



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO E AUDITORIA AMBIENTAL**

**VICTOR HUGO MOREIRA DE LIMA**

**DINÂMICA DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NO RESERVATÓRIO  
HIPERTRÓFICO DE TAPACURÁ, PERNAMBUCO**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2018**

**VICTOR HUGO MOREIRA DE LIMA**

**DINÂMICA DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NO RESERVATÓRIO  
HIPERTRÓFICO DE TAPACURÁ, PERNAMBUCO**

Monografia apresentada, como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), à Coordenação do curso de Especialização em Gestão e Auditoria Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Especialista em Gestão e Auditoria Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

**CAMPINA GRANDE – PB  
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

L732d Lima, Victor Hugo Moreira de.  
Dinâmica de cianobactérias e cianotoxinas no Reservatório Hipertrófico de Tapacurá, Pernambuco [manuscrito] : / Victor Hugo Moreira de Lima. - 2018.  
41 p. : il. colorido.

Digitado.

Monografia (Especialização em Gestão e Auditoria Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Abastecimento de água. 2. Cianobactérias. 3. Ciantoxinas. 4. Qualidade da água.

21. ed. CDD 628.161





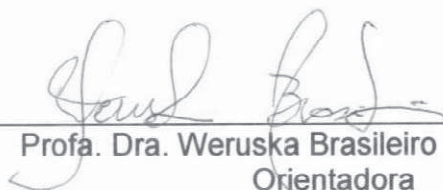
VICTOR HUGO MOREIRA DE LIMA

DINÂMICA DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NO RESERVATÓRIO  
HIPERTRÓFICO DE TAPACURÁ, PERNAMBUCO

Monografia apresentada, como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), à Coordenação do curso de Especialização em Gestão e Auditoria Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Especialista em Gestão e Auditoria Ambiental.

Aprovada em: 09/06/2018.

Nota: 10,0 (DEZ)



---

Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira/UEPB  
Orientadora



---

Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza/UEPB  
Examinadora



---

MsC. Whelton Brito dos Santos/UFCG  
Examinador

Dedico primeiramente a Deus, que sempre esteve presente em minha vida me proporcionando muita alegria e sempre me dando força para superar as dificuldades;

Aos meus queridos pais, José Moacyr Amaral de Lima e Rita Moreira da Silva, pelo imenso amor, carinho, apoio, incentivo e dedicação. Muitíssimo obrigado!

## AGRADECIMENTOS

Ao se considerar esta etapa vencida como resultado de uma longa caminhada, agradecer pode não ser tarefa fácil, nem justa. Para não correr o risco de esquecer alguém, agradeço de antemão a todos que, de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

A Deus. “Senhor, Tu foste nosso abrigo, de geração em geração. Antes que nascessem os montes e fossem engendrados a Terra e o mundo, desde sempre e para sempre, Tu és Deus. Ensina-nos a dispor de nossos dias, de modo a adquirirmos um coração sensato! Tem compaixão de teus servos! Sacie-nos, desde a manhã, tua misericórdia e exultaremos de alegria, todos os dias. Dá-nos alegria pelos dias em que nos humilhastes. Que tua obra se manifeste a teus servos, e a teus filhos, o teu esplendor! Desça, sobre nós, a bondade do senhor nosso Deus! Consolida, para nós, a obra de nossas mãos” (SALMO 90).

Agradeço aos meus pais, que sempre presentes, acompanham, apoiam e incentivam os meus estudos desde a minha infância. Sem vocês jamais teria chegado aqui.

A minha QUERIDA avó, “*in memoriam*”, Eronita Martins Moreira da Silva, que partiu antes que este momento tão esperado chegasse. Partiu deixando uma saudade imensa, um vazio, às vezes sufocante.

Ao meu amigo Breno Veríssimo Ferreira, pelo auxílio, apoio e vibração nas minhas conquistas.

A minha orientadora, professora Weruska Brasileiro, pelos conhecimentos e contribuição durante a especialização.

Aos meus colegas de pós-graduação, pela constante e enriquecedora interlocução.

A coordenação da Especialização em Gestão e Auditoria Ambiental, professora Gilvânia Cavalcante, pela oportunidade, confiança e ótima mediação nos processos acadêmicos.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho, minha eterna gratidão!



## **Certeza**

De tudo ficaram três coisas:

A certeza de que estamos sempre começando...

A certeza de que precisamos continuar...

A certeza de que seremos interrompidos antes de terminar...

Portanto, devemos:

Fazer da interrupção um caminho novo...

Da queda, um passo de dança...

Do medo, uma escada...

Do sonho, uma ponte...

Da procura, um encontro!

