Nomenclature, 1978, as given in Enzyme Nomenclature, published by Academic Press, New York, 1980. Where possible, use the recommended SI (Système International) units. Genotypes should be italicized (underline in typed copy): phenotypes should not be italicized. For bacterial genetics nomenclature follow Demerec *et al.* (1966) *Genetics*, **54**, 61-76.

Abbreviations

Try to restrict the use of abbreviations to SI symbols and those recommended by the IUPAC-IUB. Abbreviations should be defined in brackets after their first mention in the text. Standard units of measurements and chemical symbols of elements may be used without definition in the body of the paper.

Chemical formulae and mathematical equations

Wherever possible, write mathematical equations and chemical formulae on a single line. Submit complicated chemical structures as artwork.

Online Submission

PREPARING YOUR MANUSCRIPT - please ensure that the required formats for text and figure submission are followed strictly

1. Follow the instructions to authors regarding the format of your manuscript and references.
2. Prepare your manuscript, including tables, using a word processing program and save it as a .doc or .rtf file. All files in these formats will be converted to .pdf format upon submission.

Please note: This journal does not accept Microsoft Word 2007 documents at this time. Please use Word's "Save As" option to save your document as an older (.doc) file type

3. Prepare your figures at publication quality resolution, using applications capable of generating high-resolution .tif files (600 d.p.i. for line drawings and 300 d.p.i. for

colour and half-tone artwork). The printing process requires your figures to be in this format if your paper is accepted and printed. For useful information on preparing your figures for publication, go to <http://cpc.cadmus.com/da/index.jsp>. For online submission, please also prepare a second version of your figures at low-resolution (72 d.p.i.) for use in the review process; these versions of the figures can be saved in .jpg, .gif, .tif or .eps format.

4. For online submission, please upload the low-resolution versions of the figures as separate files (**do not incorporate them into the main body of your text**).
5. When preparing figures, please make sure that any characters or numbers included in the figures are large enough to read on-screen.
6. Prepare any other files that are to be submitted for review, including any supplementary material. The permitted formats for these files are the same as for manuscripts and figures. Other file types, such as Microsoft Excel spreadsheets and Powerpoint presentations may be uploaded and will be converted to .pdf format.
7. When naming your files, please use simple filenames and avoid special characters and spaces. If you are a Macintosh user, you must also type the three-letter extension at the end of the file name you choose (e.g. .doc, .rtf, .jpg, .gif, .tif, .ppt, .xls, .pdf, .eps, .mov).

Submitting your Manuscript

Now that your files are ready, visit the [online submission website](#).

1. Note: Before you begin, you should be sure you are using an up-to-date version of Netscape or Internet Explorer. If you have an earlier version, you can download a free upgrade using the icons found at the bottom of the 'Instructions and Forms' section of the online submission web site.
 - **First, you will need to log into the online submission site.**
 - If you know your login details (i.e., you have submitted or reviewed a manuscript in this journal before), use your User ID and Password to log on. (Your user ID will usually be your email address.)
 - If you do not know your login details, check to see if you are already registered by clicking on the 'Forgot your password' button and following the on-screen instructions. If you are not already registered, you can register by clicking on the 'Create account' button on the login screen and following the on-screen instructions.
 - If you have trouble finding your manuscripts or have other problems with your account, do not create another account. Instead, please contact the journal's editorial office.
2. To submit a new manuscript, go to the 'Author Centre', and click on "Click here to submit a new manuscript", and then follow the on-screen instructions. There are up to 7 steps for you to follow to submit your manuscript. You move from one step to the next by clicking on the 'Next' button on each screen or back to the previous screen by clicking on the 'Previous' button. Please note that if you click on the 'Back' or 'Forward' buttons on your browser, the information you have entered will not be saved. At any stage you can stop the submission process by clicking on the 'Main Menu' button. Everything you have typed into the system will be saved, and the partially completed submission will appear under 'unsubmitted manuscripts' in

your 'Author Centre'. To return to the submission process you will need to click on the button 'Continue Submission' against the relevant manuscript title.

3. When submitting your manuscript, please enter your manuscript data into the relevant fields, following the detailed instructions at the top of each page. You may like to have the original word-processing file available so you can copy and paste the title and abstract into the required fields. You will also be required to provide email addresses for your co-authors, so please have these to hand when you log onto the site.
 - **When you come to upload your manuscript files via the 'File Upload' screen:**
 - Enter individual files using the 'Browse' buttons and select the appropriate 'File type' from the pull-down menu. The choices may vary from journal to journal but will always include a 'Main Document' (your manuscript text).
 - Upload your files by clicking on the 'Upload files' button. This may take several minutes. Click on the SAVE button to confirm the upload. Repeat these steps until you have uploaded all your files.
 - If you have uploaded any figures or tables you will be prompted to provide figure/table captions and 'file tags' that will link figures to text in the HTML proof of your main document.
 - Once you have uploaded all your files, indicate the order in which they should appear in your paper. This will determine the order in which they appear in the consolidated PDF used for peer review.
 - After the successful upload of your text and images, you will need to view and proofread your manuscript. Please do this by clicking on the blue HTML button or a PDF button.
 - If the files have not been uploaded to your satisfaction, go back to the file upload screen where you can remove the files you do not want and repeat the process.
4. When you are satisfied with the uploaded manuscript proof click on 'Next' which will take you to the 'Review & Submit' screen. The system will check that you have completed all the mandatory fields and that you have viewed your manuscript proof. It will also present you with a summary of all the information you have provided and give you a final chance to edit it. If there is a red cross next to any section this will indicate that not all the fields have been filled in correctly. You may either go back to the
5. When you have finished reviewing this information press 'Submit'.
6. After the manuscript has been submitted you will see a confirmation screen and receive an email confirmation stating that your manuscript has been successfully submitted. This will also give the assigned manuscript number, which is used in all correspondence during peer review. If you do not receive this, your manuscript will not have been successfully submitted to the journal and the paper cannot progress to peer review. If this is the case your manuscript will still be sitting in the 'Unsubmitted Manuscripts' section of your 'Author Centre' awaiting your attention.
7. If you return to your 'Author Centre' you will notice that your newly submitted manuscript can be found in the 'Submitted Manuscripts' area. The 'Status' section provides information on the status of your manuscript as it moves through the review process.

Submitting a Revised Manuscript

1. Logon to the online submission web site as before and, in the 'Author Centre', click on 'Manuscripts to be Revised'. You will then see the title of any manuscripts you submitted that are under revision.
2. If you click on 'View comments/respond' you will see the editor's letter to you together with the referees' comments. You may cut and paste your responses into the text areas at the bottom of the screen.
3. If you click on the manuscript title you will reach the 'File Manager' screen. Here you can upload the files that constitute your revised manuscript. To facilitate the production process, it is essential that you upload your revised manuscript as a .doc or .rtf file, and not in .pdf format.

IMPORTANT. Your images are required as high-resolution .tif files (600 d.p.i. for line drawings and 300 d.p.i. for colour and half-tone artwork). For useful information on preparing your figures for publication, go to <http://cpc.cadmus.com/da/index.jsp>. Please note that publication of your manuscript will not proceed until figures suitable for reproduction are received.

Getting Help

If you experience any problems during the online submission process please use the 'Author Help' function, which takes you to specific submission instructions, or 'Get Help Now', which takes you to the Frequently Asked Questions page. Alternatively, contact the Manuscript Central support line by email (support@scholarone.com) or telephone (+1 434 817 2040 x167).

You can also contact the Journal of Plankton Research editorial office by email.