



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais



**Composição do fitoplâncton e cianotoxinas
em um reservatório utilizado para o abastecimento
público: o efeito do tratamento de água
convencional**

Cíntia Rosado de Almeida

Orientador: Danilo Giroldo
Co-Orientador: João Sarkis Yunes

Rio Grande
2014



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais



**Composição do fitoplâncton e cianotoxinas em um reservatório
utilizado para o abastecimento público: o efeito do tratamento de
água convencional**

Aluno: Cínthia R. de Almeida

Orientador: Danilo Giroldo

Co-Orientador: João Sarkis Yunes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande
2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos, que, de alguma forma estiveram presentes, ainda que só em pensamento.

A Deus, pelo seu imenso amor e por sempre me dar a resposta que eu preciso,

A FURG e ao PPGBAC e ao seu corpo docente, pela minha formação moral e intelectual.

A CAPES/FAPERGS pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores do mestrado, da graduação, da vida... Pelo aprendizado, pela amizade, vocês são os melhores pra mim!

As professoras Luciana Cardoso e Vanessa Becker pela ajuda na identificação do dinoflagelado.

Ao pessoal do SAMAE, sempre atenciosos e prestativos, em especial a Fernanda, Rovana, Eliara, Graziela e Celso;

Aos meus orientadores, Sarkis e Danilo. Apesar de suas vidas corridas, tudo deu certo! Aprendi com vocês, só tenho a agradecer!

Aos meus amigos, Roberta, Jéssica, Danusa, Alzira, Daiane, Alexandre, desculpem a ausência, mas levo vocês no coração! Podem ter certeza que foram importantes, mesmo com nossos raros encontros...

Aos colegas e amigos de laboratório, Juliane, Juliana, Pablo, Felipe, Edi, Andressa, Natalia, Luiza, Amália, Lucas e Mariana, pelas nossas conversas, desabafos, às tardes fitness, mas também as tardes de comilanças, principalmente durante os momentos finais da dissertação...

A minha família: Pai, Mãe, obrigada por tudo, sempre! Vocês são meu exemplo, meu orgulho, Amo vocês! Aos meus irmãos, Duda, Leandro e Renan, amo vocês!

A Tia Norma pelo carinho, preocupação e por usar a sua experiência para indicar o melhor caminho...

A Clarinha, por me dar a oportunidade de ser sua segunda dinda, e ao Gabriel, pelas travessuras, brincadeiras e risadas, quantas vezes desejei passar o dia com vocês, com a paz que me trazem...

A minha segunda família, a Fatima, André, Elisa, Pedro e Pablo, obrigado por tudo! Pelo acolhimento, pelo carinho, amizade... Amo vocês!

Enfim, ao Pablo, ao mesmo Pablo de sempre! Obrigada pela amizade, companheirismo, amor e compreensão! Te amo!

RESUMO

Florações de cianobactérias nocivas ocorrem frequentemente em reservatórios brasileiros, devido ao incremento de nutrientes pela eutrofização e pelas mudanças climáticas, como o aquecimento global. Estas florações alteram a qualidade dos corpos hídricos, produzindo compostos de gosto e odor e cianotoxinas, que representam um problema para as Estações de Tratamento de Água (ETAs). Estes compostos, quando dissolvidos na água dificultam os tratamentos convencionais. Além das cianobactérias, um dinoflagelado exótico tem ocorrido em águas doces brasileiras, incluindo reservatórios utilizados para o abastecimento público. Os reservatórios de Caxias do Sul (RS – Brasil) são gerenciados pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) e apresentam um histórico de florações de cianobactérias nocivas, como *Dolichospermum* Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault e *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann, dentre outras. Além disso, desde 2012, tem ocorrido nestes reservatórios florações de *Ceratium furcoides*. Este organismo quando em extensas florações tem sido relacionado à perda da qualidade dos corpos hídricos. O reservatório Maestra foi construído entre os anos de 1965-1970 e abastece 22% da população de Caxias do Sul. Este reservatório fornece água para a ETA Celeste Gobatto, que utiliza o método convencional de tratamento da água. Este trabalho está estruturado em três capítulos. O primeiro consiste de uma revisão bibliográfica de assuntos relevantes acerca do histórico do monitoramento da qualidade dos reservatórios no Brasil, da biologia de algas e cianobactérias, e as principais cianotoxinas e acidentes devido à intoxicação no Brasil. Além disso, é feita uma breve revisão sobre o tratamento convencional da água, mostrando a importância de cada etapa para a remoção das impurezas, de acordo com os padrões de potabilidade da Portaria 2914. O segundo capítulo é manuscrito na forma de artigo científico intitulado “Composição de algas, cianobactérias e cianotoxinas no reservatório Maestra – Caxias do Sul, RS – Brasil”. Este estudo foi realizado entre janeiro de 2012 a abril de 2013. O terceiro capítulo consta de um manuscrito na forma de artigo científico, intitulado “Efeito do tratamento de água convencional na remoção de algas, cianobactérias e cianotoxinas em uma Estação de Tratamento de Água Convencional”. A eficiência de remoção foi avaliada em escala piloto, em uma Estação de Tratamento de Água de Caxias do Sul – RS a qual utiliza o método convencional de tratamento.

Palavras-chave: *Ceratium furcoides*, cianobactérias, tratamento convencional de água, *Microcystis* sp., microcistinas.

Abstract

Harmful cyanobacteria blooms occur frequently in Brazilian reservoirs, due to increase of nutrients by eutrophication and climatic changes, like the global warming. These blooms change the quality of the water bodies, producing odor and taste compounds and cyanotoxins representing a problem to Water Treatment Plants (WTP). These compounds when dissolved in water difficult the conventional water treatment. Besides the cyanobacteria, an exotic dinoflagellate has occurred in Brazilian fresh waters, including public supply reservoirs. The reservoirs of Caxias do Sul – RS (Brazil) are managed by the Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) and have a historic of harmful cyanobacteria blooms like *Dolichospermum* Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault and *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann, among others. Furthermore, since 2012, blooms of *Ceratium furcoides* have occurred in these reservoirs. This organism when extensive blooms have been related to loss of water bodies quality. The Maestra reservoir was built during 1965-1970 years and supplies 22% of Caxias do Sul. This reservoir provides water to Celeste Gobatto WTP that uses the conventional method of water treatment. This work is structured in three chapters. The first consists of a literature review of relevant topics about the quality management of Brazilian reservoirs, biology of algae and cyanobacteria and the main cyanotoxins and accidents due to intoxication in Brazil. In addition, is performed a brief review of the conventional water treatment, showing the importance of each step to remove impurities according to potability standards of Portaria 2914. The second chapter consists of a manuscript entitled "Composition of algae, cyanobacteria and cyanotoxins in the Maestra reservoir - Caxias do Sul, RS - Brazil". This study was conducted from January 2012 to April 2013. The third chapter consists of a manuscript entitled "Effect of conventional water treatment to removing algae, cyanobacteria and cyanotoxins in a Water Treatment Plant". The efficiency of removal was evaluated by pilot scale in a Water Treatment Plant of Caxias do Sul - RS which uses the conventional method of treatment.

Key words: *Ceratium furcoides*, conventional water treatment, cyanobacteria, *Microcystis* sp., microcystins.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xi
- CAPÍTULO 1 -	12
Monitoramento e fiscalização da Qualidade das águas no Brasil.....	12
Biologia e ocorrência de algas e cianobactérias	14
Cianotoxinas e acidentes relacionados à sua exposição	17
Tratamento da água para consumo humano	19
Coagulação, Floculação e Decantação	20
Filtração.....	23
Desinfecção.....	23
Reservatórios de Caxias do Sul – RS (Brasil)	25
Motivação e Justificativa do trabalho	27
Objetivos.....	29
Objetivo Geral	29
Objetivos Específicos.....	29
Referências Bibliográficas	30
- CAPÍTULO 2 -	39
Resumo	40
Abstract	41
Introdução.....	41
Metodologia	44
Local de estudo.....	44
Composição fitoplanctônica	45
Análise de microcistinas	46
Resultados.....	46
Discussão	52
Conclusões.....	55
Referências Bibliográficas	56
- CAPÍTULO 3 -	60
Resumo	61
Abstract	62

Introdução.....	62
Metodologia.....	64
Local de Estudo	64
Experimento para avaliação do Efeito do Tratamento água na remoção de algas, cianobactérias e cianotoxinas.....	65
Resultados.....	67
Discussão	71
Conclusões.....	75
Referências Bibliográficas	76

LISTA DE FIGURAS

- Capítulo 1 -

Figura 1. Estação de Tratamento de Água (ETA) na ETA Celeste Gobatto – Caxias do Sul, RS. Brasil.

- Capítulo 2 -

Figura 1. Reservatório Maestra (Caxias do Sul – RS, Brasil).

Figura 2. Monitoramento semanal do fitoplâncton e microcistinas no reservatório Maestra em Caxias do Sul (RS-Brasil) durante o período de janeiro de 2012 a abril de 2013.

Figura 3. Abundância relativa da comunidade fitoplanctônica com ênfase no grupo das cianobactérias no reservatório Maestra entre os meses de janeiro/2012 a abril/2013.

Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura do dinoflagelado *Ceratium furcoides* do reservatório Maestra em Caxias do Sul (RS-Brasil).

Figura 5. Análise de agrupamento utilizando o coeficiente de correlação como medida de similaridade da comunidade fitoplanctônica no reservatório Maestra – Caxias do Sul (RS/Brasil) no período de janeiro de 2012 a abril de 2013.

- Capítulo 3 -

Figura 1. Reservatório Maestra (Caxias do Sul – RS, Brasil).

Figura 2. Remoção de clorofila-a, células e microcistinas durante o tratamento: 1) Água Bruta do Reservatório; 2) Entrada da ETA; 3) Após a sedimentação; 4) Águafiltrada; e 5) Água tratada final. Teste post hoc de Fisher ($p < 0,05$) para: *Microcystis* sp. (letras maiúsculas) *Ceratium furcoides* (letras minúsculas).

LISTA DE TABELAS

- Capítulo 3 -

Tabela 1. Contagem celular e contribuição de cada Etapa do tratamento convencional na remoção de células, microcistinas e clorofila-a durante o tratamento da água na ETA Celeste Gobatto – Caxias do Sul (RS): 1) Água Bruta do Reservatório; 2) Entrada da ETA 3) Após a sedimentação; 4) Água filtrada; e 5) Água tratada final.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Monitoramento semanal da comunidade fitoplanctônica e microcistinas na água bruta da Maestra e tratada pela ETA Celeste Gobatto, durante o período de janeiro de 2012 e abril de 2013.

Anexo 2 – Fotos obtidas por meio de MEV e MO: *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans e *Microcystis* sp.

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

AGUAAN – Agilização do Gerenciamento e Utilização de Águas com Algas

Nocivas

ANA – Agência Nacional das Águas

ANA-a – Anatoxina-a

ANA-a(S) – Anatoxina-a(s)

Cl₂ – Gás cloro

ClO⁻ - Hipoclorito

CLAE – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CYN – cilindrospermopsina

DC - decarbamoil

ETA – Estação de Tratamento de Água

FAD – Flotação por Ar Dissolvido

FLD – Fluorescência

FUNASA – Fundação Nacional da Saúde

GTX - Goniautoxinas

HOCl – Ácido Hipocloroso

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LCF – Laboratório de Ficotoxinas

MC - microcistina

NOD - nodularina

PSP – Paralytic Shellfish Poisoning

pH – Potencial Hidrogeniônico

SAMAE – Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto

STX - saxitoxinas

THL - Trihalometanos

UV - ultravioleta

VMP – Valor Máximo Permitido

WHO – World Health Organizatio

- CAPÍTULO 1 -

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Monitoramento e fiscalização da Qualidade das águas no Brasil

Através das Portarias brasileiras, os recursos hídricos utilizados na captação de água, assim como a água tratada final tem estabelecidos alguns critérios acerca das condições e frequência de monitoramento da água, assim como o Valor Máximo Permitido (VMP) para diversos parâmetros Físicos, Químicos e Biológicos. Os parâmetros avaliados pelas Portarias incluem análises da presença de substâncias químicas que representam riscos a saúde (produtos orgânicos, inorgânicos, agrotóxicos e desinfetantes), padrões organolépticos da água (cor, gosto, odor, turbidez, etc.) e microbiológicos (coliformes, *Escherichia coli*, algas, cianobactérias e cianotoxinas) seguindo as recomendações da Organização Mundial da Saúde (Guidelines for Drinking-water Quality, WHO 2011).

A primeira Portaria brasileira a estabelecer a análise de cianobactérias e cianotoxinas como um parâmetro para análise de qualidade e potabilidade da água foi a Portaria 1469 (29/12/2000), 23 anos após o lançamento da primeira Portaria brasileira. Nesta Portaria foi determinado que o monitoramento das cianobactérias deveria ser realizado com frequência mensal quando o número de células fosse menor que $10000 \text{ cél.mL}^{-1}$ e semanal se superior. Além disso, sempre que a contagem das cianobactérias estivesse acima de 20.000 céls.mL⁻¹ o monitoramento deveria se estender para o efluente da estação. Quanto a análise de cianotoxinas, nesta Portaria ficou determinado a obrigatoriedade na análise de microcistinas, com VMP de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$ enquanto que

a análise de saxitoxinas ($3\mu\text{g.L}^{-1}$) e cilindrospermopsinas ($15\mu\text{g.L}^{-1}$) era recomendada. Em 25/03/2004, a Portaria 518 definiu prazos para o cumprimento e adequação as definições estabelecidas na Portaria 1469.

Em 12/12/2011 foi lançada a Portaria 2914, a qual estabeleceu algumas mudanças quanto às concentrações e obrigatoriedade de análises das cianotoxinas em relação à Portaria 1469. Definiu-se como obrigatória a análise de saxitoxinas, não alterando o Valor Máximo Permitido (VMP) definido na Portaria anterior. Nesta Portaria, as análises de cilindrospermopsinas tiveram seu VMP reduzido para $1\mu\text{g.L}^{-1}$, no entanto, esta análise é obrigatória somente quando encontrada na água bruta a presença de algum gênero de cianobactéria já conhecido como produtor desta toxina.

A Portaria brasileira apesar de tomar como base as diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde é mais rígida que aquela uma vez que estabelece VMP para saxitoxinas e cilindrospermopsinas, enquanto a primeira estabelece estes limites apenas para microcistina-LR. Estas diretrizes são periodicamente reformuladas sempre que é percebida a necessidade de inserção de novos parâmetros a serem analisados ou a alteração de algum limite já presente na Portaria. Este estudo dará ênfase para estudo de dois parâmetros biológicos considerados de grande importância para o monitoramento da qualidade da água para consumo humano: fitoplâncton e cianotoxinas.

Biologia e ocorrência de algas e cianobactérias

A eutrofização, uma das formas de degradação dos corpos d'água, é o fenômeno de aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio nos ecossistemas aquáticos é responsável pelo aumento da densidade fitoplanctônica em ambientes costeiros e continentais (Paerl & Huisman, 2008). A comunidade fitoplanctônica é formada por organismos em sua maioria fotoautotróficos, que, em águas interiores são representados por praticamente todos os grupos algais. A predominância de um ou outro grupo varia pela característica do ambiente, no entanto, as cianobactérias, clorofíceas e dinoflagelados normalmente formam uma parcela importante da comunidade fitoplanctônica (Esteves, 2011).

As cianobactérias são organismos cosmopolitas, sendo sua grande maioria pertencente a corpos d'água interiores. São organismos procariotos que apresentam como principais pigmentos a clorofila-a e a ficocianina, que conferem a coloração azul-esverdeada aos organismos (Rippka 1988). São os organismos mais resistentes do fitoplâncton, podendo ser encontradas em ambientes terrestres, na água doce e nos oceanos, em locais com temperaturas e profundidades extremas. O enriquecimento das águas devido à eutrofização tem promovido à diminuição da diversidade fitoplânctônica e o crescimento de cianobactérias em extensas florações, provocando o desequilíbrio da biodiversidade aquática (Dokulil & Teubner, 2000; Paerl & Huisman, 2008). As mudanças climáticas presenciadas nos últimos tempos como o aquecimento global e as mudanças no regime hidrológico tem favorecido o aumento e a expansão geográfica de florações de cianobactérias

produtoras de cianotoxinas em maior escala que a eutrofização (Paerl & Paul, 2012).

Florações de cianobactérias são comuns em ecossistemas aquáticos e reservatórios brasileiros, sendo o principal enfoque dado a ocorrência das cianobactérias *Dolichospermum* sp., *Microcystis* sp. e *Cylindrospermopsis* sp. (Soares et al., 2013). Esta dominância pode ser explicada, dentre outros fatores, pela capacidade que estes organismos tem de se adaptar a temperaturas elevadas, capturar luz em comprimentos de onda não utilizáveis por outros autotróficos e pela possibilidade de se desenvolverem em condições com uma razão Nitrogênio:Fósforo e de carbono orgânico dissolvido baixas (Dokulil & Teubner 2000). Além disso, algumas espécies podem apresentar especializações, como formas de resistência (acinetos), fixação de nitrogênio (heterócitos) ou vesículas gasosas (flutuação) (Stainer 1988; Graham et al., 2009).

As cianobactérias podem ocorrer como formas unicelulares solitárias, outras com formas pluricelulares com a presença de tricomas ou formando colonias de diversas formas e tamanhos, envoltas por mucilagem polissacarídica (Van Den Hoek, 1995). Tem importância ambiental, devido à característica simbiótica e capacidade de fixação de nitrogênio de algumas espécies, e a saúde humana, devido ao potencial biotecnológico para a produção de medicamentos (Graham et al., 2009), no entanto, quando em florações, podem gerar diversos problemas em ambientes aquáticos, como a alteração da cor, sabor e odor da água, pela presença de compostos como a Geosmina e o 2-MIB (Sirtori 2006). Além de alterar as características da água, podem produzir e liberar compostos tóxicos provenientes do seu metabolismo

secundário (Antoniou et al., 2005). Conhecidos também como cianotoxinas, estes compostos podem afetar os seres humanos e outros animais através da exposição via alimento, ar ou águas contaminadas e representam uma das maiores preocupações para empresas de monitoramento da qualidade das águas interiores e de abastecimento público.

As clorofíceas são algas verdes eucarióticas e cosmopolitas, com uma grande diversidade, sendo 90% dulciaquícolas (Van De Hoek et al., 1995). Em reservatórios utilizados para o abastecimento de água é comum a ocorrência de algas verdes, sendo, muitas vezes, as mais representativas em termos de número de táxons (Tucci et al., 2006; Moss 2014), variando apenas em composição e densidade dependendo das condições ecológicas de cada sistema. Não há registros na literatura acerca da produção de toxinas e problemas operacionais que podem causar para as Estações de Tratamento de Água. Em um reservatório brasileiro subtropical utilizado para o abastecimento de água em Caxias do Sul as espécies mais importantes em termos de biomassa foram *Nephrocytium* Nägeli sp., *Eutetramorus* Walton sp. e *Coelastrum* Nägeli sp. (Becker et al., 2009).

Os dinoflagelados são organismos unicelulares, sendo 90% de seus representantes de ambiente marinho. O grupo é formado por espécies heterotróficas, com cloroplasto ausente e espécies autotróficas providas de cloroplasto com clorofila a e c, além de outros pigmentos acessórios (Graham et al., 2009). Diversas espécies apresentam dois flagelos para movimentação e deslocamento e armadura celulósica, formadas pelo encaixe de placas. Estas estruturas permitem a flutuação dos organismos, aumentando o atrito da célula com a água (Van De Hoek et al., 1995). Alguns dinoflagelados marinhos são

produtores de neurotoxinas (saxitoxinas e brevetoxinas), toxinas diarréicas (ácido ocadáico, dinofisistoxinas), ciguatoxinas e azaspirácidos (Camacho et al., 2007), no entanto, não há registros quanto a produção de toxinas por dinoflagelados de água doce. Nos últimos anos no Brasil foi registrado um aumento das florações de dinoflagelados do gênero *Ceratium* Schrank e *Peridinium* Ehrenberg na água doce, especialmente em reservatórios (Silva et al., 2012; Matsumura-Tundisi et al., 2010; Gil et al., 2012; Oliveira et al., 2011; Cavalcante et al.; 2013). Segundo Hart & Wragg (2009) florações de *Ceratium* sp. alteram o gosto e odor da água, no entanto, pouco se sabe sobre os impactos que podem gerar nas Estações de tratamento, devido ao seu tamanho elevado em relação aos demais organismos do fitoplâncton e capacidade de flutuação, que alteram a sua eficiência de remoção da água tratada.

Cianotoxinas e acidentes relacionados à sua exposição

As cianotoxinas são compostos derivados do metabolismo secundário das cianobactérias. O motivo pelo qual há produção destes compostos ainda não é claro, no entanto alguns autores defendem que a produção de toxinas serve para a proteção contra a herbivoria (Carmichael 1992) ou como um tipo de interação alelopática (Keating 1977) que teve origem a partir da necessidade de um mecanismo de defesa celular e favoreceram o sucesso competitivo destes organismos. No entanto, há uma tendência atual em considerar que a produção de cianotoxinas pode auxiliar em processos fisiológicos como a fotossíntese, homeostase celular e aumento nas taxas de crescimento. A produção de cianotoxinas pode também ser influenciada pela

oferta de nutrientes e metais traço, intensidade luminosa e pela temperatura (Holland & Kinnear 2013).