(Fernando Sabino)

## LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Água e Clima
CV	Coeficiente de Variação
DSAST	Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador
ELISA	Enzyme Linked Immuno-Assay
ETA	Estação de Tratamento de Água
F	Frequente
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
LACEN	Laboratório Central de Saúde Pública
LQ	Limite de Quantificação
MF	Muito Frequente
NE	Nordeste
NEO STX	NeoSaxitoxina
OL	Ondas de Leste
PF	Pouco Frequente
pH	Potencial Hidrogeniônico
STX	Saxitoxina
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde
SW	Sudoeste
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura molecular das anatoxinas.....	18
Figura 2 – Estrutura química das saxitoxinas.....	18
Figura 3 – Estrutura química das microcistinas.....	19
Figura 4 – Estrutura molecular da nodularina.....	20
Figura 5 – Estrutura molecular da cilindrospermopsina.....	20
Figura 6 – Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, Estado de Pernambuco.....	21
Figura 7 – Precipitação mensal média nos principais municípios da bacia do rio Tapacurá/PE.....	22
Figura 8 – Espacialização das normais de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Tapacurá/PE.....	23
Figura 9 – Representação espacial da temperatura média mensal na bacia do Rio Tapacurá/PE.....	23
Figura 10 – Percentual do acumulado em relação à média na barragem de Tapacurá.....	28
Figura 11 – Densidade de cianobactérias no reservatório de Tapacurá.....	30
Figura 12 – <i>Planktothrix</i> sp.....	38
Figura 13 – <i>Raphidiopsis mediterrânea</i> .....	38
Figura 14 – <i>Raphidiopsis curvata</i> .....	39
Figura 15 – <i>Pseudoanabaena</i> sp.....	39
Figura 16 – <i>Merismopedia</i> sp.....	40
Figura 17 – <i>Microcystis</i> sp.....	40
Figura 18 – <i>Sphaerospermopsis</i> sp.....	41
Figura 19 – <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista e frequência de ocorrência dos <i>taxa</i> de cianobactérias identificados no reservatório de Tapacurá.....	29
Tabela 2 – Concentrações de cianotoxinas nas amostras de água.....	30

## RESUMO

Um dos principais fatores que afetam a qualidade da água nos reservatórios nordestinos é a descarga excessiva de nutrientes no corpo d'água, ocasionando o processo de eutrofização e conseqüentemente, o crescimento excessivo de organismos fitoplanctônicos, com dominância de cianobactérias. As florações de cianobactérias causam impactos sociais, econômicos e ambientais principalmente pela produção de cianotoxinas que podem afetar a saúde de muitos animais inclusive do homem. Desse modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar a potencialidade tóxica de florações de cianobactérias presentes no reservatório de Tapacurá. Foram realizadas seis coletas, no período de janeiro a junho de 2017, sendo analisadas a composição de cianobactérias e a determinação da concentração de cianotoxinas pelo método imunoenzimáticos (ELISA) com kit comercial Abraxis®. A concentração celular de cianobactérias no reservatório não revelou uma tendência sazonal clara de aumento ou diminuição ao longo do período estudado, apesar de observarmos uma menor concentração média de células no período chuvoso. O mês de março de 2017, período seco, apresentou maiores valores médios de células, sendo estes  $5.430.827 \text{ cél.mL}^{-1}$ . As espécies de cianobactérias mais representativas nos períodos de coleta, foram: *Microcystis* sp. e *Raphidiopsis mediterranea*. Foram detectados no reservatório no meses de janeiro, fevereiro e março as seguintes concentrações de microcistinas,  $25,77 \mu\text{g/L}$ ,  $8,7 \mu\text{g/L}$  e  $8,2 \mu\text{g/L}$ , respectivamente. As concentrações de cilindrospermopsina e saxitoxinas permaneceram abaixo do valor máximo permissível em todos os períodos de coleta. Diante de tais resultados, a ocorrência de *blooms* tóxicos de cianobactérias no reservatório em estudo aponta um risco permanente de cianotoxinas em águas de abastecimento e indica a necessidade da implementação de medidas de controle das florações, visando à melhoria da qualidade da água.

**Palavras-chave:** Abastecimento de água. Qualidade da água. Saúde pública.

## ABSTRACT

One of the main factors that affect water quality in Northeastern reservoirs is the excessive discharge of nutrients into the body of water, causing the eutrophication process and, consequently, the excessive growth of phytoplanktonic organisms, dominated by cyanobacteria. Cyanobacteria blooms cause social, economic and environmental impacts mainly by the production of cyanotoxins that can affect the health of many animals, including humans. Thus, the present study aims to evaluate the toxic potential of cyanobacteria blooms present in the Tapacurá reservoir. Six collections were carried out from January to June 2017, and the composition of cyanobacteria and determination of cyanotoxin concentration by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) with Abraxis commercial kit were analyzed. The cellular concentration of cyanobacteria in the reservoir did not show a clear seasonal tendency of increase or decrease during the studied period, although we observed a lower average concentration of cells in the rainy season. The month of March of 2017, dry period, presented higher average values of cells, being these  $5,430,827 \text{ cel.mL}^{-1}$ . The most representative species of cyanobacteria in the collection periods were: *Microcystis* sp. and *Raphidiopsis mediterranea*. The following concentrations of microcystins,  $25.77 \mu\text{g/L}$ ,  $8.7 \mu\text{g/L}$  and  $8.2 \mu\text{g/L}$  were detected in the reservoir in January, February and March, respectively. The concentrations of cylindrospermopsin and saxitoxins remained below the maximum allowable value in all collection periods. In view of these results, the occurrence of toxic blooms of cyanobacteria in the reservoir under study indicates a permanent risk of cyanotoxins in the water supply and indicates the need to implement measures to control the flowering, aiming at the improvement of water quality.