Mais frequentes na água doce, as cianotoxinas podem ser divididas, com base na estrutura química, em três grandes grupos: peptídios cíclicos, que envolvem as microcistinas e nodularinas; os alcalóides, representado pelas saxitoxinas, anatoxinas e cilindrospermopsinas e as toxinas lipopolissacarídeas (LPS). As toxinas LPS tem efeito irritante ao contato (Wood et al.; 2006) e são produzidas por todas as cianobactérias, sendo encontradas também na parede celular de bactérias Gram negativas (Chorus & Bartram 1999). Pelo seu modo de ação as cianotoxinas podem ser divididas basicamente em dois grupos: neurotoxinas e hepatotoxinas (Oga et al. 2008).

Os casos mais conhecidos de intoxicação por cianotoxinas ocorreram pelo contato da toxina por via oral, através do consumo de alimentos contaminados, água oriunda de tratamento ineficiente na remoção da toxina ou consumo de peixes e frutos do mar com capacidade de bioacumulação e transferência das toxinas via cadeia alimentar (Ibelings & Chorus 2007; Zhang et al., 2009).

No Brasil, diversos casos de intoxicação contribuíram para que a Portaria 1469 (29/12/2000) tornasse obrigatória a análise de cianobactérias e cianotoxinas em águas destinadas para o consumo humano e supridas por mananciais superficiais. O primeiro caso registrado na literatura ocorreu em 1988, no Reservatório de Itaparica (Bahia), onde foram diagnosticados mais de dois mil casos de gastroenterites e 88 mortes. Dados clínicos e amostras de água revelaram a presença de microcistinas na água tratada, sendo os gêneros produtores *Microcystis* sp. e *Dolichospermum* sp. (Teixeira et al., 1993).

Outro caso bastante conhecido ocorreu em Pernambuco, em 1996, e ficou conhecido como Síndrome de Caruaru. Este problema ocorreu em uma clínica de hemodiálise onde 116 pacientes apresentaram sintomas clínicos de intoxicação. Destes, 52 vieram a óbito devido a danos hepáticos agudos causados pela exposição intravenosa a microcistinas produzidas por *Dolichospermum* sp. e *Microcystis* sp. (Azevedo et al., 2002). Problema semelhante ocorreu em uma Clínica de Hemodiálise no Rio de Janeiro, em 2001, quando foram detectadas florações de *Dolichospermum* sp. e *Microcystis* sp. no reservatório do Funil (Soares et al., 2006).

Tratamento da água para consumo humano

O tratamento da água tem como função essencial adequar os limites físicos, químicos, biológicos e radioativos estabelecidos pela portaria vigente. Para tal, as Estações de Tratamento de água dispõem de técnicas para a remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica e substâncias possivelmente deletérias a saúde humana, bem como, promovem a desinfecção de microorganismos. A eficiência está quando os padrões de qualidade para o consumo são atingidos utilizando os menores custos de implantação, operação e manutenção, com o menor impacto ambiental (Libânio 2010).

Segundo a Resolução 357 do CONAMA/2005 as águas doces superficiais são divididas em cinco classes de qualidade, que variam devido a parâmetros físicos, químicos e biológicos específicos. Para o abastecimento público podem ser utilizadas águas de quatro destas classes, observando o tipo de tratamento necessário para cada classe. Para a classe especial apenas

a desinfecção já é considerada suficiente; a classe 1 necessita de tratamento simplificado; As águas da classe 2 podem ser utilizadas para o abastecimento público após o tratamento convencional, enquanto que as águas da classe 3 necessitam de tratamento convencional ou avançado.

Para que a água possa ser utilizada para o abastecimento público é necessário que, após o tratamento, a água tratada final esteja de acordo com os Padrões de Potabilidade exigidos pelas Portarias do Ministério da Saúde. Muitas vezes, como é realizado para muitas das águas subterrâneas, é utilizado somente a desinfecção para adequação ao Padrão de Potabilidade (Libânio 2010). No entanto, para as águas superficiais o tratamento convencional é o mais difundido no mundo e o que corresponde à maior utilização no Brasil (Santiago 2008). Este tipo de tratamento é chamado de tratamento (ou de ciclo completo) e consiste em processos de coagulação, floculação, flotação facultativa, decantação, filtração e desinfecção. As etapas de coagulação, floculação e decantação fazem parte da fase de clarificação da água (Libânio 2010).

Coagulação, Floculação e Decantação

A coagulação surgiu da necessidade de melhorar o aspecto visual da água para o consumo humano. Este processo consiste na desestabilização de partículas coloidais e suspensas, por meio de adição de um composto químico, normalmente sais de alumínio ou de ferro (Libânio 2010). Os mecanismos que atuam na desestabilização das partículas variam de acordo com as características das células a serem removidas (Bernhardt & Clasen 1991; Ghernaout et al., 2010). A dose de coagulante aplicada e a sua efetividade na

remoção de algas e cianotoxinas varia com a densidade de algas no reservatório e alcalinidade da água (Svrcek & Smith, 2004). Os riscos relacionados a dosagens inadequadas de coagulantes se devem principalmente a lise celular de cianobactérias, com a consequente liberação de toxina na forma dissolvida (Drikas et al., 2001; Moraes 2012; Chow et al., 1999), tornando mais difícil a sua remoção nas etapas seguintes do tratamento.

A floculação é a etapa imediatamente seguinte à coagulação, onde as partículas desestabilizadas recebem agitação controlada, aumentando as chances de adesão por contato. A eficiência deste processo depende do desempenho da coagulação. Existem dois mecanismos que regulam a floculação: transporte e agregação (Morais 2012). Este fenômeno ocorre na unidade decantadora, principalmente no primeiro terço desta, onde os flocos com diferentes volumes e densidades decantam em tempos e velocidades diferentes. Normalmente utiliza-se nesta unidade um tempo de duas horas, para que as partículas ainda não sedimentadas possam ser agrupadas e sedimentadas até o final do processo de floculação (Libânio 2010). Segundo Ermel (2010) a remoção periódica do lodo dos decantadores é importante para diminuir a possibilidade de ocorrência de lise e liberação de toxinas.

Diversos coagulantes são testados quanto à eficiência de remoção de células e cianotoxinas. As taxas remoção variam principalmente com a característica da água em tratamento e condições de pH (Gregor et al., 1997). Dentre os coagulantes já estudados, compostos como permanganato de potássio e derivados do cloro foram relacionados à indução de lise celular (Mohamed 2001; Lam et al., 1995). Chow et al. (1998), enquanto o cloreto

férrico, apesar de não danificar células provoca o crescimento de *Anabaena* sp. e *Microcystis* sp.

Dentre os coagulantes mais utilizados, o hidróxido de cálcio e sulfato de alumínio tem se mostrado efetivos na remoção de cianobactérias e toxinas intracelulares (Chow et al., 1999; Mohamed 2001; Jurczak et al., 2005). Embora estes coagulantes sejam eficientes alguns autores mostram que ocorre o aumento de toxinas dissolvidas (Hoeger et al. (2005). Estudos recentes mostram que o tratamento convencional com sulfato de alumínio não é adequado para a remoção de *Ceratium* sp. (Van der Walt, 2010; Ewerts et al., 2013). Segundo Ewerts et al (no prelo), o hidróxido de cálcio em combinação com um polímero orgânico apresenta melhor desempenho na remoção de pigmentos fotossintéticos, turbidez e *Ceratium* spp.

A decantação é a última etapa da clarificação, onde os flocos formados durante as etapas anteriores, e que apresentam densidade superior a da água, tem movimento descendente devido à ação da gravidade, diminuindo o número de partículas que são carregadas para as unidades filtrantes (Libânio 2010). A eficiência da sedimentação depende de boas condições de coagulação e floculação. Diversos fatores influenciam na sedimentação dos flocos, dentre estes, o tipo de coagulante e a eficiência de aplicação (Santiago 2008). Além disso, características das algas, como a capacidade de flutuação e motilidade, a baixa densidade específica, o formato celular e a carga superficial negativa influenciam na coagulação (Ghernaout et al., 2010).

Filtração

A filtração tem como função principal a remoção de partículas responsáveis pela cor e turbidez, cuja presença reduziria a eficácia durante a etapa de desinfecção. Nas estações de tratamento que utilizam o ciclo completo, cabe a esta etapa a correção de falhas que podem ocorrer durante as etapas anteriores de clarificação (Libânio 2010).

Os filtros mais modernos trabalham através de um processo de filtração rápida, compostos normalmente por areia e antracito, os quais são capazes de remover partículas muito pequenas, de cerca de 1 μ m (Libânio 2010), no entanto a remoção de cianotoxinas extracelulares não é eficiente pela filtração (Drikas et al., 2001; Pietsch et al., 2002; Hoeger et al., 2004; Juczark et al., 2005; Acero et al., 2005).

Desinfecção

A desinfecção inativa os microorganismos patogênicos, tornando-os incapazes de se reproduzirem ou de transmitirem doenças. Além disso, o objetivo da desinfecção é prevenir o crescimento microbiológico nas redes de distribuição (Libânio 2010). É feita com dois grupos principais de desinfetantes: agentes químicos e físicos. Os agentes químicos constituem compostos com potencial para oxidação, como o cloro, peróxido de hidrogênio, ácido acético, bromo, iodo, permanganato de potássio, cloreto de bromo e ozônio, entre outros. Os agentes físicos são à base de radiação, como UV, gama, radiação solar e a nível domiciliar a fervura (Antoniou et al. 2005; Libânio 2010; Viana 2006).

A eficiência de remoção de cianotoxinas dissolvidas na água já foi testada para diversos oxidantes: permanganato de potássio, UV e cloro na remoção de cilindrospermopsinas (Senogles et al., 2000; Senogles et al., 2001); UV e dióxido de titânio na remoção de microcistinas (Shephard et al., 1998); cloro na remoção de saxitoxinas (Carvalho 2010; Newcombe & Nicolson 2004; Viana-Vorenzi et al., 2009); cloro e ozônio na remoção de microcistinas (Tsuji et al., 1997; Rositano et al., 2001; Brooke et al., 2006; Xagorarakis et al., 2006), entre outros. A eficiência de todos estes oxidantes foi comprovada em condições específicas de pH, temperatura, dosagens, matéria orgânica, concentração de toxinas, etc. O efeito de um oxidante não tem a mesma efetividade sobre toxinas diferentes, portanto não é possível afirmar que existe um oxidante mais eficiente.

O oxidante mais utilizado para a remoção de cianotoxinas da água é o cloro. Este composto pode ser usado na forma líquida (hipoclorito de sódio), gasosa ou sólida (hipoclorito de cálcio), no entanto, quando adicionado à água apresenta o mesmo princípio de ação, transforma-se em cloro livre, na forma de ácido hipocloroso (HOCl), ou dissociado em hipoclorito (ClO⁻), dependendo do pH (Libânio 2010). Apesar de eficiente nos processos oxidativos, um problema referente à utilização do cloro é a sua possível reação com as substâncias húmicas, clorofila e outros componentes de algas e bactérias presentes na água, levando à formação de trihalometanos (THM), substâncias potencialmente cancerígenas (Acero et al., 2005).

Além da utilização do cloro, alguns processos alternativos de tratamento para a remoção de cianobactérias e cianotoxinas são estudados. Dentre estes está a remoção por adsorção em carvão ativado (Huang et al., 2007; Viana

2006; Viana-Vorenzi et al., 2009), por ultrafiltração e nanofiltração (Gijssbertsen-Abrahamse et al., 2006; Teixeira & Rosa 2006; Sorlini et al., 2013), flotação por ar dissolvido (FAD) (Coral 2009; Santiago 2008; Teixeira & Rosa 2006) e a degradação bacteriana (Gagala & Mankiewicz-Boczek, 2012).

A remoção de algas e cianotoxinas também pode ser feita previamente nos reservatórios, através da aplicação de coagulantes/floculantes como nanosilicato, sulfato de alumínio e nitrato de amônio (Chang et al., 2014; Harris et al. 2014) e pela filtração em margens “*Bank filtration*” (Romero et al., 2014) tem se mostrado boas alternativas para o manejo e controle de florações em reservatórios, evitando a entrada de florações com altas densidades celulares nas Estações de Tratamento de Água.

Reservatórios de Caxias do Sul – RS (Brasil)

A cidade de Caxias do Sul é a segunda mais populosa do Estado do Rio Grande do Sul, com cerca de 465 mil habitantes (IBGE, 2013). Localiza-se em uma região de clima subtropical úmido (Cfb, Köppen-Geiger), com médias de temperatura do ar variando entre 12 °C na estação mais fria e próximas a 20°C nas estações mais quentes. Durante os anos de 2012/13 o valor mínimo e máximo para Temperatura da água foram 11,4°C e 26,9°C.

O abastecimento de água é obtido a partir de captação superficial, através de cinco arroios de pequena vazão que formam as represas Dal Bó, Samuara, Galópolis, Faxinal e Maestra (Mussato 2010; Kaplan 2010). O reservatório Maestra (29°05'41,05"S; 51°09'53,63"W) foi construído entre os anos de 1965-1970, apresenta profundidade máxima de 31,8 m e vazão de 315 L.s⁻¹. A bacia que o abastece apresenta uma área de 16 Km², com volume acumulado de

$5,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, o suficiente para abastecer cerca de 22% da população de Caxias do Sul (Mussato 2010; Spiandorello, com. pessoal).

Segundo a Classificação 357 do CONAMA o reservatório da Maestra classifica-se como um reservatório classe 2, cuja utilização para o abastecimento público pode ser feita após o tratamento convencional. A água coletada do reservatório Maestra é enviada para a Estação de Tratamento Celeste Gobatto (ETA Celeste Gobatto). A Figura 1 apresenta um modelo esquemático do tratamento convencional realizado nesta ETA, onde os números representam: (1) Ponto de captação; (2) Entrada da ETA, onde há adição de coagulante; (3) Unidade de floculação; (4) Unidade de Sedimentação; (5) Filtração; (6) Água tratada final, após adição de cloro para desinfecção. Todas as unidades de tratamento da ETA Celeste Gobatto trabalham na sua eficiência máxima.

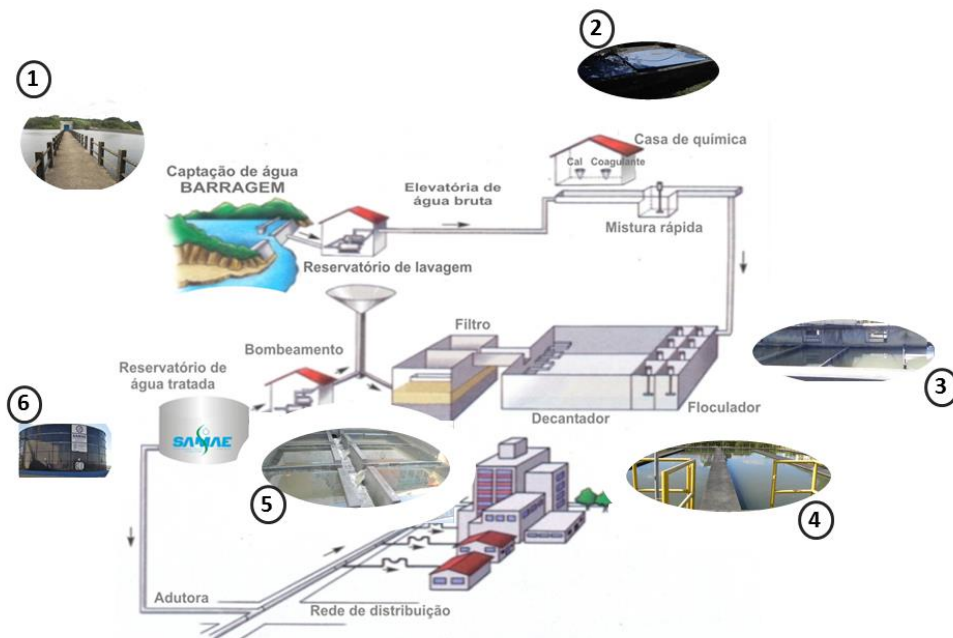


Figura 1. Estação de Tratamento de Água (ETA) na ETA Celeste Gobatto – Caxias do Sul, RS. Brasil.

Motivação e Justificativa do trabalho

Os reservatórios de Caxias do Sul são gerenciados pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE). Esta empresa mantém convênio com a Universidade Federal do Rio Grande – FURG desde 2002 através do Programa AGUAAN (Frizzo et al., 2004). Através deste programa há um monitoramento das cianotoxinas, segundo normas das Portarias da Água do Ministério da Saúde.

Desde o início do convênio, o monitoramento fitoplanctônico identificou as cianobactérias nocivas *Dolichospermum crassum* (Lemmermann) Komark.-Legn. & Cronberg, *D. circinale* (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek, *D. spiroides* (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, *D. planctonicum* (Brunnthal) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek e *Microcystis* sp., *M. aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Planktothrix* (Yunes et al., 2005; Frizzo et al., 2004; Becker et al., 2010), dentre outras.

Alguns trabalhos avaliam a eficiência do tratamento da água na remoção de diversas espécies de cianobactérias e cianotoxinas na água de consumo humano, no entanto, a maioria é realizado em escala de bancada. Trabalhos em escala piloto são dificultados devido ao acesso a empresas e Estações de tratamento de água. No entanto, sabe-se que algumas espécies de cianobactérias, como *Microcystis aeruginosa*, apresentam a forma de suas colônias influenciada pelo ambiente. Segundo Yunes et al. (2005) a resistência química, a morfologia e flutuabilidade desses microorganismos influencia na sua remoção durante o tratamento da água.

O presente trabalho é parte de um projeto financiado por um Edital da Fundação Nacional da Saúde (FUNASA), que tem como objetivo realizar um

estudo da composição fitoplanctônica e da presença de cianotoxinas em um reservatório de Caxias do Sul – RS e investigar em escala piloto o efeito do tratamento da água na remoção de cianobactérias e cianotoxinas da água tratada. Para alcançar estes objetivos foi avaliado no período de janeiro de 2012 a abril de 2013 a composição da comunidade fitoplanctônica e de microcistinas no reservatório e, durante um evento de floração com predomínio de uma espécie produtora de cianotoxinas, foi verificada a eficiência do tratamento convencional da água na remoção tanto celular quanto das toxinas presentes no reservatório utilizado para a captação de água.

Este trabalho está estruturado em três capítulos. O primeiro consiste de uma revisão bibliográfica de assuntos relevantes acerca do histórico do monitoramento da qualidade dos reservatórios no Brasil, da biologia de algas e cianobactérias, e as principais cianotoxinas e acidentes devido a intoxicação no Brasil. Além disso, é feita uma breve revisão sobre o tratamento convencional da água, mostrando a importância de cada etapa e o enquadramento nos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria 2914. O segundo capítulo é um manuscrito na forma de artigo científico intitulado “Composição de algas, cianobactérias e cianotoxinas em um reservatório utilizado para o abastecimento público”. Este estudo foi realizado entre janeiro de 2012 a abril de 2013. O terceiro capítulo consta de um manuscrito na forma de artigo científico, intitulado “Efeito do tratamento de água convencional na remoção de algas, cianobactérias e cianotoxinas em uma Estação de Tratamento de Água Convencional”. A eficiência de remoção foi avaliada em escala piloto, em uma Estação de Tratamento de Água de Caxias do Sul – RS a qual utiliza o

tratamento convencional. Ambos os manuscritos serão submetidos à Revista Water SA.

Objetivos

Objetivo Geral

Estudar a composição da comunidade fitoplanctônica e a presença de cianotoxinas em um manancial utilizado para captação de água na cidade de Caxias do Sul-RS e avaliar o efeito do tratamento convencional na remoção de algas e cianotoxinas em uma Estação de Tratamento de Água.

Objetivos Específicos

- Avaliar a composição da comunidade fitoplanctônica e a presença de cianotoxinas (microcistinas e saxitoxinas) no reservatório Maestra - Caxias do Sul – RS entre janeiro/2012 e abril/2013;
- Avaliar a presença de microcistinas e saxitoxinas na água bruta do reservatório Maestra e na água tratada final entre janeiro/2012 e abril/2013;
- Verificar o efeito de cada etapa do tratamento Convencional da água na remoção do fitoplâncton e cianotoxinas em escala piloto;
- Analisar a concentração de clorofila-a e células na água bruta e em cada etapa do tratamento da água.

Referências Bibliográficas

Acero, JL; Rodriguez, E & Meriluoto, J. 2005. Kinetics of reactions between chlorine and the cyanobacterial toxins microcystins. *Water Research* 39:1628-1638.

ANA – Agência Nacional de Águas - Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. 2010. Brasília: ANA: Engecorps/Coprabe. 68.

ANA – Agência Nacional de Águas – Panorama das águas superficiais do Brasil. 2012. Brasília: ANA: Engecorps/Coprabe, 265.

Antoniou, MG; Cruz, AA & Dionysiou, DD. 2005. Cyanotoxins: New Generation of Water Contaminants. *Journal of Environmental Engineering*. 1239-1243.

Assis, RSS. 2006. Remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistinas por flotação por ar dissolvido – estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes. Dissertação apresentada ao PPG em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (UnB).