**Keywords:** Water supply. Water quality. Public health.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.1 Objetivos Específicos .....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Cianobactérias .....	16
2.2 Cianotoxinas.....	17
2.3 Bacia hidrográfica do rio Tapacurá.....	20
2.4 Legislação vigente no Brasil.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 Área de Estudo.....	24
3.2 Coleta de água .....	25
3.3 Determinação da densidade de cianobactérias.....	25
3.4 Análise da concentração de cianotoxinas .....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Características climáticas e hidrológicas.....	27
4.2 Composição e associação das espécies de cianobactérias.....	28
4.3 Concentração de cianotoxinas .....	30
5 CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS .....	32
APÊNDICE .....	38

## 1 INTRODUÇÃO

As cianobactérias são organismos procarióticos, autotróficos, fotossintetizantes e fixadoras de nitrogênio (MOLICA e AZEVEDO, 2009), semelhantes a bactérias, são conhecidas como cianofíceas. Assegurando seu sucesso competitivo elas apresentam características peculiares como a ampla capacidade de crescimento em vários ambientes, tanto em lugares com elevadas temperaturas (ex: fontes termais) como em baixas temperaturas (ex: oceanos gelados) e algumas podem ser encontradas em ambientes terrestres (WALLS et al., 2018).

São normalmente unicelulares, mas são comuns que cresçam em grandes colônias, as grandes massas visíveis de cianobactérias são chamadas de florações ou “*blooms*” (PAWLIK-SKOWOROSKA e TOPOROWSKA, 2016). As cianobactérias causam transtornos que acabam comprometendo a estética do manancial, também deixam a água com odor e sabor desagradável, tornando-a imprópria para consumo (BEALIEU; PICK; GREGORY-EAVES, 2013). Fatores físicos, químicos, biológicos e hidrológicos podem favorecer o desenvolvimento destas florações (FIGUEREDO et al., 2016; CHIA et al., 2017). Atividades antrópicas vêm deixando rios, lagos, açudes e reservatórios propícios à formação de grandes florações devido à grande quantidade de nutrientes presentes na água (BITTENCOURT-OLIVEIRA; SANTOS; MOURA, 2010; FORTIN et al., 2010; GAO et al., 2012; CHIA et al., 2017).

Essas florações podem apresentar gêneros potencialmente tóxicos. Estes gêneros podem liberar toxinas denominadas cianotoxinas, tendo efeitos neuro, hepato e dermatotóxicos em animais e também em seres humanos (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006). Os efeitos hepatotóxicos são os mais frequentes envolvendo a intoxicação por cianotoxinas (ROJO et al., 2013; FREITAS et al., 2014; MOHAMED, 2017). As neurotoxinas possuem ação rápida nos organismos (ex: anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxinas) e as hepatotoxinas possuem ação mais lenta, mas é tão letal quanto à primeira (ex: microcistinas, cilindrospermopsina e nodularina) (DOLMAN et al., 2012; PAWLIK-SKOWEONSKA; KALINOWSKA; SKOWRÓNSKI, 2013).

Dentro desse contexto, o incidente ocorrido na cidade de Caruaru, Pernambuco, no ano de 1996 foi o episódio mais marcante em relação a casos de intoxicação por cianotoxinas em humanos. A região Nordeste apresenta condições



favoráveis ao desenvolvimento de cianobactérias e contaminação de seres humanos e animais por cianotoxinas (BITTENCOURT-OLIVEIRA; SANTOS; MOURA, 2010).

O reservatório de abastecimento público de Tapacurá por ser um dos mais importantes reservatórios de Pernambuco, por possuir históricos de florações de cianobactérias e por existir registros de gêneros potencialmente produtores de cianotoxinas é muito importante o seu monitoramento. Sabendo da gravidade da situação e, principalmente, que atividades humanas vêm colocando em risco a saúde pública, é necessário uma atenção especial voltada para o monitoramento do reservatório de Tapacurá. Desta forma, este trabalho busca alertar os possíveis riscos à saúde e também analisar a concentração de cianobactérias e cianotoxinas presentes nas amostras retiradas deste reservatório.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a densidade de cianobactérias e a concentração das cianotoxinas (microcistinas, cilindrospermopsina e saxitoxinas) no reservatório de Tapacurá/PE.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Reconhecer os fatores que influenciam a dominância e estabelecem os padrões temporais de populações de cianobactérias.
- Identificar taxonomicamente as cianobactérias planctônicas presentes no reservatório.
- Levantar a ocorrência de florações tóxicas de cianobactérias, detectar e quantificar as cianotoxinas (microcistinas, cilindrospermopsina e saxitoxinas).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Cianobactérias

As cianobactérias são organismos procariontes, fotossintetizantes e liberam oxigênio como co-produto da fotossíntese, normalmente unicelulares, mas é comum que cresçam em grandes colônias, facilitando assim sua visualização, sua parede celular é espessa, algumas espécies produzem células diferenciadas como acinetos, elas são consideradas células de resistência e se desenvolvem em meios desfavoráveis podendo acumular proteínas assegurando sua sobrevivência (COSTA, 2003; CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006).