Azevedo, S. M. F. O.; Camichael, W. W.; Jochimsen, E. M., Rinehart, K. L.; Lau, S.; Shaw, G. R.; Eaglesham, G. K. 2002. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru – Brazil. *Toxicology*, 181- 182, 441- 446.

Becker, V; Cardoso, LS & Huszar, VLM. 2009. Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brasil during an autumnal stratification period. *Aquatic Ecology* 43: 285-293.

Becker, V; Ihara, P; Yunes, JS & Huszar, VLM. 2010. Occurrence of anatoxina(s) during a bloom of *Anabaena crassa* in a water-supply reservoir in southern Brazil. *Journal of Applied Physiology* 22:235-241.

Becker, B & Marin, B. 2009. Streptophyte algae and the origin of embryophytes. *Annals of Botany* 103: 999-1004.

Bernhardt, H & Clasen, J. 1991. Flocculation of micro-organisms. *Aqua London* 40(2):76-87.

Brooke, S; Newcombe, G; Nicholson, B & Klass, G. 2006. Decrease in toxicity of microcystins LA and LR in drinking water by ozonation. *Toxicon* 48:1054-1059.

Camacho, FG; Rodríguez, JG; Sánchez Mirón, A; Cerón García, MC; Belarbi, EH; Chisti, Y & Molina Grima, E. 2007. Biotechnological significance of toxic marine dinoflagellates. *Biotechnology Advances* 25(2):176-194.

Carmichael, WW. 1992. Cyanobacteria secondary metabolites – the cyanotoxins. *Journal of Applied Bacteriology* 72:445-459.

Carvalho, RPM. 2010. Remoção de saxitoxinas por meio da oxidação com cloro. Tese apresentada ao PPG em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (UnB). 158.

Cavalcante, KP; Zanotelli, JC; Müller, CC; Scherer, KD; Frizzo, JK; Ludwig, TAV & Cardoso, LS. 2013. First record of expansive *Ceratium* Schrank, 1793 species (Dinophyceae) in Southern Brazil, with notes on their dispersive patterns in Brazilian environments. *Check List* 9(4):862-866.

Chang, S; Li, C; Lin, J; Li, Y & Lee, M. (2014). Effective removal of *Microcystis aeruginosa* and microcystin-LR using nanosilicate platelets. *Chemosphere* 99:49-55.

Chorus, I & Bartram, J. 1999. Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon, WHO. 400.

Chorus, I. (ed.). 2001. Cyanotoxins: occurrence, causes, consequences. Berlin: Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokyo: Springer. 357.

Chow, CWK; House, J; Velzeboer, RMA; Drikas, M; Burch, MD & Steffensen, DA. (1998). The effect of ferric chloride flocculation on cyanobacterial cells. *Water Research* 32(3): 808-814.

CONAMA Resolução 357/2005 – Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 17 de março de 2005. Em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> acessado em 28 de abril, 2014.

Coral, LA. 2009. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração. Dissertação apresentada ao PPG em Engenharia Ambiental de Santa Catarina – UFSC.

De Julio, M; Fioravante, DA; Filho, OS; De Julio, TS & Oroski, FI. 2009. Avaliação da remoção de cianobactérias e saxitoxinas da água bruta afluenta à ETA Pitangui de Ponta Grossa/ PR, utilizando os diagramas de coagulação para o cloreto férrico e o reagente de fenton. *Holos Environmental* 9(2) 254-273.

Dewes, LJ; Sandrini, JZ; Monserrat, JM & Yunes, JS. 2006. Biochemical and physiological responses after exposure to microcystins in the crab

Chasmagnatus granulatus (Decapoda, Brachyura). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 65:201-208.

Dokulil, MT & Teubner, K. (2000). Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia* 438: 1-12.

Drikas, M; Chow, CWK; House, J & Burch, MD. 2001. Using Coagulation, Flocculation, and Settling to Remove Toxic Cyanobacteria. *American Water Works Association* 93(2):100-111.

Ermel, AVB. 2009. Análise da lise de células de *Microcystis aeruginosa* e de *Cylindrospermopsis raciborskii* e da liberação e degradação de cianotoxinas em função do tempo de armazenamento do lodo em decantadores. Dissertação apresentada ao PPG em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. 118.

Esteves, FA & Suzuki, MS. 2011. Comunidade Fitoplanctônica. In: Esteves, FA. *Fundamentos de Limnologia*. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência.

Ewerts, H; Swanepoel, A & Preez, HH. (2013). Efficacy of conventional drinking water treatment processes in removing problem-causing phytoplankton and associated organic compounds. *Water SA* 39(5): 739-750.

Ewerts, H; Barnard, S; Swanepoel; du Preez, HH & Janse van Vuuren, S. (In press). Strategies of coagulant optimisation to improve the removal of turbidity and *Ceratium hirundinella* cells during conventional drinking water purification. *Water Science & Technology*.

Filho, J.L.A.; Barbosa, M.C.; Azevedo, S.G. & Carvalho, A. 2011. O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável. *Revista Recursos Hídricos* 32(2) 53-61.

Frizzo, EE; Ekman, MCS & Ramos GO. 2004. Implantação do monitoramento fitoplanctônico com ênfase em cianobactérias e cianotoxinas, nos mananciais de abastecimento do município de Caxias do Sul, RS. 10p. Em <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/assem/agua/caxiasdsul.pdf>, acessado em 12 de maio, 2014.

Gagala, I & Mankiewicz-Boczek, J. (2012). The Natural Degradation of Microcystins (Cyanobacterial Hepatotoxins) in Fresh Water – the Future of Modern Treatment Systems and Water Quality Improvement. *Polish Journal of Environmental Studies* 21(5):1125-1139.

Gheraout, B; Gheraout, D & Saiba, A. (2010). Algae and cyanotoxins removal by coagulation/flocculation: A review. *Desalination and Water treatment* 20:133-143.

Gijsbertsen-Abrahamse, AJ; Schmidt, W; Chorus, I & Heijman, SGJ. 2006. Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration. *Journal of Membrane Science* 276:252-259.

Gil, CB; Retrepo, JJR; Boltovskoy, A & Vallejo, A. 2012. Spacial and Temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Rio Grande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia* 24(2):207-219.

Graham, LE; Graham, JM & Wilcox, LW. 2009. *Algae*. Pearson, Benjamin Cummins: São Francisco. 2ª Ed. 616.

Gregor, JE; Nokes, CJ & Fenton, E. (1997). Optimizing Natural Organic Matter Removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation. *Water Research* 31(12):2949-2958.

Grützmacher, DD; Grützmacher, AD; Agostinotto, D; Loeck, AE; Roman, R; Peixoto, SC & Zanella, R. 2008. Monitoramento de dois agrotóxicos em dois mananciais hídricos no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12 (6) 632-637.

Harris, TD; Wilhelm, FM; Graham, JL & Loftin, KA. (2014). Experimental additions of aluminium sulfate and ammonium nitrate to *in situ* mesocosms to reduce cyanobacterial biovolume and microcystin concentration. *Lake and Reservoir Management* 30:84-93.

Hart, RC & Wragg, P. 2009. Recent blooms of the dinoflagellate *Ceratium* in Albert Falls Dam (KZN): History, causes, spatial features and impacts on a reservoir ecosystem and its zooplankton. *Water SA* 35(4): 455-468.

Hoeger, SJ; Shaw, G; Hitzfeld, BC & Dietrich, DR. 2004. Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in two Australian drinking water treatment plants. *Toxicon* 43:639-649.

Hoeger, SJ; Hitzfeld, BC & Dietrich, DR. (2005). Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in drinking water treatment plants. *Toxicology and Applied Pharmacology* 203:231-242.

Hoffmann, By L; Komárek, J & Kastovsky, J. 2005. System of cyanoprokaryotes (Cyanobacteria) – state in 2004. *Algological Studies* 117:95-115.

Holland, A & Kinnear, S. 2013. Interpreting the Possible Ecological Role(s) of cyanotoxins: Compounds for Competitive Advantage and/or Physiological Aide? *Marine Drugs*, 11:2239-2258.

Huang, W; Cheng, B & Cheng, Y. 2007. Adsorption of microcystin-LR by three types of activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* 141:115-122.

Iberings, BW & Chorus, I. (2007). Accumulation of cyanobacterial toxins in freshwater “seafood” and its consequences for public health: A review. *Environmental pollution* 150: 177-192.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – censo 2013: acessado em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430510>, cinco de maio de 2014;

Jurczak, T; Tarczyska, M; Izydorczyk, K; Mankiewicz, J; Zalewski, M & Meriluoto, J. 2005. Elimination of microcystins by water treatment processes – examples from Sulejow Reservoir, Poland. *Water Research* 39 2394-2406.

Keating, KI. 1977. Allelopathic influence on blue-green bloom sequence in a eutrophic lake. *Science*. 196 (4292): 885-887.

Komárk, J. 2005. The modern classification of Cyanoprokaryotes (Cyanobacteria). *Oceanological and Hydrobiological Studies* 24 supplement 3: 5-17.

Koppen-Geiger - Classificação climática de Koppen-Geiger - Acessado em: <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?oldid=16801300>, sete de maio de 2014.

Lam, AKY; Prepas, EE; Spink, D & Hrudey, H. (1995). Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms: implications for human health. *Water Research* 29(8): 1845-1854.

Libânio, M. (2010). Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3ªEd. Campinas, SP:Editora Átomo. 494.

Mackintosh, C; Beattie, KA; Klumpp, S; Cohen, P & Codd, GA. 1990. Cyanobacterial microcystin-LR is a potent and specific inhibitor of protein phosphatases 1 e 2A from both mammals and higher plants. *FEBS Letters* 264(2):187-192.

Matsumura-Tundisi, T; Tundisi, JC; Luzia, AP & Degani, RM. 2010. Occurrence of *Ceratium furcoides* (levander) Laghans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 70(3):825-829.

Meriluoto, J & Codd, GA. 2005. Toxic Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis. Åbo : Åbo Akademi University Press 65(1). 164.

Mohamed, ZA. (2001). Alum and Lime-Alum Removal of Toxic and Nontoxic Phytoplankton from the Nile River Water: Laboratory Study. *Water Resources Management* 15:213-221.

Morais, AS. 2012. Avaliação de Técnicas Convencionais de tratamento de Água para consumo humano na remoção de cianobactérias e cianotoxinas e

processos oxidativos para a remoção de microcistinas. Tese apresentada ao PPG em engenharia Civil da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Moss, B. 1970. The algal biology of a tropical montane reservoir (Mlungusi Dam, Malawi). *British Phycological Journal*. 5(1):19-28.

Newcombe, G & Nicolson, B. 2004. Water Treatment options for dissolved cyanotoxins. *Journal of Water Supply: Research & Technology – AQUA* 53(4):227-239.

Oga, S; Camargo, MMA & Battistuzzo, JAO. 2008. Fundamentos de Toxicologia. Atheneu: São Paulo. 696.

Oliveira, HSB; Moura, NA & Cordeiro-Araújo, MK. 2011. First record of *Ceratium* Schrank, 1973 (Dinophyceae: Ceratiaceae) in freshwater ecosystems in the semiarid region of Brazil. *Check List* 7(5): 626-628.

Paerl, HW & Huisman, J. (2008). Blooms Like it Hot. *Science* 320:57-58.

Paerl, HW & Paul, VJ. (2012). Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Research* 46:1349-1363.

Paterniani, JES & Conceição, CHZ. 2004. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. 2004. *Engenharia Ambiental* 1(1):17-24.

Pietsch, J; Bornmann, K & Schmidt, W. 2002. Relevance of Intra and Extracellular Cyanotoxins for Drinking Water Treatment. *Acta Hydrochimica hydrobiologica* 30:7-15.

Portaria Nº 518, de 25 de março de 2004. Em <http://www.quimlab.com.br/PDF-art/Portaria%20no.%20518.pdf>, acessado em 6 de abril, 2012

Portaria Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Em http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_1469-00.pdf, acessado em 28 de abril 2014.

Portaria Nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Em http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html, acessado em 28 de abril, 2014.

Primel, EG; Zanella, R; Kurtz, MHS, Gonçalves, FF; Machado, SO & Marchezan, E. 2005. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Predição Teórica e monitoramento. *Química Nova* 28(4) 605-609.

Rippka, R. 1988. Recognition and Identification of Cyanobacteria. In: Packer, L & Glazer, NA. Methods in Enzymology. Academic Press: New York, v. 167. 915.

Romero, LG; Mondardo, RI , Sens, ML & Grischek, T. (2014). Removal of cyanobacteria and cyanotoxins during lake bank filtration at Lagoa do Peri, Brazil. Clean Technologies and Environmental policy 16:1133-1143.

Rositano, J; Newcombe, G; Nicholson, B & Sztajn bok, P. (2001). Ozonation of nom and algal toxins in four treated water. Water Research 35 (1):23-32.

Sampaio, PL. 2011. Interações alelopáticas entre *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* isoladas do reservatório do Funil, Resende, RJ. Dissertação do PPG do Instituto de Biofísica Carlos Chagas.

Santiago, LM. 2008. Remoção de células de cianobactérias por processos de sedimentação e flotação por ar dissolvido: Avaliação em escala de bancada. Dissertação apresentada ao PPG em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.

Senogles, P; Shaw, G; Smith, M; Norris, R; Chiswell, R; Mueller, J; Sadler, R & Eaglesham. 2000. Degradation of the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin from *Cylindrospermopsis raciborskii* by chlorination. Toxicon 38:1203-1213.

Senogles, PJ; Scott, JA; Shaw, G & Stratton, H. 2001. Photocatalytic degradation of the cyanotoxin cylindrospermopsin using titanium dioxide and UV radiation. Water Research 35(5):1245-1255.

Shephard, GS; Stockenström, S; Villiers, D; Engelbrecht, WJ; Sydenham, EW & Wessels, FS. (a998). Photocatalytic degradation of cyanobacterial Microcystins toxins in water. Toxicon 36(12): 1895-1901.

Shiklomanov I.A. & Rodda, J.C. (2003) World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. In: Babkin, V.I. (ed) The Earth and its physical features. Cambridge University Press, UK. M.

Silva, LC; Leone, IC; Santos-Wisniewiski, MJS; Peret, AC & Rocha, O. 2012. Invasion of the dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 at tropical reservoir and its relation to environmental variables. Biota Neotropica 12(2):93-100.

Sirtori, C. 2006. Estudo da potencialidade do processo fotoeletroquímico para remediação de águas contaminadas por cianobactérias. Dissertação do PPG em Química da Universidade Federal do Paraná (UPF) 92.

- Soares, MCS; Huszar, VLM; Miranda, MN; Mello, MM; Roland, F & Lüring, M. (2013). Cyanobacterial dominance in Brazil: distribution and environmental preferences. *Hydrobiologia* 717:1-12.
- Stainer, G. 1988. Fine structure of cyanobacteria. In Packer, L & Glazer, AN. *Methods in Enzymology*. Academic Press: New York. v. 167. 915.
- Soares, RM. 2009. Toxicologia de cianotoxinas: microcistinas a estrela do tema. *Oecologia brasiliensis* 13(2):259-271.
- Stotts, RR; Namikoshi, M; Haschek, WM; Rinehart, KL; Carmichael, WW; Dahlem AM & Beasley, V. 1993. Estrutural modifications imparting reduced toxicity in microcystins from *Microcystis* spp. *Toxicon* 31(6):783-789.
- Svrcek, C & Smith, DW. (2004). Cyanobacteria toxins and the current state of knowledge on water treatment options: a review. *Journal of environmental Engineering and Science* 3:155-185.
- Teixeira, MGLC; Costa, MCN; Carvalho, VLP; Pereira, MS & Hage, E. (1993). Gastroenteritis Epidemic in the área of the Itaparica Dam, Bahia, Brazil. *Bulletin of PAHO* 27(3):244-253.
- Teixeira, MR & Rosa, MJ. 2006. Neurotoxic and hepatotoxic cyanotoxins removal by nanofiltration. *Water Research* 40:2837-2846.
- Tucci, A, Sant'Anna, Gentil, RC & Azevedo, MTP. 2006. Fitoplâncton do Lago das Garças, São Paulo, Brasil: um reservatório urbano eutrófico. *Hoehnea* 33(2):147-175.
- Tsuji, K; Watanuki, T; Kondo, F; Watanabe, MF; Nakazawa, H; Uchida, MSH & Harada, K. (1997). Stability of microcystins from cyanobacteria – IV. Effect of chlorination on decomposition. *Toxicon* 35(7):1033-1041.
- Van De Hoek, C; Mann, DG & Jahns, HM. 1995. *Algae – An introduction to phycology*. Cambridge University Press: New York. 623.
- Van der Walt, N. (2011). Investigation into the occurrence of the dinoflagellate *Ceratium hirundinella* in source waters and the impact thereof on drinking water purification. Dissertation for the degree Master of Science in Environmental Sciences at the Potchefstroom campus of the North-West University. 225.
- Viana, M. 2006. Avaliação de Técnicas de Tratamento na remoção de saxitoxinas em águas de consumo humano. Dissertação apresentada ao PPG em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG). 95.

Viana-Vorenzi, M; Giani, A, Melo, CS; Gomes, LL & Libânio, M. 2009. Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio de técnicas de tratamento das águas de abastecimento. Engenharia Sanitária e Ambiental 14(2): 193-204.

WHO, 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. 400p. Acessado em 4 de junho de 2012, http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxcyanbegin.pdf

Wood, SA; Holland, PT; Stirling, DJ; Briggs, LR; Sprosen, J; Ruck, JG & Wear, RG. 2006. Survey of cyanotoxins on New Zealand water bodies between 2001 and 2004. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 40:585-597.

Xagorarakis, I; Harrington, GW; Zulliger, K; Zeier, B; Krick, W; Karner, DA; Standridge, JH & Westrick, J. 2006. Inactivation kinetics of the Cyanobacterial Toxin Microcystin-LR by free chlorine. Journal of Environmental Engineering 132: 818-823.

Yunes, JS; Matthiensen, A; Carneiro, C; Oroski, F; Becker, V & Carvalho, MC. 2005. Florações de Cianobacterias Tóxicas: Mãos à Obra ao Problema. In: Roland, F; Cesar, D & Marinho, M. Lições de Limnologia. São Carlos: RiMa. 532.

Zhang, D; Xie, P; Liu, Y & Qiu, T. (2009). Transfer, distribution and bioaccumulation of microcystins in the aquatic food web in Lake Taihu, China, with potential risks to human health. Science of the total Environment 407: 2191-2199.

- CAPÍTULO 2 -
COMPOSIÇÃO DE ALGAS, CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NO
RESERVATÓRIO MAESTRA – CAXIAS DO SUL, RS - BRASIL

Manuscrito a ser submetido para Water S.A.

Instruções aos autores em: <http://www.scielo.org.za/revistas/wsa/iinstruc.htm>

COMPOSIÇÃO DE ALGAS, CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NO RESERVATÓRIO MAESTRA – CAXIAS DO SUL, RS - BRASIL

C.R. de Almeida^{1*}, R. Sussela²; P.S. Guimarães³; J.S. Yunes⁴ & D. Giroldo⁵

1. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Biológicas, PPG em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Av.Itália, Km 8, Campus Carreiros, 96201-900, Rio Grande, RS.

2. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul – RS.

3. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia. PPG em Oceanografia Química, Física e Geológica. Av.Itália, Km 8, Campus Carreiros, 96201-900, Rio Grande, RS.

4. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia. Laboratório de Cianobactérias e Ficotoxinas. Av.Itália, Km 8, Campus Carreiros, 96201-900, Rio Grande, RS.

5. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Biológicas, PPG em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Laboratório de Botânica Criptogâmica. Av.Itália, Km 8, Campus Carreiros, 96201-900, Rio Grande, RS.

Resumo

Composição de algas, cianobactérias e ciantoxinas no reservatório Maestra, Caxias do Sul, RS – Brasil. Florações de cianobactérias nocivas ocorrem frequentemente em reservatórios brasileiros, devido ao incremento de nutrientes pela eutrofização e pelas mudanças climáticas, como o aquecimento global. Além das cianobactérias, florações de *Ceratium* Schrank tem ocorrido em águas doces brasileiras, sendo considerado um problema para as Estações de Tratamento de Água. Florações de algas e cianobactérias podem alterar a qualidade dos corpos hídricos, produzindo compostos que fornecem gosto e odor. Para as cianobactérias, estes problemas estendem-se a produção de cianotoxinas. O reservatório Maestra é um pequeno meso a supereutrífico reservatório localizado em Caxias do Sul – RS, Brasil. Este trabalho objetivou o estudo da comunidade fitoplanctônica e a presença de cianotoxinas em um reservatório usado para o abastecimento de água desde janeiro de 2012 a abril de 2013. A comunidade fitoplanctônica foi avaliada pela contagem celular em microscópio invertido e a presença de cianotoxinas por kit de imunoenensaio enzimático. A composição da comunidade fitoplanctônica durante o período de estudo foi avaliada por análise de similaridade e análise de abundância relativa. Estas análises dividiram a comunidade em três grupos: no primeiro grupo foi observada a co-ocorrência de cianobactérias *Dolichospermum* Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault, *Microcystis* (Kützinger) ex Lemmermann e *Pseudanabaena* Lauterborn. O segundo grupo mostrou a co-ocorrência de *C. furcoides* (Levander) Langhans e cianobactérias e o terceiro grupo a ocorrência de um importante evento de desaparecimento das cianobactérias e dominância de *C. furcoides*. Microcistinas ocorreram em 81,8% das 59 semanas em que a toxina foi analisada, frequentemente acima de 2,5 µg.L⁻¹. Após o desaparecimento das cianobactérias não ocorreram mais microcistinas no reservatório. Este estudo mostrou que *Ceratium furcoides* alcançou altas densidades celulares e que está bem estabelecido em águas brasileiras.