Os acinetos formam pseudo-vacúolos ou vesículas de gás, denominadas aerótopos, tornando possível sua flutuação na água. A reprodução das cianobactérias é do tipo assexuada, por fissão binária ou fissão múltipla (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006). A produção de compostos orgânicos e a alta eficiência no uso do oxigênio para obtenção de energia permitiu a esses organismos o aumento da capacidade de carga biológica e, ao mesmo tempo, o surgimento de uma elevada diversidade de espécies capazes de se adaptar a diferentes condições ambientais (TSUKAMOTO e TAKAHASHI, 2007).

As grandes massas de cianobactérias, denominadas florações ou “*blooms*” são caracterizadas por alterarem o aspecto da água, podendo ser facilmente visualizadas, além de produzirem odores e sabores desagradáveis (BITTENCOURT-OLIVEIRA; SANTOS; MOURA, 2010; PAWLIK-SKOWORONSKA e TOPOROWSKA, 2016). Vários fatores podem favorecer o desenvolvimento destas florações, fatores físicos (ex: temperatura, luz solar, turbidez, sedimentos, sólidos e cor), químicos (ex: salinidade, pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade, carbono total, compostos de nitrogênio e fósforo e metais pesados), biológicos (fitoplâncton, zooplâncton, ictiofauna e invertebrados aquáticos) e hidrológicos (ex: volume armazenado, tempo de retenção hidráulico, razão entre a área superficial e o perímetro) (DOLMAN et al., 2012; FIGUEREDO et al., 2016; CHIA et al., 2017).

O ambiente ideal para o desenvolvimento das cianobactérias possui temperatura entre 15-30°C, pH neutro alcalino, baixa incidência de ventos e rico em nutrientes (GAO et al., 2012), tais fatores levam a eutrofização da água de maneira

natural, além disso, fatores antrópicos, aceleram esse processo, onde muitas atividades humanas estão impactando diretamente as águas continentais, também em reservatórios, causando assim a denominada eutrofização artificial (CHIA et al., 2017).

Esta eutrofização vem impactando negativamente os ecossistemas aquáticos, por reduzir a taxa de oxigênio dissolvido, diminuir a transparência da água, alterar as concentrações iônicas e o acúmulo de fósforo nos sedimentos e na coluna d'água (FORTIN et al., 2010).

## **2.2 Cianotoxinas**

Algumas florações podem ser consideradas potencialmente produtoras de toxinas, quando apresentam gêneros de cianobactérias produtoras de metabólitos secundários, denominadas cianotoxinas. Fatores químicos, físicos e biológicos influenciam as florações, caso o ambiente esteja desfavorável como, por exemplo, com uma alteração brusca de temperatura, pode ocorrer a lise da célula das cianobactérias e, por conseguinte a liberação das cianotoxinas. Não se sabe o motivo da produção dessas toxinas, uma das teorias mais aceitas é de que as cianobactérias produzem as cianotoxinas por competição com outros organismos fitoplanctônicos e para defesa contra a predação (GER; HANSSON; LURLING, 2014; FREITAS et al., 2014; ROJO et al., 2013).

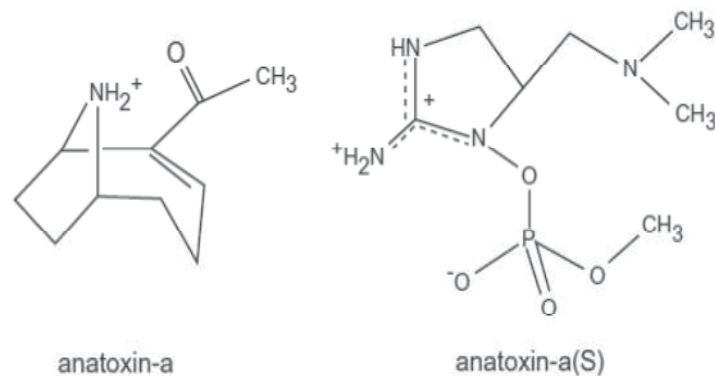
As cianotoxinas podem ser classificadas como neurotóxicas (anatoxina-a, saxitoxinas), hepatotóxicas (microcistinas, nodularina, cilindrospermopsina) e dermatotóxicas, devido aos lipopolissacarídeos presentes (MSAGATI; SIAME; SHUSHU, 2006).