Palavras-chave: *Ceratium furcoides*; *Dolichoospermum* sp.; microcistinas; *Microcystis* sp.

Abstract

Composition of algae, cyanobacteria and cyanotoxins in the Maestra reservoir - Caxias do Sul, RS – Brazil. Harmful cyanobacteria blooms occur frequently in Brazilian reservoirs due to the increase of nutrients by eutrophication and climatic changes, like global warming. In addition to cyanobacteria, blooms of *Ceratium* Schrank have occurred in Brazilian fresh waters, representing a problem for Water Treatment Plants. Blooms of algae and cyanobacteria can change the quality of water bodies, producing compounds that provide taste and odor to water. For cyanobacteria, these problems extend to producing cyanotoxins. The Maestra reservoir is a small meso- to supereutrophic reservoir located in Caxias do Sul – RS, Brazil. This work aimed the study of phytoplankton community and cyanotoxins presence in a water reservoir used for drinking-water supply. The phytoplankton community was evaluated since January of 2012 until April of 2013 by cellular count in inverted microscopy and the presence of microcystins by enzyme immunoassay Kit. The composition of the phytoplankton community during the period of study was evaluated by similarity index and relative abundance analysis. This analysis divided the community into three groups: The first group showed the *Dolichospermum* Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault, *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann, and *Pseudanabaena* Lauterborn co-occurrence. The second group showed the *C. furcoides* (Levander) Langhans and cyanobacteria co-occurrence, and the third group showed an important event of cyanobacteria disappearance and *C. furcoides* dominance. Microcystins occurred in 81.8% of the 59 analyzed weeks and frequently above $2.5 \mu\text{g.L}^{-1}$. After the cyanobacteria disappearance, microcystins were not observed in the water reservoir. This study showed that *Ceratium furcoides* reached high cellular densities and is well established in Brazilian waters.

Key words: *Ceratium furcoides*; *Dolichospermum* sp.; microcystins; *Microcystis* sp.

Introdução

As cianobactérias são os mais antigos habitantes fototróficos na Terra, responsáveis pelo surgimento da vida oxigênica e importantes no suporte da produtividade dos ecossistemas aquáticos (Paerl et al., 2001). No entanto, o enriquecimento das águas devido à eutrofização tem promovido a diminuição da diversidade fitoplânctônica e o crescimento de cianobactérias em extensas florações, provocando o desequilíbrio da biodiversidade aquática (Dokulil & Teubner, 2000; Paerl & Huisman, 2008). As mudanças climáticas presenciadas

nos últimos tempos, como o aquecimento global e as mudanças no regime hidrológico, tem favorecido o aumento e a expansão geográfica de florações de cianobactérias produtoras de cianotoxinas em maior escala que a eutrofização (Paerl & Paul, 2012). Florações de cianobactérias são comuns em ecossistemas aquáticos e reservatórios brasileiros, sendo o principal enfoque dado a ocorrência das cianobactérias *Dolichospermum* sp., *Microcystis* sp. e *Cylindrospermopsis* sp. (Soares et al., 2013). Estas cianobactérias são conhecidas pela produção de cianotoxinas, metabólitos secundários como a microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas (Chorus & Bartram, 1999). As normas brasileiras através da Portaria 2914 (19/12/2011) estabelece os procedimentos de controle e vigilância dos padrões de potabilidade das águas utilizadas para o abastecimento humano e, com base em Diretrizes internacionais (Guidelines for Drinking-water Quality, WHO 2011), define Limites Máximos Permitidos (LMP) para as saxitoxinas ($3 \mu\text{g.L}^{-1}$), microcistinas e cilindrospermopsinas (ambas $1 \mu\text{g.L}^{-1}$), sendo esta última ainda recomendada. Frequentemente reservatórios utilizados para captação de água, principalmente de água superficial, apresentam florações cuja produção de cianotoxinas ultrapassa o LMP, de modo que a remoção destes metabólitos secundários pelo tratamento da água se torna fundamental para a produção de água com de qualidade e obedecendo de potabilidade estabelecidos (Hoeger et al., 2004; Vieira et al., 2005; Costa et. al., 2006; Yen et al., 2011).

No Brasil, além das cianobactérias, florações de *Ceratium* spp. tem se tornado constantes em ecossistemas aquáticos e reservatórios (Santos-Wisniewski et al., 2007; Matsumura-Tundisi et al., 2010; Oliveira et al., 2011). Cavalcante et al., 2013). A ocorrência deste dinoflagelado em reservatórios é

uma preocupação para as Estações de Tratamento de Água, uma vez que o tratamento convencional apresenta problemas quanto à remoção do organismo (Van der Walt, 2011; Ewerts et al., 2013). Técnicas complementares de tratamento estão sendo estudadas (Ewerts et al., 2014), no entanto, o aumento com os custos do tratamento da água devido a presença do dinoflagelado podem ser inviáveis para as empresas de tratamento de água (Oliveira et al., 2006).

Apesar de poucos estudos acerca da auto-ecologia do dinoflagelado originário de águas temperadas (Pérez-Martínez & Sánchez-Castillo, 2001), a sua ocorrência frequente em águas brasileiras sugere a adaptação a águas tropicais (Silva et al., 2012; Cavalcante et al., 2013). Florações de *Ceratium* spp. em co-ocorrência com cianobactérias ou eventos de sucessão entre estes grupos já foram descritos (Van Ginkel et al., 2001; Naselli-Flores & Barone, 2005; Padisák et al. 2009; Matsumura-Tundisi et al., 2010; Oosthuizen, 2012). O reservatório de Caxias do Sul – RS (Brasil) apresentam um histórico importante de florações de cianobactérias nocivas como *Dolichospermum* Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault, *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann, *Aphanizomenon* A. Morren ex Bornet & Flahault, *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont, *Planktothrix* Anagnostidis & Komárek *Pseudanabaena* Lauterborn com registros de microcistinas, saxitoxinas e anatoxina- a(s) (Yunes et al., 2005; Becker et al. 2010). Nos últimos anos, os reservatórios de Caxias do Sul – RS (Brasil) vem apresentando modificações na sua biodiversidade. Este trabalho objetivou o estudo da composição da comunidade fitoplanctônica de um reservatório utilizado para captação de água e abastecimento público na cidade

de Caxias do Sul-RS, com ênfase nas cianobactérias, microcistinas e *Ceratium* sp., no período entre janeiro de 2012 a abril de 2013.

Metodologia

Local de estudo

A cidade de Caxias do Sul é a segunda mais populosa do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE). Localiza-se em uma região de clima subtropical úmido (Cfb, Koppen-Geiger), com médias de temperatura do ar variando entre 12 °C na estação mais fria e próximas e 20°C nas estações mais quentes. Durante os anos de 2012/13 o valor mínimo e máximo para temperatura da água foram 11,4°C e 26,9°C.

O abastecimento de água do município é obtido a partir de captação superficial, através de arroios de pequena vazão. O reservatório Maestra (Figura 1) foi implantado em 1968, apresenta profundidade máxima de 31,8 m. O estado trófico do reservatório, calculado com base em dados de P total e clorofila-a indica que o reservatório durante o período de estudo encontrava-se entre meso-supereutrófico (Carlson, 1977 modificado por Lamparelli, 2004). A bacia que o abastece apresenta uma área de 16 Km², com volume acumulado de 5,4.10⁶ m³, o suficiente para abastecer cerca de 22% da população de Caxias do Sul.



Figura 1. Reservatório Maestra (Caxias do Sul – RS, Brasil).

Composição fitoplanctônica

O estudo da composição fitoplanctônica foi feito pelo SAMAE-Caxias do Sul, através de medidas quali e quantitativas em microscópio invertido LEICA com aumento de 400X, utilizando câmara de sedimentação de 10mL Fleming.

Durante o estudo foi detectada a presença de um dinoflagelado invasor. A identificação deste organismo foi feita por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) no CEME-SUL (Centro de Microscopia Eletrônica da Região Sul – FURG). O material fixado com lugol 4% foi disposto em lamínulas e seco em estufa (30 °C) e posteriormente metalizado com carbono. As imagens foram obtidas utilizando voltagem de 15 kv e 8 mm de distância de trabalho.

A partir da média mensal da contagem de indivíduos foi feita uma análise de abundância relativa da comunidade fitoplanctônica, dando ênfase para as cianobactérias e para o dinoflagelado invasor encontrado durante o período amostrado, sendo os demais componentes do fitoplâncton inseridos no grupo 'outros'. Além disso, após a padronização dos dados por escore z, foi feita uma análise de cluster do período em estudo (n=66) utilizando o

coeficiente de correlação como medida de similaridade. Os programas estatísticos utilizados foram Past 2.17c e Origin 6.0.

Análise de microcistinas

Amostras de água do reservatório Maestra eram enviadas semanalmente para o LCF-FURG. Após sonificação (três ciclos de 30 segundos), a quantificação de microcistinas era feita por meio de curva de calibração com limite de detecção de 0,16 a 2,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Chu et al., 1989) através imunoensaio enzimático em placas específico para microcistinas (Envirologix, USA). Os resultados eram lidos em leitora de placa Thermo Plate, modo absorvância, nos comprimentos de onda entre 450 e 540 nm.

Resultados

A composição semanal do fitoplâncton no período entre 03/01/2012 a 16/04/2013 indica que florações de cianobactérias ocorriam semanalmente e em altas densidades celulares no reservatório Maestra (Figura 2). A comunidade de cianobactérias esteve representada principalmente pelos gêneros *Microcystis* Kützing ex Lemmermann, cuja densidade celular chegou a $7,4 \cdot 10^5$ células.mL⁻¹, *Dolichospermum* (Ralfs ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek ($7,9 \cdot 10^5$ células.mL⁻¹) e *Pseudanabaena* Lauterborn ($4,3 \cdot 10^4$ células.mL⁻¹). As espécies identificadas neste período foram: *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing e *Microcystis* sp. Kützing ex Lemmermann, *D. circinale* (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek, *Dolichospermum crassum* (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek, *D. planctonicum* (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, *D. solitarium* (Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, *D.*

spiroides (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek , *P. mucicola* (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe e *P. catenata* Lauterborn. A presença de microcistinas na água do reservatório foi analisada em 59 semanas deste período (89,4%). Em 31 (47%) a concentração de toxinas apresentou-se acima de 2,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Em 23 semanas (34,8%) as concentrações de microcistinas estiveram entre 0,16 e 2,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e em apenas cinco (7,6%) as amostras foram negativas para a cianotoxina.

A abundância relativa, apresentada na Figura 3, mostra a transição da comunidade fitoplânctônica. Entre janeiro a março de 2012 o fitoplâncton esteve representado pelo grupo 'outros', composto principalmente por diatomáceas, com 46,5% de abundância em janeiro e 66,2% em fevereiro, sendo *Nitzschia* sp. a principal representante. Em março de 2012 criptofíceas (42,3%), representada principalmente por *Chroomonas* sp., e crisofíceas (41,4%), representada por *Mallomonas* sp. apresentaram maior abundância relativa, ambas as classes incluídas no grupo 'outros'. A partir de abril de 2012 a comunidade apresentou a co-ocorrência de três cianobactérias, *Dolichospermum* sp., *Microcystis* sp. e *Pseudanabaena* sp., como principais representante da comunidade fitoplanctônica. Este cenário permaneceu até setembro de 2012, quando foi detectada uma floração inicial de um dinoflagelado, identificado como *Ceratium furcoides* (Figura 4). A partir de outubro de 2012 até o final do período estudado, *C. furcoides* permaneceu dominando a comunidade fitoplanctônica, chegando a representar 95,7% desta, em janeiro de 2013. Após a dominância deste dinoflagelado, em janeiro de 2013, não ocorreram florações de cianobactérias no reservatório.

O dendrograma de agrupamento da comunidade fitoplanctônica ao longo do período de estudo, separou inicialmente, em -0,32 (Figura 5), a comunidade em dois grandes grupos dissimilares. O grupo I está representado pelas datas em que a comunidade fitoplanctônica foi dominada por *C. furcoides*. Uma segunda separação (grupos II e III) foi feita em -0,16. O grupo II compreende as datas de coleta em que as cianobactérias *Microcystis* sp. e *Dolichospermum* sp. e *Pseudanabaena* sp. apresentavam-se em maior abundância relativa no reservatório. Ainda dentro deste grupo, próximo a 0,5, ocorreu a separação do período amostral em datas em que *C. furcoides* não havia ocorrido no reservatório (II-a), e o período inicial em que ocorreu esta invasão (II-b). O grupo III apresentou-se bastante seccionado, e de modo geral sem a representatividade de uma comunidade característica.

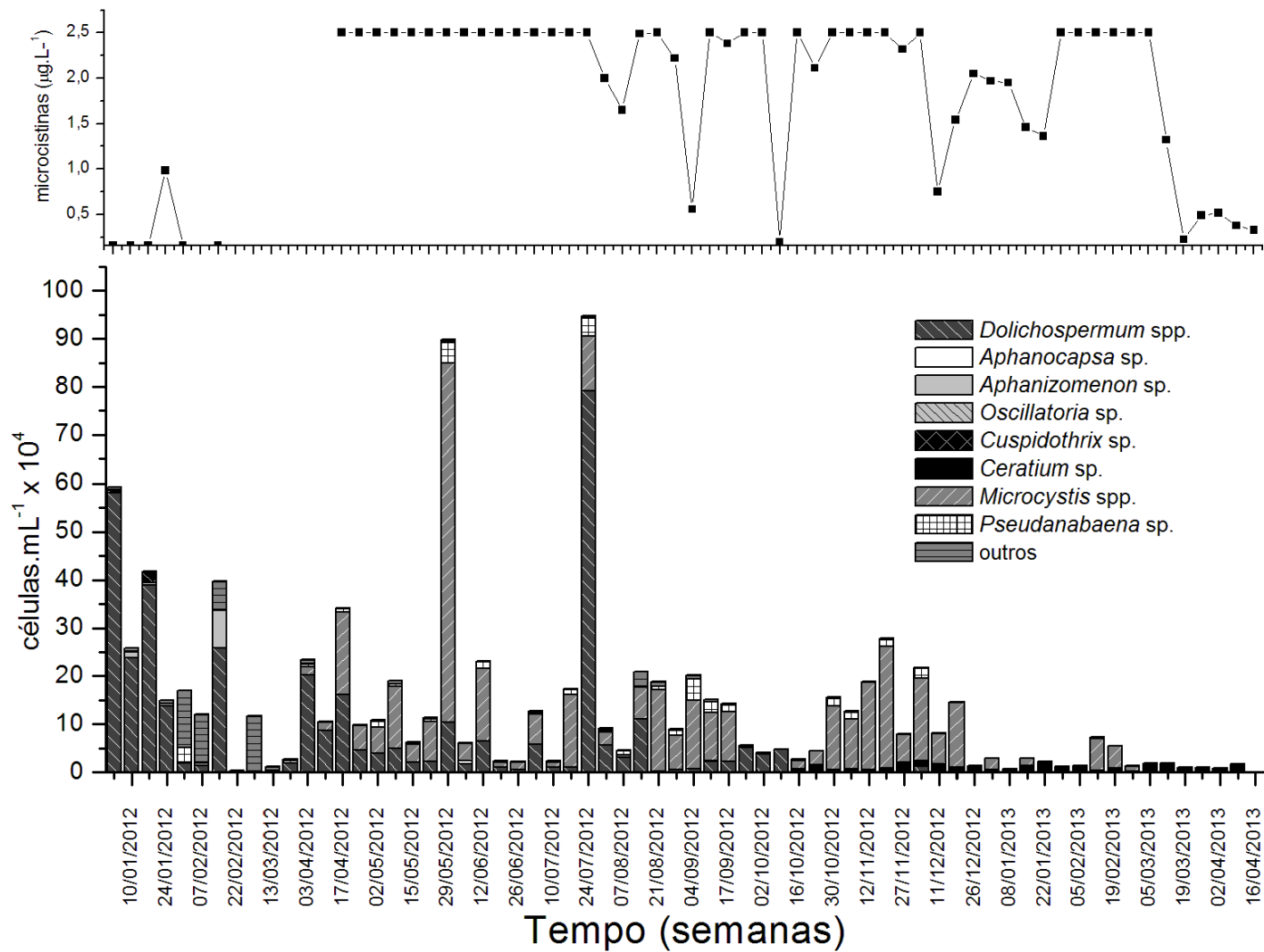


Figura 2. Monitoramento semanal do fitoplâncton e microcistinas no reservatório Maestra em Caxias do Sul (RS-Brasil) durante o período de janeiro de 2012 a abril de 2013.

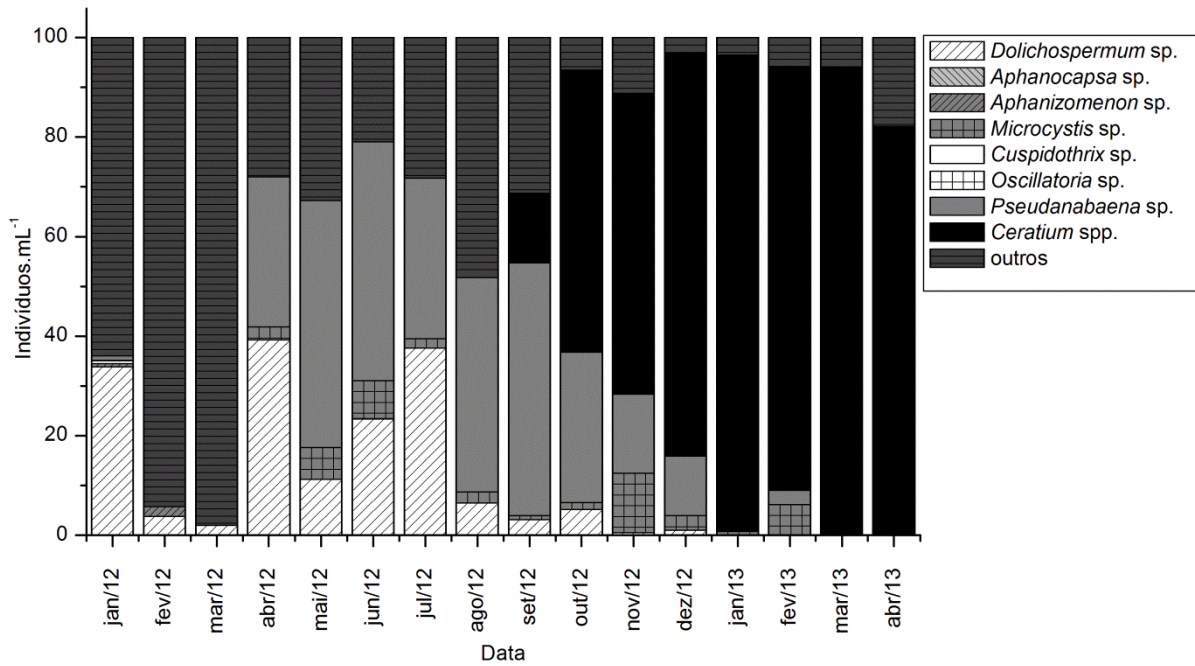


Figura 3. Abundância relativa da comunidade fitoplanctônica com ênfase no grupo das cianobactérias no reservatório Maestra entre os meses de janeiro/2012 a abril/2013.

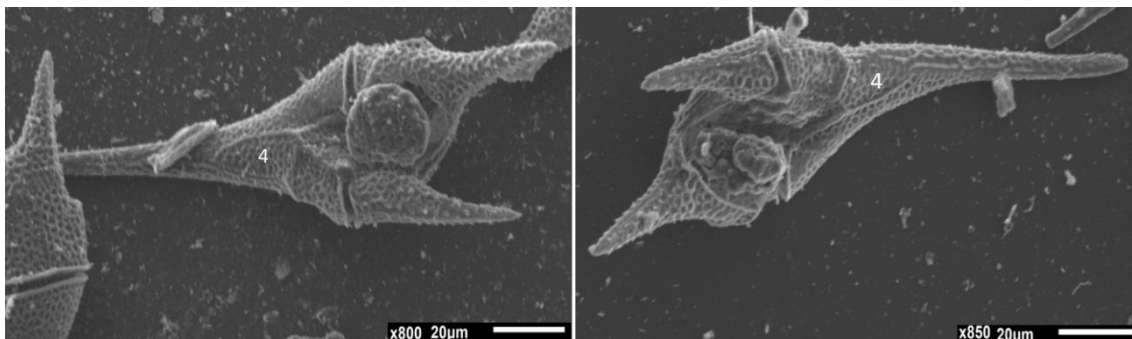


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura do dinoflagelado *Ceratium furcoides* do reservatório Maestra em Caxias do Sul (RS-Brasil).