As neurotoxinas mesmo em pequenas quantidades causam efeitos neurotóxicos (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006), pois atuam inibindo a condução nervosa, bloqueando os canais de sódio e cálcio e afetando a permeabilidade do potássio (WANG; SALATA; BENNETT, 2003; SU et al., 2004). Este tipo de toxina é caracterizado por sua rápida ação, podendo levar a morte de vertebrados por parada respiratória, em questão de minutos depois do contato. Podem ser divididas em três sub-grupos: anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxinas.

A anatoxina-a(s) é um organofosforado natural (Figura 1), esta toxina possui menor número de ocorrência no Brasil (MOLICA e AZEVEDO, 2009), mas já foi

encontrada a partir de testes de inibição da acetilcolinesterase, na espécie *Anabaena spiroides*, no Rio Grande do Sul (MOLICA et al., 2005). A diferença desta toxina para a anotoxina-a é a intensa salivação observada nos organismos intoxicados por ela, e a fasciculação muscular depois da morte do vertebrado (MOLICA e AZEVEDO, 2009).

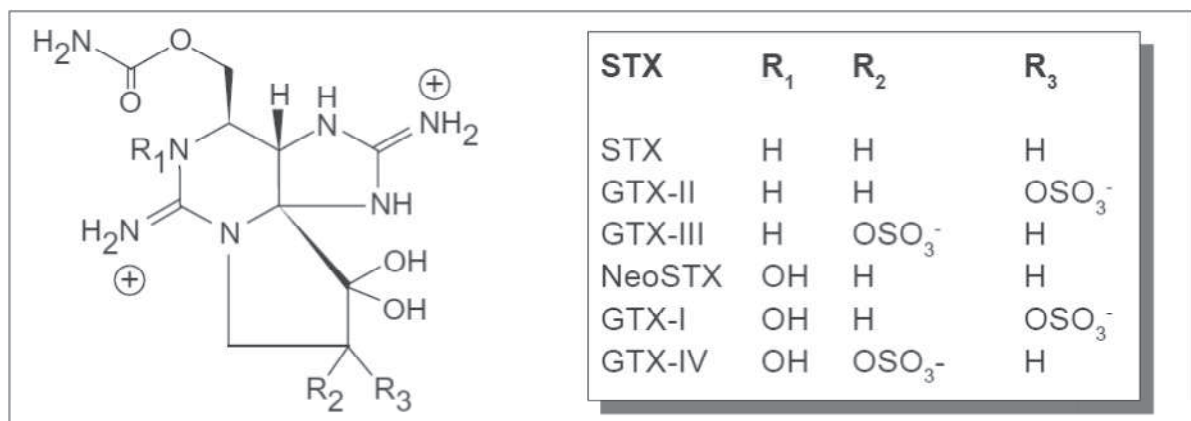
**Figura 1.** Estrutura molecular das anatoxinas



Fonte: Sinoven e Jones (1999).

Saxitoxinas é um alcalóide carbamato, sulfatados ou não (Figura 2) (MOLICA e AZEVEDO, 2009). É a neurotoxina mais potente, elas bloqueiam os canais de sódio e cálcio, alterando também a permeabilidade do potássio (SU et al., 2004).

**Figura 2.** Estrutura química das saxitoxinas



Fonte: Sinoven e Jones (1999).

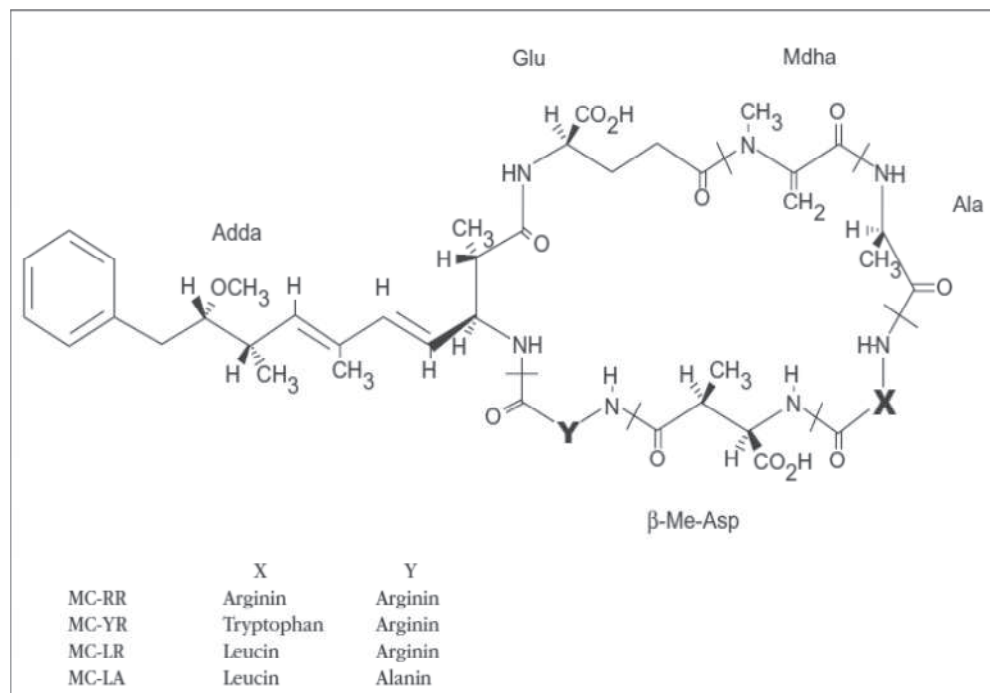
As hepatotoxinas podem ser classificadas em: heptapeptídeos cíclicos como as microcistinas, pentapeptídeos como a nodularina e um alcalóide como a

cilindrospermopsina. As hepatotoxinas são conhecidas por inibirem a síntese de proteínas (FROSCIO et al., 2001).

Os casos mais comuns de intoxicação por cianobactérias são por hepatotoxinas. Diferente das neurotoxinas, as hepatotoxinas apresentam uma ação tóxica mais lenta, uma dose letal pode levar a morte entre poucas horas a poucos dias. Os gêneros produtores dessas toxinas são: *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Cylindrospermopsis*, *Planktotrix*, *Radiocystis*, *Arthrospira* e em algumas cianobactérias picoplancônicas (MERILUOTO e CODD, 2005). As hepatotoxinas são divididas em três subgrupos: microcistinas, nodularina e cilindrospermopsina.

Microcistinas são heptapeptídeos cíclicos (Figura 3), que tem como alvo o fígado, pois é identificada uma maior citotoxicidade nos hepatócitos do que em outros tipos celulares (ZHAN et al., 2004). Além das complicações hepáticas, as microcistinas podem causar outros problemas como gastroenterite, reações alérgicas ou irritativas e também problemas relacionados à neurotoxicidade (LEAL e SOARES, 2004).

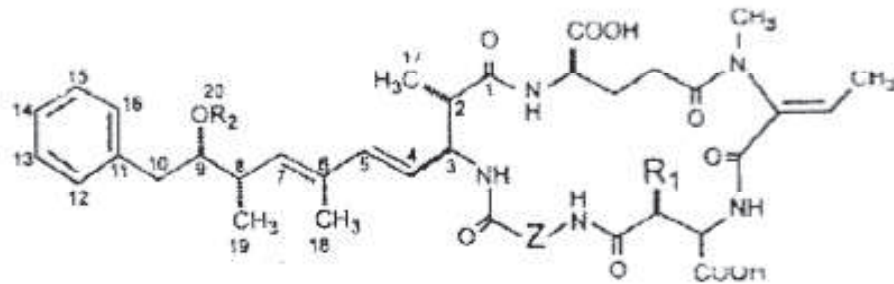
**Figura 3.** Estrutura química das microcistinas



Fonte: Chen et al., 2006.

As nodularinas são pentapeptídeos cíclicos (Figura 4), como as microcistinas têm o fígado como alvo, chegando aos hepatócitos através dos ácidos biliares, e promovem a destruição do citoesqueleto dos hepatócitos.

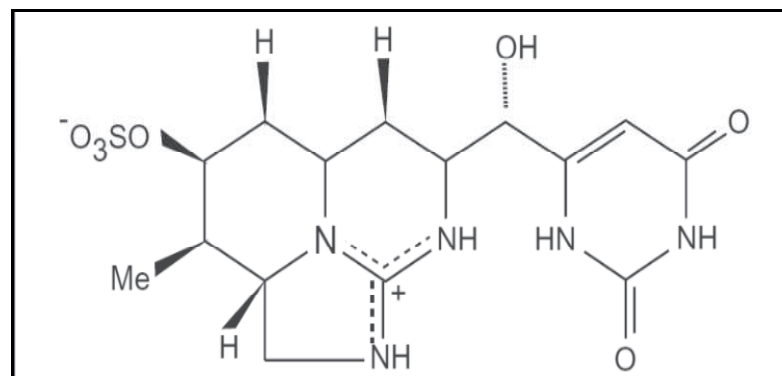
**Figura 4.** Estrutura molecular da nodularina



Fonte: Sinoven e Jones (1999).

A cilindrospermopsina é um alcalóide hepatotóxico (Figura 5), assim como as outras hepatotoxinas inibem a síntese protéica (FROSCIO et al., 2001), já foram observados sérios danos em células renais, pulmonares e cardíacas nos animais testado, a cilindrospermopsina pode causar danos genéticos *in vitro* (HUMPAGE et al., 2000) e *in vivo* (FALCONER e HUMPAGE, 2001).

**Figura 5.** Estrutura molecular da cilindrospermopsina



Fonte: Sivenon e Jones (1999).