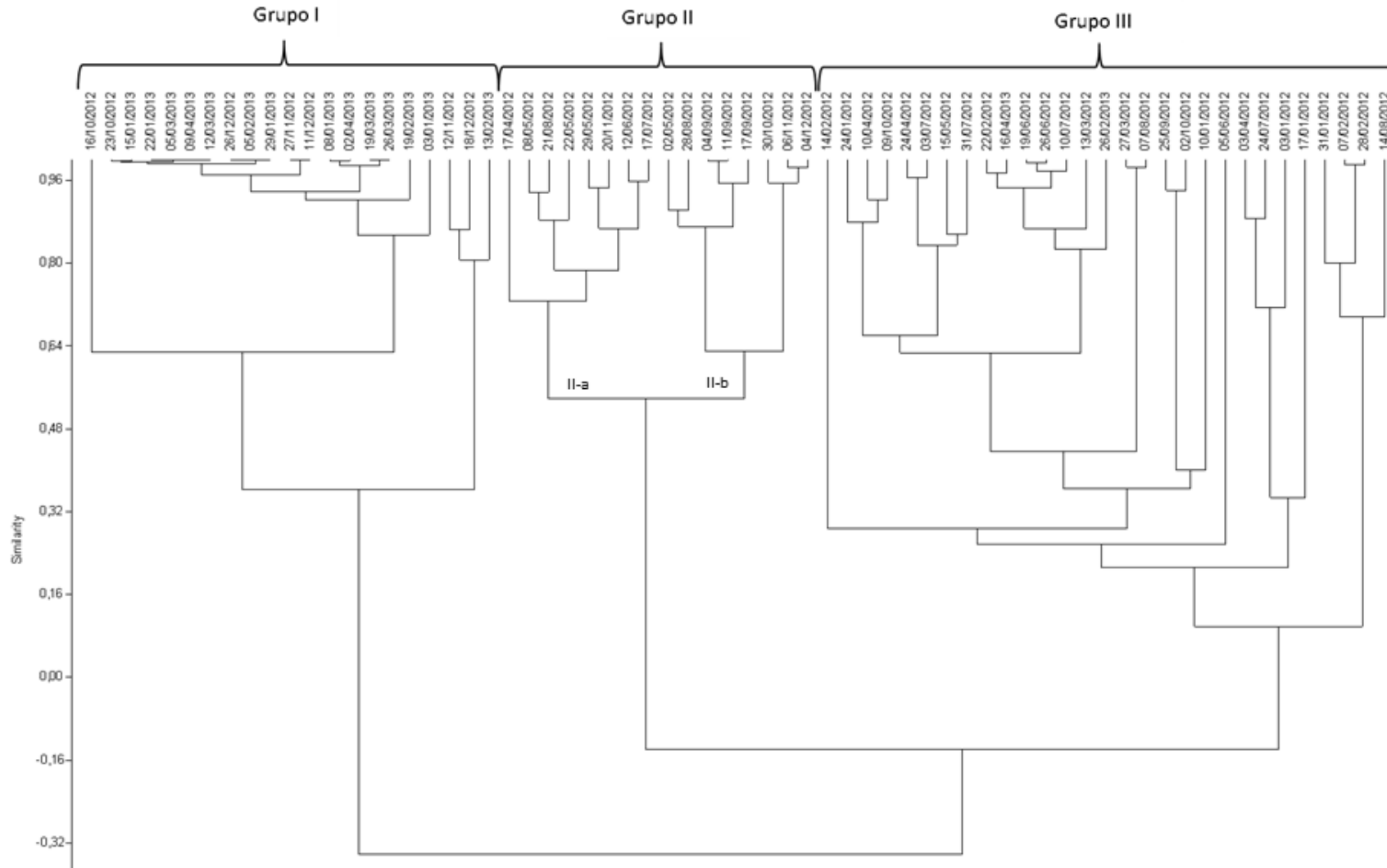


Figura 5. Análise de agrupamento utilizando o coeficiente de correlação como medida de similaridade da comunidade fitoplanctônica no reservatório Maestra – Caxias do Sul (RS/Brasil) no período de janeiro de 2012 a abril de 2013.

Discussão

Desde a sua criação para o uso no abastecimento de água de Caxias do Sul, o reservatório Maestra apresentava florações de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. Dentre as cianotoxinas já registradas no reservatório, a microcistina é a que ocorre com maior frequência, sendo produzida principalmente por dois gêneros de cianobactérias frequentes em reservatórios: *Microcystis* e *Dolichospermum* (Qin et al., 2010; Piccin-Santos & Bittencourt-Oliveira 2012; Bittencourt-Oliveira et al., 2014). A presença de cianotoxinas é preocupante em reservatórios utilizados para o abastecimento público, onde o tratamento deve ser eficiente na remoção destes contaminantes. Além disso, outro problema relacionado a florações de cianobactérias é a presença de compostos que fornecem gosto e odor na água e cuja remoção é dificultada quando ocorre a lise das células (Srinivasan & Sorial 2011; Ewerts et al 2013). Nos últimos anos, dinoflagelados do gênero *Ceratium* tem ocorrido em reservatórios tropicais e subtropicais brasileiros (Ferrareze & Nogueira, 2006; Santos-Wisniewski et al., 2007; Matsumura-Tundisi et al., 2010; Oliveira et al., 2011; Silva et al., 2012; Cavalcante et al., 2013), alterando a dinâmica da comunidade e dificultando o processo de tratamento de água (Hart & Wragg, 2009; Van der Walts, 2010; Ewerts et al., 2013).

As cianobactérias além de apresentarem extensa distribuição geográfica, são comuns dominando os ambientes aquáticos (Paerl et al., 2001), como foi verificado durante alguns meses deste estudo. No entanto, a análise de similaridade da comunidade fitoplanctônica do reservatório ao longo do tempo mostra que após a invasão de *Ceratium furcoides*, em setembro de 2012, ocorreu o desaparecimento das florações de cianobactérias e o estabelecimento do dinoflagelado neste ambiente, sugerindo um evento importante de sucessão da comunidade. Este dinoflagelado ocorre há bastante tempo em outros países como Canadá (Nicholls et

al., 1980), na Inglaterra (Heaney et al., 1988), África do Sul (Ginkel et al. 2001), na República Tcheca (Jancula & Marsalek, 2012), Espanha (Pérez-Martínez & Sánchez-Castillo, 2001) entre outros, mostrando que a espécie apresenta um caráter subcosmopolita, aplicado a espécies pantropicais de ambientes especializados (Padisák, 2004). Apesar da invasão em diversos lagos e reservatórios no Brasil, *Ceratium* foi registrado sempre em baixas densidades celulares, abaixo de 50 ind.mL⁻¹ (Silva et al., 2012, Santos-Wisniewski et al., 2007). No reservatório em estudo *C. furcoides* chegou a representar 95,7% (21625 ind.mL⁻¹) da comunidade fitoplanctônica. A maior densidade encontrada em reservatórios brasileiros até o momento era de 21455 ind.mL⁻¹, representando 58,24% da comunidade fitoplanctônica (Matsumura-Tundisi et al., 2010).

Desde o seu primeiro registro no local de estudo, o dinoflagelado é encontrado semanalmente, variando apenas em densidade celular (Sussela, com. pessoal). Isto mostra que para o dinoflagelado a temperatura não é limitante, corroborando com estudos de Gil et al. (2012). Segundo este autor, *Ceratium* sp. é influenciado negativamente por mudanças nas condições de chuva e de nutrientes, sendo considerado um organismo sensível a instabilidade ambiental. Silva et al., (2012) mostraram que a ocorrência de *Ceratium* sp. associa-se positivamente com variáveis que indicam o incremento do estado trófico da água, como nitrito e nitrato. Além disso, a maior vantagem competitiva, devido ao seu modo de nutrição mixotrófico (Popovský 1983) e à sua capacidade de migração vertical e encistamento (Gil et al., 2012; Reynolds & Bellinger 1992; Cavalcante et al., 2013) podem estar favorecendo este domínio.

A co-ocorrência de *Ceratium* sp. e cianobactérias já foi registrada para, Naselli-Flores & Barone (2003), Hedger et al. (2004), Matsumura-Tundisi et al. (2010). Este perfil de comunidade foi descrito por Reynolds et al. (2002) e Padisák

et al. (2009) como característico de grupos morfofuncionais do códon Lm, em lagos de pequena a média extensão, com característica hiper-eutrofizada. Outros autores mostram florações de *Ceratium* sp. e *Microcystis* sp. em eventos de sucessão (Van Ginkel et al., 2001). Reynolds & Bellinger (1992) sugerem a existência de competição entre *Microcystis* sp. e *Ceratium* sp.. Eventos sucessionais ocorrem por mudanças nas características do ecossistema, devido a períodos de mistura e alteração da luminosidade na coluna d'água, tempo de retenção da água, batimetria e carga de nutrientes no local (Heaney et al., 1988; Naselli-Flores et al., 2003) e tem como consequência uma rápida resposta de substituição de espécies na comunidade fitoplanctônica (Van Ginkel et al. 2001). No presente trabalho, a modificação da comunidade sugere que o reservatório está em um estado de transição, no entanto mais estudos são necessários para entender a dinâmica deste ambiente. Dokulil & Teubner (2003) em um estudo de 50 anos em lagos alpinos mostraram a sucessão do grupo morfofuncional Lm para o grupo Lo, relacionado este fato a uma mudança do estado meso para oligo-mesotrófico do ambiente.

Além das consequências da invasão de espécies de *Ceratium* sobre o fitoplâncton, outros trabalhos mostram que em locais onde o dinoflagelado ocorre também é verificada a diminuição da comunidade do zooplâncton e de peixes (Santos-Wisniewski et al., 2007; Hart & Wragg, 2009). O estudo do reservatório Maestra fornece informações importantes acerca da auto-ecologia de *Ceratium* sp., no entanto mais estudos são necessários para compreender o efeito deste sobre outros níveis tróficos. No reservatório em estudo florações de *Ceratium* sp. tem causado problemas que vão além da diminuição da diversidade. Apesar de não haver registros acerca da produção de toxinas, o grande tamanho do organismo diminuiu a vida útil do sistema de filtração da Estação de Tratamento que capta

água do reservatório, o que a longo prazo aumenta os custos com o tratamento da água.

Conclusões

A Maestra é um dos reservatórios que abastecem a cidade de Caxias do Sul – RS (Brasil). Desde a sua criação e utilização para a captação de água, este reservatório apresenta um histórico de florações de cianobactérias, que no período de estudo sofreu uma grande alteração. Os principais resultados encontrados neste estudo foram:

- A comunidade de cianobactérias encontradas em florações no reservatório pertencem principalmente aos gêneros *Pseudanabaena*, *Microcystis* e *Dolichospermum*. Estas cianobactérias são produtoras de cianotoxinas e ocorreram durante diversos meses do estudo.

- A presença de cianotoxinas foi encontrada em 81,8% das semanas analisadas, indicando que a presença de microcistinas é frequente no reservatório.

- A invasão de um dinoflagelado *Ceratium furcoides* ocorreu em setembro de 2012. Após esta invasão foi observada uma mudança na comunidade fitoplanctônica, marcada principalmente pela diminuição de cianobactérias do ambiente. Esta mudança na comunidade pode indicar um estado de transição do reservatório já observada por outros autores.

- O gênero *Ceratium* é pantropical com grande potencial para invasão em ambientes aquáticos brasileiros. No reservatório em estudo *C. furcoides* alcançou altas densidades celulares, indicando que o dinoflagelado está bem estabelecido neste ambiente.

Referências Bibliográficas

- Becker, V; Ihara, P; Yunes, JS & Huszar, VLM. (2010). Occurrence of anatoxin-a(s) during a bloom of *Anabaena crassa* in a water-supply reservoir in southern Brazil. *Journal of Applied Phycology* 22:235-241.
- Bittencourt-Oliveira, MC; Piccin-Santos, V; Moura, AN; Aragão-Tavares, NKC & Cordeiro-Araújo, MK. (2014). Cyanobacteria, microcystins and cylindrospermopsin in public drinking supply reservoirs of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86(1):297-309.
- Cavalcante, KP; Zanotelli, JC; Müller, CC; Scherer, KD; Frizzo, JK; Ludwig, TAV & Cardoso, LS. (2013). First record of expansive *Ceratium* Schrank, 1793 species (Dinophyceae) in Southern Brazil, with notes on their dispersive patterns in Brazilian environments. *Check List* 9(4):862-866.
- Chorus, I & Bartram, J. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. New York: E & FN Spon. 416p.
- Chu, PS; Huang, X; Wel, RD & Carmichael, WW. (1989). Production and characterization of antibodies against microcystins. *Applied and Environmental Microbiology*, 55:1925-1933.
- Costa, IAS; Azevedo, SMFO; Senna, PAC; Bernardo, RR; Costa, SM & Chellapa, NT. (2006). Occurrence of Toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semiarid reservoir. *Brazilian Journal of Biology* 66(1B):211-219.
- Dokulil, MT & Teubner, K. (2000). Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia* 438: 1-12.
- Dokulil, MT & Teubner, KT. (2003). Steady state phytoplankton assemblages during thermal stratification in deep alpine lakes. Do they occur? *Hydrobiologia* 502:65-72.
- Ewerts, H; Swanepoel, A & Preez, HH. (2013). Efficacy of conventional drinking water treatment processes in removing problem-causing phytoplankton and associated organic compounds. *Water SA* 39(5): 739-750.
- Ewerts, H; Barnard, S; Swanepoel; du Preez, HH & Janse van Vuuren, S. (2014). Strategies of coagulant optimisation to improve the removal of turbidity and *Ceratium hirundinella* cells during conventional drinking water purification. *Water Science & Technology*
- Ferrareze, M & Nogueira, MG. (2006). Phytoplankton assemblages and limnological characteristics in lotic systems of the Paranapanema basin (Southeast Brazil). *Acta Limnologica brasiliense* 18(4):389-405.
- Gil, CB; Restrepo, JJR; Boltovskoy, A & Vallejo, A. (2012). Spatial and temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia* 24(2): 207-219.
- Guidelines for Drinking-water Quality. (2011). Fourth Edition. WHO. 564p.

Hart, RC & Wragg, P. (2009). Recent blooms of the dinoflagellate *Ceratium* in Albert Falls Dam (KZN): History, causes, spatial features and impacts on a reservoir ecosystem and its zooplankton. *Water SA* 35(4): 455-468.

Heaney, SI; Lund, JWG; Canter, HM & Gray, K. (1988). Population dynamics of *Ceratium* spp. In three English Lakes, 1945-1985. *Hydrobiologia* 161:133-148.

Hedger, RD; Olsen, NRB; George, DG; Malthus, TJ & Atkinson, PM. (2004). Modelling spatial distributions of *Ceratium hirundinella* and *Microcystis* spp. In a small productive British lake. *Hydrobiologia* 528:217-227.

Hoeger, SJ; Shaw, G; Hitzfeld, BC & Dietrich, DR. (2004). Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in two Australian drinking water treatment plants. *Toxicon* 43:639-649.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – censo 2013: acessado em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430510>, cinco de maio de 2014;

Jancula, D & Marsalek, B. (2012). Seven years from the first application of polyaluminium chloride in the Czech Republic – effects on phytoplankton communities in three water bodies. *Chemistry and Ecology* 28(6):535-544.

Koppen-Geiger - Classificação climática de Koppen-Geiger - [Acessado em: http://pt.wikipedia.org/w/index.php?oldid=16801300](http://pt.wikipedia.org/w/index.php?oldid=16801300), sete de maio de 2014.

[Lamparelli, MC. \(2004\). Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento. Tese do Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 238 p.](#)

Matsumura-Tundisi, T; Tundisi, JC; Luzia, AP & Degani, RM. (2010). Occurrence of *Ceratium furcoides* (levander) Laghans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 70(3):825-829.

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. (2005). Water-level fluctuations in Mediterranean reservoirs: setting a dewatering threshold as management tool to improve water quality. *Hydrobiologia* 548:85-99.

Nicholls, KH; Kennedy, W & Hammett, C. (1980). A fish-kill in Heart Lake, Ontario, associated with the collapse of a massive population of *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae). *Freshwater Biology* 10:553-561.

Oliveira, HSB; Moura, AN & Cordeiro-Araújo, MK. (2011). First record of *Ceratium Schrank, 1973* (Dinophyceae: Ceratiaceae) in freshwater ecosystems in the semiarid region of Brazil. *Check List* 7(5):626-628.

Oliveira, SMAC; Parkinson, JN & von Sperling, M. (2006). Wastewater treatment in Brazil: Institutional framework, recent initiatives and actual plant performance. *International Journal of Technology Management & Sustainable Development* 5(3):241-256.

Oosthuizen, MGJ. (2012). Changes in density and composition of algal assemblages over time in two water purification plants. Dissertation of School for Environmental Science and Development at the Potchefstroom Campus of the North-West University 101p.

Padisák, J. Phytoplankton. In O'Sullivan, PE. & Reynolds, CS. (2004). The Lakes Handbook. Vol. 1. Limnology and Limnetic Ecology. Oxford: Blackwell Science Ltd. 699p.

Padisák, J; Crossetti, LO & Nasseli-Flores, L. (2009). Use and misuse in the application of the Phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621:1-19.

Paerl, HW & Huisman, J. (2008). Blooms Like it Hot. *Science* 320:57-58.

Paerl, HW; Fulton, RS; III; Moisander, PH & Dyble, J. (2001). Harmful Freshwater Algal Blooms, With emphasis on Cyanobacteria. *The Scientific World* 1:76-113.

Paerl, HW & Paul, VJ. (2012). Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Research* 46:1349-1363.

Pérez-Martínez, C & Sánchez-Castillo, P. (2001). Temporal occurrence of *Ceratium hirundinella* in Spanish reservoirs. *Hydrobiologia* 452:101-107.

Piccin-Santos, V & Bittencourt-Oliveira, MC. (2012). Toxic Cyanobacteria in Four Brazilian Water Supply Reservoirs. *Journal of Environmental Protection* 3:68-73.

Popovský, J. (1983). Problems in determination of freshwaters dinoflagellates (Dinophyceae). *Swiss Journal of Hydrology* 45(2):365-372.

Portaria N^o 2914, de 12 de dezembro de 2011. Acessado em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html, vinte e oito de abril, 2014.

Qin, B; Zhu, G; Gao, G; Zhang, Y; Li, W; Paerl, HW & Carmichael, WW. (2010). A Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China: Linkage to Climatic Variability and Lake Management. *Environmental Management* 45:105-112.

Reynolds, CS & Bellinger, EG. (1992). Patterns of abundance and dominance of the phytoplankton of Rostherne Mere, England: evidence from an 18-year data set. *Aquatic Sciences* 54(1):10-36.

Reynolds, CS; Huszar, V; Kruk, C; Naselli-Flores, L & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24(5):417-428.

Santos-Wisniewski, MJ; Silva, LC; Leone, IC; Laudares-Silva, R & Rocha, O. (2007). First record of the occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925, an invasive species in the hydroelectricity power plant Furnas Reservoir, MG, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 67(4):791-793.

Silva, LC; Leone, IC; Santos-Wisniewski, MJ; Peret, AC & Rocha, O. (2012). Invasion of the dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 at

tropical reservoir and its relation to environmental variables. *Biota Neotropica* 12(2):93-100.

Soares, MCS; Huszar, VLM; Miranda, MN; Mello, MM; Roland, F & Lüring, M. (2013). Cyanobacterial dominance in Brazil: distribution and environmental preferences. *Hydrobiologia* 717:1-12.

Spiandorello, F. - com. pessoal. Engenharia Química do Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul – RS/Brasil.

Srinivasan, R & Sorial, GA. (2011). Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: A critical Review. *Journal of Environmental Sciences* 23(1):1-13.

Sussela, com. pessoal. Bióloga do Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul – RS/Brasil.

Van der Walt, N. (2011). Investigation into the occurrence of the dinoflagellate *Ceratium hirundinella* in source waters and the impact thereof on drinking water purification. Dissertation for the degree Master of Science in Environmental Sciences at the Potchefstroom campus of the North-West University. 225p.

Van Ginkel, CE Hohls, BC & Vermaak, E. (2001). A *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) bloom in Hartbeespoort Dam, South Africa. *Water SA* 27(2):269-276.

Vieira, JMS; Azevedo, MTP; Azevedo, SMFO; Honda, RY & Corrêa, B. (2005). Toxic Cyanobacteria and microcystin concentrations in a public water supply reservoir in the Brazilian Amazonia region. *Toxicon* 45:901-909.

Yen, H; Lin, T & Liao, P. (2011). Simultaneous detection of nine cyanotoxins in drinking water using dual solid-phase extraction and liquid chromatography-mass spectrometry. *Toxicon* 58:209-218.

Yunes, JS; Matthiensen, A; Carneiro, C; Oroski, F; Becker, V & Carvalho, MC. 2005. Florações de Cianobacterias Tóxicas: Mãos à Obra ao Problema. In: Roland, F; Cesar, D & Marinho, M. Lições de Limnologia. São Carlos: RiMa. 532p.

- CAPÍTULO 3 -
EFEITO DO TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAL NA REMOÇÃO DE
ALGAS, CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA

Manuscrito a ser submetido para Water S.A.

EFEITO DO TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAL NA REMOÇÃO DE ALGAS, CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

C.R. de Almeida^{1*}, Sussela², R., Spiandorello³, F., J.S. Yunes⁴ & D. Giroldo⁵

1. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Biológicas, PPG em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Av.Itália, Km 8, Campus Carreiros, 96201-900, Rio Grande, RS.

2. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul – RS.

3. Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul – RS.

4. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia. Laboratório de Cianobactérias e Ficotoxinas. Av.Itália, Km 8, Campus Carreiros, 96201-900, Rio Grande, RS.

5. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Biológicas, PPG em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Laboratório de Botânica Criptogâmica. . Av.Itália, Km 8, Campus Carreiros, 96201-900, Rio Grande, RS.

Resumo

Efeito do tratamento da água convencional na remoção de algas, cianobactérias e cianotoxinas em uma Estação de Tratamento de Água. Florações de algas e cianobactérias podem alterar a qualidade dos corpos hídricos, produzindo compostos que fornecem gosto e odor na água. Além disso, cianobactérias podem produzir toxinas que dificultam o tratamento da água. O reservatório Maestra, localizado em Caxias do Sul, RS – Brasil é um reservatório de pequena extensão, com características meso-supereutróficas. Este reservatório fornece água para a Estação de Tratamento de Água Celeste Gobatto (ETA Celeste Gobatto), que utiliza o método convencional de tratamento. Este trabalho avaliou o efeito da remoção do fitoplâncton e microcistinas durante uma floração de *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann com densidade de 23.163 cels.mL⁻¹, *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (5.356 cels.mL⁻¹) e uma concentração de 1,97 µg.L⁻¹ de microcistinas na água bruta do reservatório. Foram feitas coletas em triplicatas em: 1) Água Bruta do Reservatório; 2) Entrada da ETA; 3) Após a sedimentação; 4) Água filtrada; e 5) Água tratada final. A remoção celular foi avaliada por contagem em microscópio invertido, clorofila-a por análise colorimétrica e microcistinas por kit de imunoenensaio enzimático. A remoção celular e de clorofila-a ocorreu principalmente nas etapas iniciais do tratamento pela coleta da água em profundidade de quatro e nove metros, e pela etapa de clarificação da água. A remoção de microcistina ocorreu principalmente na primeira e na última etapa do tratamento (desinfecção), indicando a presença de microcistinas dissolvidas na água. O tratamento convencional foi eficiente na remoção de todos os parâmetros em taxas acima de 98%. Entretanto, apesar da remoção de *Ceratium furcoides* em valores acima de 99%, a densidade deste dinoflagelado na água tratada foi alta.

Palavras-chave: *Ceratium furcoides*, *Microcystis* sp., microcistinas

Abstract

Effect of conventional water treatment to removing algae, cyanobacteria and cyanotoxins in a Water Treatment Plant. Blooms of algae and cyanobacteria can change the quality of water bodies, producing compounds that provide taste and odor to water. In addition, cyanobacteria can produce toxins that difficult the water treatment. The Maestra reservoir, located in Caxias do Sul, RS - Brazil is a small meso-supereutrophic reservoir. The reservoir provides water for the Celeste Gobatto Water Treatment Plant (Celeste Gobatto WTP) that uses the conventional method of treatment. This work aimed to evaluate the effect of phytoplankton and microcystins remotion during a bloom of *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann with a density of 23,163 cells.mL⁻¹, *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans, (5,356 cells.mL⁻¹) and a concentration of 1,97 µg.L⁻¹ of microcystins in raw water. Triplicate samples were collected in: 1) raw water of the reservoir; 2) WTP entry; 3) After sedimentation; 4) filtered water; and 5) treated water. The cell removal was evaluated by cell counting in inverted microscope, chlorophyll-a by colorimetric analysis and microcystin by enzyme immunoassay kit. The remotion of cells and chl-a occurred mainly in the early water treatment steps, due to depths of water harvesting and the clarification step. The remotion of microcystins occurred mainly during the first and the last step of water treatment (disinfection), showing the presence of dissolved microcystins in the water. The conventional treatment was efficient to remove above 98% all parameters valuated. However despite the cellular removal above to 99% for *C. furcoides*, the presence of this dinoflagellate in treated water was high.

Key words: *Ceratium furcoides*, *Microcystis* sp., microcystins

Introdução

Cianobactérias são comuns em reservatórios utilizados para o abastecimento de água. Quando em florações são conhecidas por alterar a qualidade dos corpos hídricos, promovendo cheiro, cor e sabor e a presença de cianotoxinas na água (Chorus & Batram, 1999; Carmichael et al., 2001; Antoniou et al., 2005). Estas florações representam um desafio para as Estações de Tratamento de Água (ETAs), devido à dificuldade de remoção de células sem que ocorra a lise celular e a consequente liberação de toxina na forma dissolvida, mais difícil de ser removida pelas técnicas convencionais de tratamento (Pietsch et al., 2002). No Brasil, visando garantir o padrão de potabilidade da água, o Ministério da Saúde estabelece

procedimentos de controle e vigilância de qualidade para águas oriundas de reservatórios com florações de cianobactérias produtoras de cianotoxinas (Portaria 2914). Estas determinações tem por base as diretrizes da Organização Mundial da Saúde, que define para microcistina-LR o limite máximo de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Guidelines for Drinking-water Quality, WHO 2011).

Além das cianobactérias, florações de *Ceratium* Schrank tem sido registradas em mananciais brasileiros (Santos-Wisniewski et al., 2007; Matsumura-Tundisi et al., 2010; Oliveira et al., 2011; Silva et al., 2012; Cavalcante et al., 2013). Apesar de não haver registros quanto à produção de toxinas por estes dinoflagelados, a ocorrência de florações tem sido relacionada à perda de qualidade (Hart & Wagg, 2011; Ewerts et al., 2013) e a problemas no tratamento da água como a coagulação, sedimentação e diminuição da vida útil dos filtros (Ewerts et al., 2013; Van der Walt, 2011).

No Brasil, muitas ETAs utilizam a captação superficial e empregam técnicas convencionais no tratamento da água, seguindo normas da Resolução 357/2005 do CONAMA. Este tratamento auxilia na remoção de células e toxinas, através de procedimentos químicos e físicos de clarificação, por meio da coagulação, floculação e sedimentação, e as etapas de filtração e desinfecção (Chorus & Bartram, 1999). No entanto, estudos mostram que as taxas de remoção celular e de cianotoxinas pode variar, influenciadas pelas condições do tratamento e pela espécie de cianobactéria presente na água (De Julio et al. 2010; Zamyadi et al, 2012). Quando o tratamento convencional não é suficiente, técnicas avançadas podem ser utilizadas, como a adsorção de compostos orgânicos em carvão ativado, nanofiltração e utilização de radiação UV associada a oxidantes (Bandala et al., 2004; Ho et al., 2009; Liu et al., 2010; Camacho et al., 2013). Além disso, estudos tem mostrado a eficiência de métodos alternativos àqueles tradicionais como a

utilização de Flotação por Ar Dissolvido (Teixeira & Rosa, 2007), utilização de oxidantes mais eficientes que o cloro e sulfato de alumínio na remoção de algas e cianotoxinas (Yuan et al 2002; Brooke et al., 2006; Rodríguez et al., 2007; Bigaj et al., 2013). Apesar de eficientes, estas tecnologias podem se tornar inviáveis para algumas ETAs, devido ao maior custo na implementação e no tratamento da água (Oliveira et al., 2006).

Durante a Revisão da Portaria 518, entre os anos de 2009 e 2010, foi levantado pelo Grupo de Trabalho em Cianobactérias sobre a eficiência das estações convencionais (ETAs) que não dispõem de métodos avançados complementares na remoção do fitoplâncton e cianotoxinas desde a água dos mananciais. As barragens de Caxias do Sul-RS, Brasil, apresentam um histórico de florações de cianobactérias nocivas como *Dolichospermum* Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault, *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann, *Aphanizomenon* A. Morren ex Bornet & Flahault, *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont, *Planktothrix* Anagnostidis & Komárek *Pseudanabaena* Lauterborn (Yunes et al., 2005; Becker et al. 2010) e, a partir de 2012, vem apresentando florações extensas de *Ceratium* sp. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento de água convencional na remoção de algas, cianobactérias e cianotoxinas, utilizando o reservatório Maestra de Caxias do Sul-RS, Brasil e a ETA Celeste Gobatto como modelo teste para este experimento.

Metodologia

Local de Estudo

O reservatório Maestra (Figura 1), implantado em 1968, tem profundidade máxima de 31,8 m. O estado trófico do reservatório, calculado com base em dados de P total e clorofila-a indica que o reservatório durante o período de estudo

encontrava-se entre meso-supereutrófico (Carlson, 1977 modificado por Lamparelli, 2004). A bacia que o abastece apresenta uma área de 16 Km², com volume acumulado de 5,4.10⁶ m³, o suficiente para abastecer cerca de 22% da população de Caxias do Sul. Localiza-se em uma região de clima subtropical úmido (Cfb, Koppen-Geiger), com médias de temperatura do ar variando entre 12 °C na estação mais fria e próxima a 20°C nas estações mais quentes. O abastecimento de água de Caxias do Sul é obtido a partir de captação superficial, através de arroios de pequena vazão. A água coletada neste reservatório é enviada para a Estação de Tratamento Celeste Gobatto (ETA Celeste Gobatto), que trata a água através do método convencional, utilizando sulfato de alumínio como coagulante e compostos de cloro na desinfecção.



Figura 1. Reservatório Maestra (Caxias do Sul – RS, Brasil).

Experimento para avaliação do Efeito do Tratamento água na remoção de algas, cianobactérias e cianotoxinas

A coleta experimental para avaliação do efeito do tratamento na remoção do fitoplâncton e cianotoxinas foi realizada durante os dias 3 e 4 de janeiro de 2013. Foram coletadas amostras em triplicatas para análise do teor de clorofila-a, contagem celular, identificação do fitoplâncton e presença de cianotoxinas (saxitoxinas e microcistinas) na água bruta e em cada etapa do tratamento de água.

Os pontos de coleta foram padronizados com a seguinte numeração: 1) Água Bruta do Reservatório; 2) Entrada da ETA; 3) após a sedimentação; 4) Água filtrada; e 5) Água tratada final. As mesmas análises foram feitas também para o lodo proveniente da água de retrolavagem dos filtros. A partir destes pontos amostrais foi avaliado o efeito de cada etapa do tratamento da água na remoção do fitoplâncton, clorofila-a e microcistina. O efeito da profundidade de coleta da água, realizada em quatro e nove metros, foi avaliado pela diferença entre água coletada na 'Entrada da estação' (Ponto 2) e a 'Água bruta do reservatório' (Ponto 1); o efeito da coagulação/floculação e sedimentação foi avaliado pela diferença entre o ponto 'Após a sedimentação' (3) e 'Entrada da ETA' (2); o efeito da filtração foi avaliado pela diferença entre a 'Água filtrada' (4) e o ponto 'Após a sedimentação'; assim como o efeito da desinfecção foi avaliado pela diferença entre 'Água tratada final' (5) e a 'Água filtrada' (4).

Para a análise do teor de clorofila-a foi utilizado o método colorimétrico proposto por Mackinney (1941). As amostras para contagem celular e identificação foram obtidas a partir da coleta de cinco litros de água, concentrada em filtro de malha 22 µm confeccionado com rede de plâncton. Estes filtros foram armazenados em vidros âmbar com 50 mL de água destilada e lugol 4%. Para identificação da comunidade fitoplânctonica foram usados os guias taxonômicos de Bicudo & Menezes (2006), Komárek & Anagnostidis (1998) e Cavalcante et al. (2013). As análises quali e quantitativas foram realizadas em microscópio invertido ZEISS AXIO VERT A1 com câmera fotográfica acoplada, em câmara de sedimentação Fleming de 2 mL e aumento de 400X.

A presença de saxitoxinas foi avaliada por Cromatografia líquida de Alta Eficiência (Schimadzu, Japão) equipado com bomba quaternária modelo LC-20AD, com sistema de eluição por gradiente, detector por Fluorescência (FLD) RF-10XL,

sistema de aquisição de dados “software Lab Solutions” e volume de injeção de 150 µL. A detecção das variantes de saxitoxinas (Neo-STX, dc-STX e STX) e goniautoxinas (GTX 1-5) foi feita a partir de metodologia proposta por Rourke et al. (2008) validado por Kolb (2012). A presença de microcistrinas foi avaliada através de Kit imunoenensaio em placas (Envirologix, USA) utilizando uma curva de calibração com limite de detecção entre 0,16 e 2,5 µg.L⁻¹ (Chu et al. 1989). Os resultados foram lidos em leitora de placa Thermo Plate, modo absorvância, nos comprimentos de onda entre 450 e 540 nm.

Para avaliar a remoção do fitoplâncton, clorofila-a e cianotoxinas, foi utilizada uma ANOVA de uma via seguida de pós-teste de Fisher LSD ($p < 0,05$), respeitando-se os pré-supostos da análise. Os programas estatísticos utilizados foram ORIGIN 6.0, STATISTICA 6.0 e BioStat 5.3.

Resultados

As coletas para o estudo de caso foram realizadas nos dias 3 e 4 de janeiro de 2013. Neste período foi observada uma floração de *Microcystis* sp., com densidade celular de 23163 céls.mL⁻¹ co-ocorrendo com uma floração de *Ceratium furcoides*, com densidade celular de 5356 céls.mL⁻¹ na água bruta do reservatório Maestra (Tabela 1). Foram detectadas microcistrinas na água bruta, com concentrações próximas a 2 µg.L⁻¹. O cromatograma referente a análise de saxitoxinas indicou a ausência das variantes analisadas (Neo-STX, dc-STX, STX e GTX 1-5), no entanto no mesmo cromatograma foi encontrado um pico ainda não identificado, que não foi detectado nas etapas seguintes do tratamento.

Os resultados obtidos para o percentual de remoção celular, de clorofila-a e microcistrinas em cada etapa do tratamento da água estão apresentados na Tabela 1. A eficiência de remoção celular foi de 99,11% para *C. furcoides* e 99,99% para

Microcystis sp., o que representa uma redução para 48 e 1,97 cels.mL⁻¹ ao final do tratamento, respectivamente. Para clorofila-a, a remoção foi de 98,12% e para microcistinas 99,99%.

Para todas as variáveis analisadas, as reduções mais importantes ocorreram nos estágios iniciais do tratamento da água (Figura 2), em especial pela profundidade de captação de 4 e 9 metros. A clarificação, etapa compreendida entre 2 e 3, pelos processos de coagulação, floculação e sedimentação também foi importante na redução de células, clorofila-a e microcistinas. A filtração (etapa 4) apresentou remoção significativa de células e clorofila-a, enquanto que na etapa 5, após a adição de cloro, além da remoção celular ocorreu remoção importante de microcistinas.

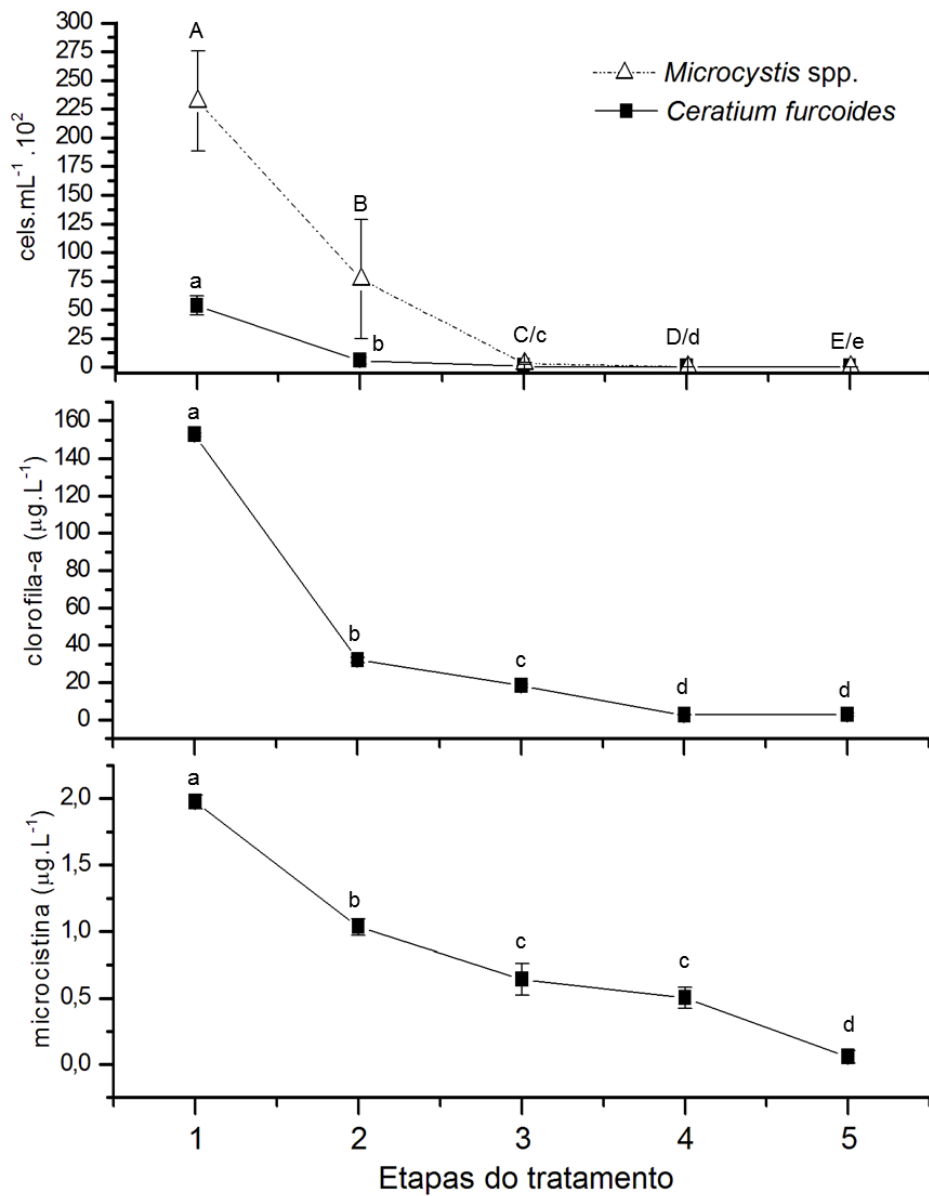


Figura 2. Remoção de clorofila-a, células e microcistinas durante o tratamento: 1) Água Bruta do Reservatório; 2) Entrada da ETA; 3) Após a sedimentação; 4) Água filtrada; e 5) Água tratada final. Teste post hoc de Fisher ($p < 0,05$) para: *Microcystis* sp. (letras maiúsculas) *Ceratium furcoides* (letras minúsculas).

Tabela 1. Contagem celular e contribuição de cada Etapa do tratamento convencional na remoção de células, microcistinas e clorofila-a durante o tratamento da água na ETA Celeste Gobatto – Caxias do Sul (RS): 1) Água Bruta do Reservatório; 2) Entrada da ETA 3) Após a sedimentação; 4) Água filtrada; e 5) Água tratada final.

Etapa do Tratamento		<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Microcystis</i> sp.	Microcistinas	Clorofila-a
1	Água bruta do reservatório (superfície)				
	Número de células.mL ⁻¹	5356	23163	1,97	152,9
	% remoção	0	0	0	0
2	Entrada da ETA				
	Número de células.mL ⁻¹	575	7656	1,03	32,03
	% remoção	89,27	66,95	49	79,05
3	Após a sedimentação				
	Número de células.mL ⁻¹	83	313	0,64	18,33
	% remoção	9,19	31,7	21	8,96
4	Água filtrada				
	Número de células.mL ⁻¹	21	11	0,5	2,63
	% remoção	0,06	1,24	14	10,27
5	Água tratada final				
	Número de células.mL ⁻¹	48	1,97	<0,16	2,87
	% remoção	-0,5	0,03	23	-0,16
	Eficiência de remoção	99,11	99,99	>99,99	98,12

Discussão

A avaliação do efeito do tratamento da água na remoção do fitoplâncton e cianotoxinas foi realizada durante um evento em que co-ocorriam *Microcystis* sp. e *C. furcoides* na água bruta. A densidade de *Microcystis* sp. estava baixa se comparada ao histórico de florações de cianobactérias nos reservatórios de Caxias do Sul (Sussela, com. pessoal), que apresentam registros acima de $2,5 \times 10^5$ céls.mL⁻¹. Esta baixa densidade pode ter ocorrido devido ao período de transição em que o reservatório se encontrava, marcado pelo estabelecimento de *C. furcoides* na comunidade fitoplanctônica (Almeida, dados não publicados). A floração de *C. furcoides* apresentava-se em alta densidade celular se comparada aos registros para os reservatórios brasileiros, que registraram a presença do dinoflagelado em baixa densidade, abaixo de 30 ind.mL⁻¹ (Santos-Wisniewski et al., 2007; Silva et al., 2012; Cavalcante et al., 2013).