### 2.3 Bacia hidrográfica do rio Tapacurá

A bacia hidrográfica do rio Tapacurá possui uma área de 471,33 km<sup>2</sup>. Localiza-se entre as coordenadas 35° 30'00" e 35° 5' 00" de longitude oeste e 8° 13'

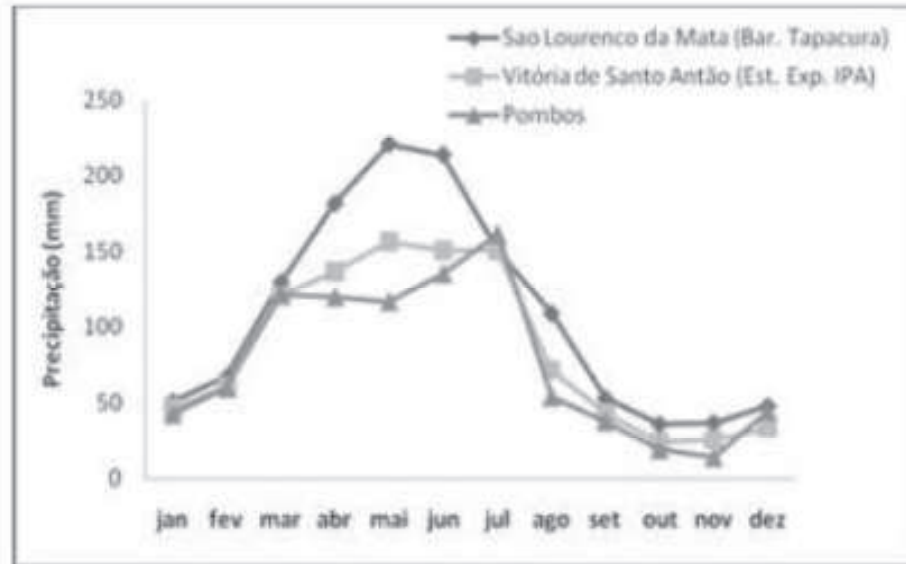
00" e 7° 58'30" (Figura 6) de latitude sul entre as mesorregiões da Zona da Mata e Agreste Pernambucano e é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe. Ela abrange seis municípios: Vitória de Santo Antão, Pombos, São Lourenço da Mata, Gravatá, Moreno e Chã Grande. Dentre os seis municípios que abrangem a bacia do Tapacurá, Vitória de Santo Antão e Pombos são os mais representativos com 38,6% e 31,2%, respectivamente de área ocupada pela bacia (BRAGA, 2001). As sedes desses municípios encontram-se justamente às margens do rio Tapacurá. Em conjunto, eles possuem 130.380 habitantes.

**Figura 6.** Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, Estado de Pernambuco



A Figura 7 mostra a distribuição temporal da precipitação pluviométrica dos municípios de São Lourenço da Mata, Vitória de Santo Antão e Pombos. A maior associação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Ondas de Leste (OL), Frentes Frias e as Brisas Terrestres e Marítimas no outono-inverno fazem com que o período chuvoso incida nessas estações (abril - maio - junho ou junho - julho - agosto).

**Figura 7.** Precipitação mensal média nos principais municípios da bacia do rio Tapacurá/PE para o ano de 2017

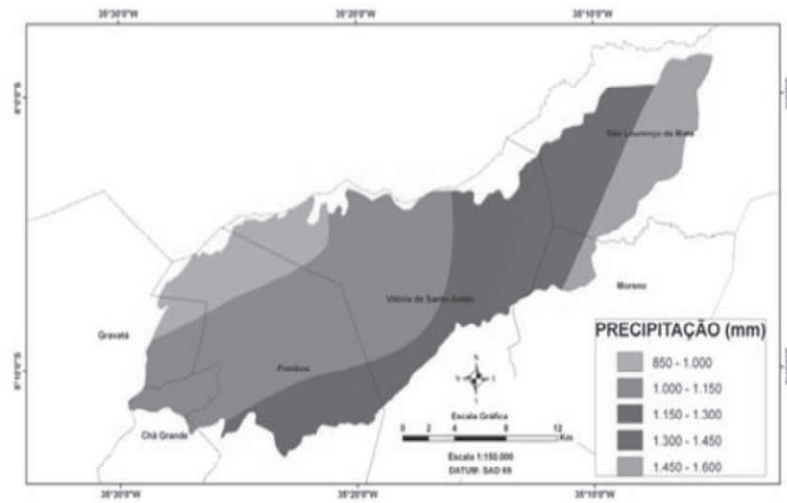


Fonte: LAMEPE/ITEP (2017).

A precipitação ao longo da bacia varia muito, assim como os tipos climáticos resultantes, que vão desde associações mais úmidas, próximas ao litoral, a regiões de sub-umidade e semi-aridez a noroeste da bacia. A distribuição das chuvas é mais diretamente influenciada pela orientação morfo-estrutural do relevo, no sentido SW-NE, que intercepta os ventos alísios de sudeste, do que propriamente pelo afastamento do litoral. A bacia apresenta uma variação de precipitação que vai de 1.600 mm anuais a cerca de 850 mm, na sua porção ocidental (Figura 8), certificado em Braga (2001).



**Figura 8.** Espacialização das normais de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Tapacurá/PE



Fonte: LAMEPE/ITEP (2017).

A temperatura média anual da bacia também varia 5°C espacialmente e ela é importante pela influência no processo de evaporação e evapotranspiração (Figura 9). Diminui gradativamente de leste para oeste, em função do aumento da altitude. As médias variam de 25 a 26°C na porção oriental a 22 a 23°C na porção ocidental da bacia (BRAGA, 2001).

**Figura 9.** Representação espacial da temperatura média mensal na bacia do Rio Tapacurá/PE



Fonte: LAMEPE/ITEP (2017).

## 2.4 Legislação vigente no Brasil

A Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 foi revogada pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, nela está estabelecido o padrão de potabilidade e de vigilância da qualidade da água, e este é influenciado por parâmetros físicos, químicos, organolépticos, cianobactérias/cianotoxinas e radioatividade. O processo de revisão foi realizado através da coordenação da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), através do Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador (DSAST).

A Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 5/2017 define que o valor máximo de cianobactérias identificadas em amostras do ponto de captação não pode ultrapassar 20.000 cél/mL, caso ultrapasse será exigida a análise de cianotoxinas na água do manancial, no ponto de captação com frequência semanal. Caso a concentração de cianotoxinas seja menor que seus respectivos Valores Máximos Permissíveis (VMP) para água tratada será dispensada a análise de cianotoxinas na saída do tratamento. As concentrações de cianotoxinas devem apresentar as contribuições da fração intracelular e extracelular na amostra analisada. O VMP da concentração de microcistinas e saxitoxinas são 1,0 µg/L e 3,0 µg/L, respectivamente, e o valor máximo aceitável de cilindrospermopsina é 1,0 µg/L para água tratada.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Área de Estudo

O reservatório de Tapacurá (latitude 08O02'14''S e longitude 35O09'46''W) localiza-se a 30 km da cidade de Recife/PE, no município de São Lourenço da Mata. Apresenta capacidade de acumulação de água de 94.200.000 m<sup>3</sup>, constituindo-se no mais importante manancial de abastecimento da Região Metropolitana do Recife. Faz parte da bacia do Rio Capibaribe, limitando-se ao norte com os Rios Goitá e Cotunguba, a oeste com o Rio Cotunguba, ao sul com os Rios Ipojuca, Pirapama e Jaboatão e a leste com os Rios Jaboatão e Muribara (BRAGA, 2001). Durante o período estudado foram analisados dados climáticos (percentual acumulado) a partir

dos boletins de acompanhamento da chuva em Pernambuco divulgado pela Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC, 2017).

### **3.2 Coleta de água**

Foram realizadas 6 coletas mensais de água no período de janeiro a junho/2017 em um único ponto do reservatório (nas proximidades do ponto de captação) e em dois períodos climáticos: período de estiagem (janeiro a março/2017) e período chuvoso (abril a junho/2017) para análise de cianobactérias e cianotoxinas. A coleta da água foi realizada na camada subsuperficial da coluna d'água utilizando uma garrafa de Van Dorn para coleta.

### **3.3 Determinação da densidade de cianobactérias**

Para o estudo da composição taxonômica das cianobactérias, as amostras de água foram coletadas ao longo da coluna da água, com rede de plâncton com abertura de malha de 20  $\mu\text{m}$  e acondicionadas em frascos na cor âmbar e fixadas com lugol acético a 1%. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório Central de Saúde Pública – Dr. Milton Bezerra Sobral (LACEN/PE) para análise. As populações foram identificadas, sempre que possível em nível infragenérico, utilizando técnicas apropriadas para análise das características morfológicas e morfométricas, com o auxílio de um microscópio óptico NIKON equipado com contraste de fase, filtros e equipamento fotográfico. As medidas convencionais foram tomadas com uma régua micrométrica acoplada ao sistema óptico deste microscópio. Os sistemas de classificação adotados para as cianobactérias foi o de Komárek e Anagnostidis (1986, 1999 e 2005).

A análise da densidade de cianobactérias ( $\text{cél.mL}^{-1}$ ) seguiu o método descrito por Utermöl (1958), utilizando-se um microscópio invertido ZEISS Axiovert 10 com aumento de 400 X. As amostras de água (300 mL) foram fixadas com lugol acético 1%. Os indivíduos (células, colônias e filamentos) foram enumerados em campos aleatórios conforme proposto por Uhelinger (1964) até atingir 100 espécimes da espécie predominante, seguidas de 100 da co-dominante, sendo o erro menor que 20%, a um coeficiente de confiança de 95% (LUND; KIPLING; LE CREN, 1958).

Para realização do cálculo da densidade de cianobactérias, foi multiplicado o total de organismos/individuos contados de cada espécie pela média de células da respectiva espécie. A soma do resultado de todas as espécies foi multiplicada pelo fator de conversão (F), sendo o resultado final expresso em cel.mL<sup>-1</sup>.

O cálculo do fator de conversão (F) do número de células contadas foi realizado conforme a Equação 1 (CETESB et al., 2006):

$$F = \frac{A/a}{v}$$

(Equação 1)

Onde:

A= Área do fundo da câmara de