A densidade celular de *Microcystis* sp. encontrada durante a coleta experimental, acima de 20 mil céls.mL⁻¹, torna obrigatória a análise de cianotoxinas na água bruta e tratada final, segundo as diretrizes estabelecidas pela Portaria 2914. A concentração de microcistinas na água bruta estava próximo a 2 µg.L⁻¹, acima do Limite Máximo Permitido pela atual Portaria para a água tratada (1 µg.L⁻¹). Portanto, a efetiva remoção desta toxina durante o tratamento foi importante para garantir o fornecimento de água tratada com qualidade para o consumo humano. Quanto à saxitoxinas, acredita-se que o pico detectado possa ser referente alguma variante não analisada, uma vez que este pico ocorre somente para amostras do reservatório Maestra e está

presente também no cromatograma dos padrões, próximo ao tempo de retenção característico da variante GTX-5.

A remoção inicial de células, clorofila-a e microcistinas ocorreu por um processo exclusivamente físico, relacionado à captação da água em comportas situadas a quatro e nove metros de profundidade no reservatório. Nestas profundidades ocorre diminuição da radiação solar, o que colabora para a redução na biomassa fitoplanctônica e, conseqüentemente, para a redução da carga de clorofila-a e microcistinas intracelulares que chegam a ETA Celeste Gobatto. Especialmente para espécies que se favorecem de ambientes aquáticos estratificados, como o *Ceratium* (Reynolds et al. 2002), ou para espécies com alta capacidade de flutuação como *Microcystis* (Sutcliffe & Jones, 1992), esta é uma forma efetiva de diminuir a entrada de florações na ETA, e por conseqüência reduzir os impactos no custo e eficácia do tratamento.

A etapa de clarificação (coagulação/floculação e sedimentação) também se mostrou importante na remoção celular, de clorofila-a e microcistinas. A remoção de cianobactérias durante o tratamento convencional ocorre principalmente nesta etapa. Chow et al. (1999) e Jurczak et al. (2005) verificaram que o sulfato de alumínio como coagulante e a filtração são capazes de remover cianobactérias e microcistinas intracelulares, sem causar a lise celular. No entanto, Hoeger et al. (2005) verificou que embora a coagulação e a filtração removam *Microcystis aeruginosa* para valores acima 99%, estas etapas não apresentam a mesma eficiência na remoção de microcistinas (20-60%), além de colaborar para o incremento de toxina dissolvida que deverá ser removida nas etapas posteriores.

Embora a remoção de *C. furcoides* tenha sido superior a 99%, ao fim do tratamento havia 54 células.mL⁻¹, o que, considerando o tamanho do dinoflagelado, é uma densidade alta. Outros autores avaliaram a remoção de *Ceratium* sp. pelo tratamento convencional utilizando sulfato de alumínio (Van Der Walls, 2011; Ewerts et al. 2013), sendo a baixa taxa de remoção relacionada a motilidade, morfologia, carga superficial e densidade celular, que dificultam a sedimentação durante o tratamento (Cavalcante et al., 2013; Gil et al., 2012; Henderson et al., 2008). Ewerts et al. (2014) testaram a utilização de diversos coagulantes utilizados no tratamento convencional, mostrando que o hidróxido de cálcio em combinação com um polímero orgânico apresentou melhor desempenho na remoção de pigmentos fotossintéticos, turbidez e *Ceratium* sp. do que o sulfato de Alumínio, comumente utilizado pelas ETAs. Esta estratégia de purificação, apesar de aumentar os custos com o tratamento, fornece água potável e de melhor qualidade estética.

A filtração apresentou importante remoção de clorofila-a, *Microcystis* sp. e *C. furcoides*, reduzindo em cerca de 75% a densidade celular do dinoflagelado em relação a etapa anterior do tratamento. Dentre os problemas relacionados à invasão deste organismo em ETAs está a obstrução de filtros e o incremento de clorofila na água tratada, devido ao grande tamanho do organismo (Van Ginkel et al., 2001; Van Der Walls, 2010; Ewerts et al. 2013). A microcistina não foi removida durante a filtração, indicando que havia ainda cerca de 0,5 µg.L⁻¹ de toxina na forma dissolvida na água. Segundo Pietsch et al. (2002) esta toxina é liberada com o rompimento celular durante a floculação ou por danos mecânicos as células durante etapas do tratamento, como a filtração. No entanto, condições ambientais desfavoráveis ou a própria

senescência da floração podem colaborar com o incremento de toxina na água (Znachor et al., 2006). Sabe-se que a microcistina na forma extracelular não é removida pela floculação, sedimentação e a filtração, de modo que a oxidação com cloro é a principal alternativa utilizada (Drikas et al., 2001; Pietsch et al., 2002; Hoeger et al., 2004; Jurczak et al., 2005; Acero et al., 2005). Neste trabalho, a cloração foi efetiva na remoção dessa fração de microcistina dissolvida, indicando que o cloro é um agente oxidante eficaz para a remoção de microcistina. Apesar de a cloração ser efetiva na degradação de microcistina, estudos mostram que outras cianotoxinas não são removidas por este oxidante (Hall et al., 2000).

O aumento da densidade de *C. furcoides* na água tratada ocorreu provavelmente pelo acúmulo de células nos canos e tanques da ETA. Ewerts et al. (2013) observaram este efeito, mesmo em baixa densidade celular. Esse aumento pode ser justificado pela motilidade do dinoflagelado, que dificulta a sua sedimentação (Van Der Walls, 2010). A concentração de clorofila-a também aumentou durante a desinfecção, corroborando com estudos de Gil et al. (2012), Silva et al. (2012) e Ewerts et al. (2013) que indicam a presença do dinoflagelado como responsável pela contribuição de clorofila-a na água. Alguns estudos mostram que a adição de compostos oxidantes prévios ao tratamento podem imobilizar as células de *Ceratium* sp., auxiliando na sua remoção (Van Der Walls, 2010). No entanto, a adição de compostos oxidantes aumentam o risco de lise celular e liberação de compostos de odor e gosto (Ho et al., 2013). O maior risco estende-se para a co-ocorrência de *Ceratium* sp. e *Microcystis* sp., onde o tratamento para a remoção do dinoflagelado pode levar a lise da cianobactéria, liberando toxinas para a água.

Embora a adição de cloro na água ao longo do tratamento tenha se mostrado eficiente na remoção de matéria orgânica, a dosagem deste é limitada pela Portaria 2914. Apesar de eficiente nos processos oxidativos, um problema referente a utilização excessiva do cloro é que este composto, ao reagir com substâncias húmicas, clorofila e outros componentes de algas e bactérias presentes na água leva à formação de triahlometanos (THL), substâncias potencialmente cancerígenas (Acero et al 2005). Além disso, a retenção não satisfatória do dinoflagelado em ETAs pode dificultar a obtenção de uma água final dentro dos padrões exigidos pela portaria.

Conclusões

A Estação de Tratamento Celeste Gobatto de Caxias do Sul-RS (Brasil) utiliza o processo de tratamento convencional para potabilização da água oriunda do reservatório Maestra. Os operadores do tratamento utilizam sulfato de alumínio como coagulante e a filtração é feita após a sedimentação, portanto remove apenas o material em suspensão, que não foi removido na etapa anterior. A desinfecção é feita com cloro, após a filtração. O reservatório utilizado no estudo apresenta um histórico de florações de *Microcystis* sp. e, nos últimos anos, vem apresentando florações de *Ceratium furcoides* com alta densidade celular. A presença de ambas as espécies é considerada potencialmente perigosa devido: (1) produção de microcistinas pela cianobactéria e (2) a potencial interferência do dinoflagelado no tratamento da água, devido ao seu tamanho e motilidade.

Neste estudo, ficou evidente que:

- O tratamento convencional foi eficiente na remoção de clorofila-a, *Microcystis* sp. e *Ceratium furcoides* principalmente nas etapas iniciais do tratamento. As taxas de remoção estão acima de 98%;

- A profundidade de coleta em quatro e nove metros foi importante para a redução da biomassa fitoplanctônica, de clorofila-a e de microcistinas intracelulares;

- A remoção de microcistinas também foi eficiente, acima de 99%. No entanto, a toxina, mesmo abaixo do Limite Máximo Permitido pela Portaria 2914, apresentou-se persistente até a última etapa do tratamento. Cerca de 50% da microcistina que chegou a ETA foi removida durante a desinfecção;

- Apesar de o tratamento convencional ser efetivo na remoção de *Ceratium furcoides*, a presença de 40 células.mL⁻¹ é considerada alta devido ao seu grande biovolume. Pouco se sabe sobre os efeitos e prejuízos que este dinoflagelado pode causar à saúde humana e as Estações de Tratamento de Água.

Referências Bibliográficas

Acero, JL; Rodriguez, E & Meriluoto, J. (2005). Kinetics of reactions between chlorine and the cyanobacterial toxins microcystins. *Water Research* 39:1628-1638.

Antoniou, MG; Cruz, AA & Dionysiou, DD. (2005). Cyanotoxins: New Generation of Water Contaminants. *Journal of Environmental Engineering* 1239-1243.

Bandala, ER; Martínez, D; Martínez, E & Dionisyou, DD. (2004). Degradation of microcystin-LR toxin by Fenton and Photo-Fenton proceses. *Toxicon*. 829-832.

Becker, V; Ihara, P; Yunes, JS & Huszar, VLM. (2010). Occurrence of anatoxina(s) durin a bloom of *Anabaena crassa* in a water-supply reservoir in southern Brazil. *Journal of Applied Phycology* 22:235-241.

Bicudo, CEM & Menezes, M. (2006) Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil – Chave para Identificação e Descrições 2º Ed. RIMA, São Carlos. 508p.

Bigaj, IM; Brzozowska, R; Lopata, M; Wisniewski, G; Dunalska, JA; Szymansky, D & Zielinski, RA. (2013). Comparison of coagulation behaviour and floc characteristics of polyaluminium chloride (PAX 18, PACXL19H, ALCAT) with surface water treatment. *Limnological Review* 13(2):73-78.

Brooke, S; Newcombe, G; Nicholson, B & Klass, G. (2006). Decrease in toxicity of microcystins LA and LR in drinking water by ozonation. *Toxicon* 48:1054-1059.

Camacho, FP; Bongiovani, MC; Arakawa, FS; Shimabuku, QL; Vieira, AMS & Bergamasco, R. (2013). Advanced Processes of Cyanobacteria and Cyanotoxins Removal in Supply water treatment. *Chemical engineering transactions* 32: 421-426.

Carmichael, WW; Azevedo, SMFO; An, JS; Molica, RJR; Jochinsen, EM; Lau, S; Rinehart, KL; Shaw, GR & Eaglesham, GK. (2001). Human Fatalities from Cyanobacteria: Chemical and Biological Evidence for Cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives* 109(7): 663-668.

Cavalcante, KP; Zanotelli, JC; Müller, CC; Scherer, KD; Frizzo, JK; Ludwig, TAV & Cardoso, LS. (2013). First record of expansive *Ceratium* Schrank, 1793 species (Dinophyceae) in Southern Brazil, with notes on their dispersive patterns in Brazilian environments. *Check List* 9(4):862-866.

Chorus, I & Bartram, J. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. New York: E & FN Spon. 416p.

Chow, CWK.; Drikas, M; House, J; Burch, MD & Velzeboer, RMA. (1999). The impact of conventional water treatment processes on cells of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Water Research* 33(15):

Chu, PS; Huang, X; Wel, RD & Carmichael, WW. (1989). Production and characterization of antibodies against microcystins. *Applied and Environmental Microbiology*, 55:1925-1933.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução 357/2005. Acessado em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>, vinte e oito de abril, 2014.

De Julio, M; Fioravante, DA; De Julio, TS; Oroski, FI; Graham, NJD. (2010). A Methodology for optimising the removal of cyanobacteria cells from a brazilian eutrophic water. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 27(1):113-126.

Drikas, M; Chow, CWK; House, J & Burch, MD. (2001). Using Coagulation, Flocculation, and Settling to Remove Toxic Cyanobacteria. *American Water Works Association* 93(2):100-111.

Ewerts, H; Swanepoel, A & Preez, HH. (2013). Efficacy of conventional drinking water treatment processes in removing problem-causing phytoplankton and associated organic compounds. *Water SA* 39(5): 739-750.

Ewerts, H; Barnard, S; Swanepoel; du Preez, HH & Janse van Vuuren, S. (2014). Strategies of coagulant optimisation to improve the removal of turbidity and *Ceratium hirundinella* cells during conventional drinking water purification. *Water Science & Technology*

Gil, CB; Restrepo, JJR; Boltovskoy, A & Vallejo, A. (2012). Spatial and temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia* 24(2): 207-219.

Guidelines for Drinking-water Quality. (2011). Fourth Edition. WHO. 564p.

Hart, RC & Wragg, P. (2009). Recent blooms of the dinoflagellate *Ceratium* in Albert Falls Dam (KZN): History, causes, spatial features and impacts on a reservoir ecosystem and its zooplankton. *Water SA* 35(4): 455-468.

Hall, T; Hart, J; Croll, B & Gregory, R. (2000). Laboratory-Scale investigation of Algal Toxin Removal by Water Treatment. *Journal CIWEM* 14:143-149.

Hoeger, SJ; Shaw, G; Hitzfeld, BC & Dietrich, DR. (2004). Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in two Australian drinking water treatment plants. *Toxicon* 43:639-649.

Hoeger, SJ; Hitzfeld, BC & Dietrich, DR. (2005). Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in drinking water treatment plants. *Toxicology and Applied Pharmacology* 203:231-242.

Henderson, R; Parsons, SA & Jefferson, B. (2008). The impact of algal properties and pre-oxidation on solid-liquid separation of algae. *Water Research* 42: 1827- 1845.

Ho, L; Tanis-Plant, P; Kayal, N; Slyman, N & Newcombe, G. (2009). Optimizing water treatment practices for the removal of *Anabaena circinalis* and its associated metabolites, geosmin and saxitoxins. *Journal of Water and Health* 7(4): 544-556.

Ho, L; Barbero, A; Dreyfus, J; Dixon, DR; Qian, F; Scales, PJ & Newcombe, G. (2013). Behaviour of cyanobacterial bloom material following coagulation and/or sedimentation. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* 62(6):350–358.

Jurczak, T; Tarczynska, M; Izydorczyk, K; Mankiewicz, J; Zalewski, M & Meriluoto, J. (2005). Elimination of microcystins by water treatment processes examples from Sulejow Reservoir, Poland. *Water Research* 39:2394-2406.

Kolb, GA. (2012). Otimização da análise de saxitoxinas em água por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Dissertação de mestrado. Instituto de Oceanografia. Dissertação do PPG em Oceanografia Física, Química e Geológica da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. 83p.

Komárek, J. & Anagnostidis, K. (1998). Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Eds Ettl,

H., Gärtner, G., Heynig, H. & Mollenhauer, D.). Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/Lübeck/Ulm.

Koppen-Geiger - Classificação climática de Koppen-Geiger - Acessado em: <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?oldid=16801300>, sete de maio de 2014.

Lamparelli, MC. (2004). Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento. Tese do Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 238 p.

Lin, SD. (1977). Tastes and Odours in water supplies – A Review. State of Illinois. 50pp.

Liu, X; Chen, Z; Zhou, N; Shen, J & Ye, M. (2010). Degradation and detoxification of microcystin-LR in drinking water by sequential use of UV and ozone. Journal of Environmental Sciences 22(12): 1897-1902.

Matsumura-Tundisi, T; Tundisi, JC; Luzia, AP & Degani, RM. (2010). Occurrence of *Ceratium furcoides* (levander) Laghans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. Brazilian Journal of Biology 70(3):825-829.

Mackinney, G. (1941). Absorption of light by chlorophyll solutions. Journal of Biological Chemistry 140, 315-322.

Oliveira, HSB; Moura, AN & Cordeiro-Araújo, MK. (2011). First record of *Ceratium* Schrank, 1973 (Dinophyceae: Ceratiaceae) in freshwater ecosystems in the semiarid region of Brazil. Check List 7(5):626-628.

Oliveira, SMAC; Parkinson, JN & von Sperling, M. (2006). Wastewater treatment in Brazil: Institucional framework, recent initiatives and actual plant performance. International Journal of Technology Management & Sustainable Development 5(3):241-256.

Pietsch, J; Bornmann, K & Schmidt, W. (2002). Relevance of Intra and Extracellular Cyanotoxins for Drinking Water Treatment. Acta Hydrochimica hydrobiologica 30:7-15.

Portaria N° 518, de 25 de março de 2004. Acessado em: <http://www.quimlab.com.br/PDF-art/Portaria%20no.%20518.pdf>, seis de abril de 2012.

Portaria N° 2914, de 12 de dezembro de 2011. Acessado em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html, vinte e oito de abril, 2014.

Rodríguez, E; Majado, ME; Meriluoto, J & Acero, JL. (2007). Oxidation of microcystins by permanganate: Reaction kinetics and implications for water treatment. Water Research 41:102-110.

Rourke, WA; Murphy, CJ; Pitcher, G; Jeffery, M; Burns, BG; Thomas, KM & Quilliam, MA. (2008). Rapid postcolumn methodology for determination of

paralytic shellfish toxins in shellfish tissue. *Journal of AOAC International* 91(3): 589-597.

Santos-Wisniewski, MJ; Silva, LC; Leone, IC; Laudares-Silva, R & Rocha, O. (2007). First record of the occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925, an invasive species in the hydroelectricity power plant Furnas Reservoir, MG, Brazil. *Brasilian Journal of Biology* 67(4):791-793.

Silva, LC; Leone, IC; Santos-Wisniewski, MJ; Peret, AC & Rocha, O. (2012). Invasion of the dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 at tropical reservoir and its relation to environmental variables. *Biota Neotropica* 12(2):93-100.

Sussela, com. pessoal. Bióloga do Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul – RS/Brasil.

Walsby, AE. (1992). The control of gas-vacuolate cyanobacteria. *Freshwater Biological Association* 149-162.

Teixeira, MR & Rosa, MJ. (2007). Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa* Part II. The effect of water background organics. *Separation and Purification Technology* 53:126-134.

Van der Walt, N. (2011). Investigation into the occurrence of the dinoflagellate *Ceratium hirundinella* in source waters and the impact thereof on drinking water purification. Dissertation for the degree Master of Science in Environmental Sciences at the Potchefstroom campus of the North-West University. 225p.

Van Ginkel, CE Hohls, BC & Vermaak, E. (2001). A *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) bloom in Hartbeespoort Dam, South Africa. *Water SA* 27(2):269-276.

Yuan, B; Qu, J & Fu, M. (2002). Removal of cyanobacterial microcystin-LR by ferrate oxidation-coagulation. *Toxicon* 40:1129-1134.

Yunes, JS; Matthiensen, A; Carneiro, C; Oroski, F; Becker, V & Carvalho, MC. 2005. Florações de Cianobacterias Tóxicas: Mãos à Obra ao Problema. In: Roland, F; Cesar, D & Marinho, M. Lições de Limnologia. São Carlos: RiMa. 532p.

Zamyadi, A; Macleod, SL; Fan, Y; Mcquaid, N; Dorner, S; Sauvé, S & Prévost, M. (2012). Toxic cyanobacterial breakthrough and accumulation in a drinking water plant: A monitoring and treatment challenge. *Water Research* 46:1511-1523.

Znachor, P; Jurczak, T; Kamárková, Jezberová, J; Mankiewicz, J; Kastovská, K & Zapomelová, E. J. (2006). Summer changes in Cyanobacterial bloom Composition and Microcystin Concentration in Eutrophic Czech Reservoirs. *Environmental Toxicology* 21:236-243.

Anexo 1

Tabela 1. Comunidade fitoplanctônica e concentração de microcistinas encontrada durante o monitoramento (janeiro 2012 - abril 2013), * não realizada análise de microcistinas; Legenda: CYAN=Cyanophyta; BAC=Bacillaryophyceae; CHL= Chlorophyta; CRYP= Cryptophyta; CHRYS= Chrysophyceae; DIN= Dinophyta; EUG= Euglenophyta.

DATA	GRUPO	ESPÉCIE	CONTAGEM (cél.s.mL ⁻¹)	MICROCISTINAS (µg.L ⁻¹)	
				Reservatório Maestra	ETA Celeste Gobatto
03/01/2012	CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	580803	<0,16	<0,05
		<i>Cuspidothrix issatschenkoi</i> (Usachev) Rajaniemi, Komárek, Willame, Hrouzek, Ka	6362		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	707		
	BAC	<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson sp.	236		
	CHL	Cf. <i>Korschikoviella</i> sp. Silva	1414		
		<i>Staurastrum</i> Meyen ex Ralfs sp.	236		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	1885		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1178		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	346		
<i>Mallomonas</i> Perty sp.2		314			
10/01/2012	CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	238851	<0,16	<0,05
		<i>Aphanizomenon</i> A.Morren ex Bornet & Flahault sp.	11714		
		<i>Oscillatoria</i> Vaucher ex Gomont sp.	1212		
	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	673		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	1077		

	CHL	<i>Cf. Korschikoviella</i> sp. Silva	135		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	2558		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	2289		
17/01/2012	CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	388537	>2,5	<0,16
		<i>Aphanizomenon</i> A.Morren ex Bornet & Flahault sp.	5890		
		<i>Cuspidothrix issatschenkoi</i> (Usachev) Rajaniemi, Komárek, Willame, Hrouzek, Ka	20970		
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	942		
	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	236		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	236		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1414		
24/01/2012	CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	138662	0,986	<0,05
		<i>Aphanizomenon</i> A.Morren ex Bornet & Flahault sp.	4123		
	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	2238		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	825		
	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	118		
		<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	118		
		<i>Cf. Korschikoviella</i> sp. Silva	353		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	353		
		<i>Staurastrum</i> Meyen ex Ralfs sp.	825		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	236		
<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.		2121			
31/01/2012	CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	18850	<0,16	<0,05

		<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	32987		
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen	942		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	94248		
	CHL	<i>Ankistrodesmus</i> Corda sp.	942		
		<i>Closterium</i> Nitzsch ex Ralfs sp.	942		
		<i>Eutetramorus</i> Walton sp.	10367		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	6597		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp. 1	4712		
		<i>Dolichospermum solitarium</i> (Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	1522	*	*
	CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	11527		
		<i>Aphanizomenon</i> A.Morren ex Bornet & Flahault sp.	5437		
07/02/2012	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	217		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	92870		
		<i>Eutetramorus</i> Walton sp.	1087		
	CHL	<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A.Dangeard) Senn	652		
		<i>Elakatothrix</i> Wille sp.	217		
		<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	435		
		<i>Staurastrum</i> Meyen ex Ralfs sp.	217		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	6597		
14/02/2012	CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	258993	<0,16	<0,05
		<i>Aphanizomenon</i> A.Morren ex Bornet & Flahault sp.	77472		
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller)	1696		

	Simonsen			
	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	56549		
CHL	<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	565		
CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1131		
EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	565		
	<i>Dolichospermum solitarium</i> (Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	64	*	*
CYAN	<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	942		
	<i>Aphanizomenon</i> A.Morren ex Bornet & Flahault sp.	1278		
BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	160		
	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	144		
22/02/2012	<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák Senn(P.A.Dangeard) Senn	48		
	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	319		
	<i>Staurastrum</i> Meyen ex Ralfs sp.	16		
	<i>Closterium</i> Nitzsch ex Ralfs sp.	48		
CHL	<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	64		
	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli in A.Braun Nägeli in A.Braun	16		
	<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A.Dangeard)	224		
	<i>Cosmarium</i> Corda ex Ralfs sp.	32		
	<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	48		
	<i>Elakatothrix</i> Wille sp.	32		
	Cf. <i>Korschikoviella</i> sp. Silva.	16		
CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	128	*	*
	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1597		

28/02/2012	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen	1696		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	56549		
	CHL	<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	40644		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	7422		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	8836		
CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	353			
13/03/2012	CYAN	<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	2890	*	*
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	126		
	CHL	<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A.Dangeard) Senn(P.A.Dangeard) Senn	63		
		<i>Eutetramorus</i> Walton sp.	63		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	63		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	880		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	6283		
		<i>Mallomonas</i> Perty sp.2	1319		
EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	63			
27/03/2012	CYAN	<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	18275	*	*
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	7210		
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	34		
		<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	34		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	103		
CHL	<i>Eutetramorus</i> Walton sp.	69			
	<i>Monoraphidium</i> Komárková-Legnerová	138			

		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	414		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	414		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	113		
	DIN	<i>Gymnodinium</i> Stein sp.	34		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	170636	*	*
	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	31950		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	16258		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	7210		
03/04/2012	BAC	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	71		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	103		
		<i>Closterium</i> Nitzsch ex Ralfs	71		
	CHL	<i>Monoraphidium</i> Komárková-Legnerová sp.	71		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	1131		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	5655		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	848		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	141		
	DIN	<i>Gymnodinium</i> Stein sp.	34		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	71		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	77489	*	*
10/04/2012	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	9248		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	16876		

	BAC	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	147		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	29		
	CHL	<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	1208		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	177		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	383		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	29		
17/04/2012	CYAN	<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	139433	>2,5	<0,05
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	21812		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	171262		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	8402		
	CHL	<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	81		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	81		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	162		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	81		
24/04/2012	CYAN	<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	34384	>2,5	<0,05
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	11478		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	50726		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	1683		
	BAC	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	34		
		<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	17		

		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	168		
	CHL	Desmodesmus (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald	34		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	656		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	118		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	67		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	4045	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	35495		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	53591		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	13398		
02/05/2012	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	43		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	43		
	CHL	<i>Oocystis</i> Nägeli ex A. Braun sp.	43		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	87		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	435		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	1522		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	130		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	49590	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	27227		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	102468		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	4712		
08/05/2012	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	105		

		<i>Crucigenia</i> Morren sp.	52		
	CHL	<i>Monoraphidium</i> Komárková-Legnerová sp.	52		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	1152		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	5236		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	130		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	201	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	19591		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	38463		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	3513		
15/05/2012		<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	33		
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen	17		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	151		
		<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	33		
	CHL	<i>Elakatothrix</i> Wille sp.	33		
		<i>Monoraphidium</i> Komárková-Legnerová sp.	33		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	468		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	1673		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	936	>2,5	<0,05
22/05/2012	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	21953		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	83400		

		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	5763		
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	36		
		<i>Crucigenia</i> Morren sp.	54		
		<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	18		
	CHL	<i>Monoraphidium</i> Komárková-Legnerová sp.	36		
		<i>Pediastrum</i> Meyen sp.	18		
		<i>Staurastrum</i> Meyen ex Ralfs sp.	18		
		<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	1639		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	198		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	4901	>2,5	<0,05
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	99526		
29/05/2012	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	745501		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	43354		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	4335		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	377		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	17063	>2,5	<0,05
		<i>Aphanocapsa</i> Nägeli sp.	6723		
05/06/2012	CYAN	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	366		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	35689		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	1483		

		<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	20		
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	20		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	59		
	CHL	<i>Crucigenia</i> Morren sp.	10		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	10		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	989		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	10		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	30		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	64428	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	151801		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	14184		
12/06/2012	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	46		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	185		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	185		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	139		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	185		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	9471	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	252		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	11585		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	1613		
19/06/2012	BAC	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	4		

		<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	47		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	39		
	CHL	<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	12		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	85		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	337		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	5838	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	15277		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	1096		
		<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	9		
26/06/2012	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	26		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	43		
		<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	43		
	CHL	<i>Oocystis</i> Nägeli ex A.Braun sp.	9		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	17		
	CRYP	<i>Chroomonas</i> Hansgirg sp.	9		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	17		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	35		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	57738	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	63071		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	2699		
		<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	32		
03/07/2012	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	32		

		<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	32		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	32		
	CHL	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	32		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	32		
	CRYP	<i>Chroomonas</i> Hansgirg sp.	3213		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	675		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	129		
	EUG	<i>Phacus</i> Dujardin sp.	32		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	10599	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann	10440		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	522		
	BAC	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	43		
		<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	29		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	43		
10/07/2012		<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	43		
	CHL	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	14		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	1450		
	CRYP	<i>Chroomonas</i> Hansgirg sp.	464		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	116		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	87		
		<i>Mallomonas</i> Perty sp.2	101		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	29		
17/07/2012	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	11100	>2,5	<0,05

		<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	150971		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	11519		
	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow sp.	70		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	70		
	CHL	<i>Closterium acutum</i> var. <i>variabile</i> (Lemmermann) Willi Kreiger	70		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	70		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	35		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	35		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	35		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	792059	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	113098		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	37699		
24/07/2012	BAC	<i>Navicula</i> Bory de Saint-Vicent sp.	377		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	188		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	942		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1885		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	377		
		<i>Mallomonas</i> Perty sp.2	377		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	188		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	56831	2	<0,05
31/07/2012	CYAN	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	26389		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi)	4053		

		Schwabe			
	CHL	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komáková-Legnerová	31		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	94		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	3142		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	471		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	346		
		<i>Mallomonas</i> Perty sp.2	314		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	30758	1,65	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	5338		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	8456		
07/08/2012	CHL	<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	31		
		<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	94		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöh	713		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	53		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	106		
		<i>Mallomonas</i> Perty sp.2	238		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	107193	2,49	<0,05
	CYAN	<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	3326		
14/08/2012		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	66528		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	18274		
	BAC	<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson sp.	83		
	DIN	<i>Peridinium</i> Ehrenberg sp.	83		

	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	249		
		<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohlin	83		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	166		
		<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	3410		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	106		
		<i>Mallomonas</i> Perty sp.2	238		
21/08/2012		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	2545	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	169646		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	6597		
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	188		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	9425		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	471		
28/08/2012		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	72585	2,22	<0,05
		<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	3376		
	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	1519		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	9706		
	BAC	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	32		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	3503		
	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	127			
04/09/2012	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	6244	0,56	0,19
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	143728		

		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	43590		
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	74		
		<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	118		
	CHL	<i>Eutetramorus</i> Walton sp.	118		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	1296		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	5890		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	471		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	589		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	118		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	8929	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	13096		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	99258		
11/09/2012		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	23066		
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	74		
	CHL	<i>Eutetramorus</i> Walton sp.	149		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	4316		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	372		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	2530		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	74		
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	21458	2,38	0,1
17/09/2012	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	102646		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi)	15147		

		Schwabe			
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	50		
	CHL	<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	101		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	1717		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	151		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	50		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	1616		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	303		
25/09/2012	CYAN	<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	2639	>2,5	<0,05
		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	48955		
	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	27		
		<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	54		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	646		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	81		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	27		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	2693		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	296		
		CYAN	<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	379	>2,5
<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek			36584		
CYAN		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	103		
		BAC	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	34	
			<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	34	

02/10/2012	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	34		
		<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	621		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	276		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	34		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	3586		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	69		
09/10/2012	CYAN	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	47111	0,2	<0,05
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	136		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	19		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	253		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	19		
16/10/2012		<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	3770	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	16965		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	2639		
	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	38		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	38		
	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	38		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl <i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	151 188		
DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	3770			
EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	75			
23.10.2012	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	28274	2,11	<0,05
		<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	157		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	314		

	CHRYS	<i>Mallomonas Perty sp.1</i>	157		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	15708		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	124584	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis Kützing ex Lemmermann sp.</i>	7775		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	16611		
30.10.2012	CHL	<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	59		
		<i>Schroederia</i> Lemmermann sp.	59		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	295		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	471		
	CHRYS	<i>Mallomonas Perty sp.1</i>	157		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	5949		
	EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	59		
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	15283	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis Kützing ex Lemmermann sp.</i>	87345		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	14901		
06.11.2012	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	229		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1987		
	CHRYS	<i>Mallomonas Perty sp.1</i>	306		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	7642		
12/11/2012	CYAN	<i>Microcystis Kützing ex Lemmermann sp.</i>	180475	>2,5	<0,05
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1684		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	6016		
20.11.2012	CYAN	<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	3336	>2,5	<0,05
		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	13572		

		<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	239767		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	14759		
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	57		
	CHL	<i>Eutetramorus</i> Walton sp.	57		
		Cf. <i>Korschikoviella</i> sp. Silva	679		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1244		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	5655		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	2280	2,32	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	16417		
		<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	41956		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	274		
27.11.2012	BAC	<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson sp.	46		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	46		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	274		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	456		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	18242		
		<i>Dolichospermum crassum</i> (Lemmermann) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	12288	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	52199		
		<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	120492		
		<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	21532		
04.12.2012	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	217		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	217		

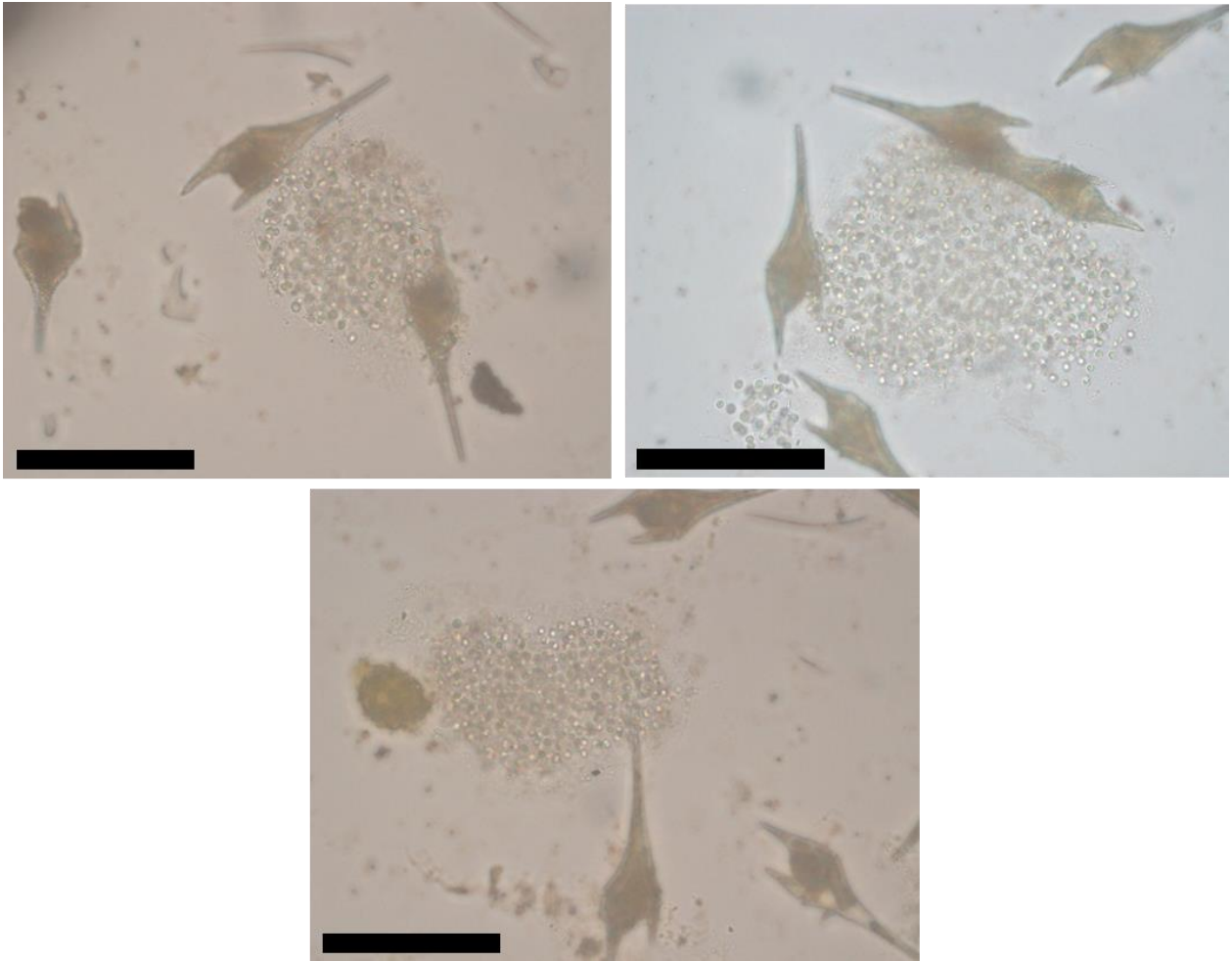
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	10875		
		<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann	62922	0,75	<0,05
	CYAN	<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	1077		
11.12.2012	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	180		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl <i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	90 269		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	17952		
18.12.2012	CYAN	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	135912	1,54	<0,05
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	97		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	9750		
	CHL	<i>Staurastrum</i> Meyen ex Ralfs sp.	62	2,05	<0,05
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp. <i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	404 31		
26.12.2012	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl <i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	124 186		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	12428		
	CYAN	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann spp. <i>Chroococcus</i> Nägeli sp.	23163 222	1,97	<0,05
03/01/13	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	52		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	5356		
08/01/2013	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	69	1,95	<0,05
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	67		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	6935		
	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing <i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	13464 2154	1,46	<0,05
15/01/13	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	52		

		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	314		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	13498		
22/01/2013	BAC	<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson sp.	367	1,36	<0,05
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	67		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	21625		
29/01/2013	BAC	<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson sp.	226	>2,5	<0,05
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	226		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	226		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	11875		
05/02/2013	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	257	>2,5	<0,05
	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	129		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	386		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	12981		
13/02/2013		<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	66370	>2,5	<0,05
	CYAN	<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	2679		
		<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	223		
	CHRYS	<i>Mallomonas</i> Perty sp.1	74		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	3720		
19/02/2013	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	45966	>2,5	<0,05
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	323		
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	81		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	8078		
26/02/2013	CYAN	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	9321	>2,5	<0,05
		<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann sp.	1248		
	BAC	<i>Nitzschia</i> Hassall sp.	331		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	97		

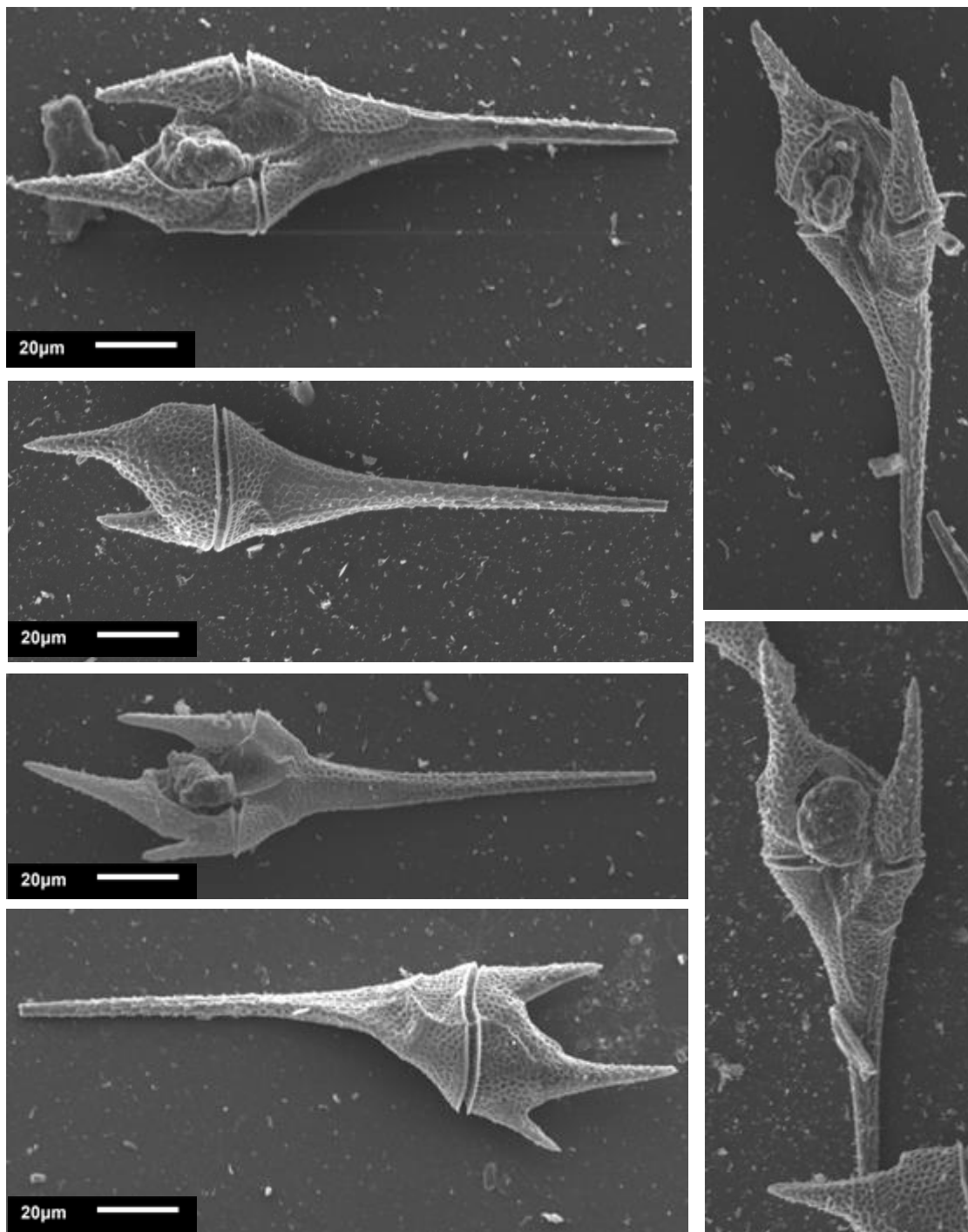
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	58		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	1950		
	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	86	>2,4	<0,05
05/03/2013	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	428		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	428		
	CHRYS	<i>Mallomonas Perty sp.1</i>	86		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	17136		
12/03/2013	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	46	1,32	<0,05
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	324		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	18819		
19/03/2013	CHL	<i>Desmodesmus</i> (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald sp.	88	0,225	<0,05
	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	619		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	9101		
26/03/2013	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	23	0,49	<0,05
	CHL	<i>Scenedesmus</i> Meyen sp.	23		
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	339		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1018		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	9070		
02/04/2013	BAC	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow	18	0,517	<0,05
	CRYP	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	37		
		<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	1065		
	CHRYS	<i>Mallomonas Perty sp.1</i>	73		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	7344		
09/04/2013	CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	549	0,38	<0,05
	CHRYS	<i>Mallomonas Perty sp.1</i>	84		
	DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	16965		
16/04/2013	BAC	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	21	0,33	<0,05

CRYP	<i>Cryptomonas</i> Ehrenberg sp.	35
DIN	<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	703
EUG	<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	14

Anexo 2



Microscopia óptica de *Microcystis* (Kützing) ex Lemmermann e *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans encontrados no reservatório da Maestra – Caxias do Sul, RS. Aumento de 400x. Escala: 20 μ m.



Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) do dinoflagelado *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans.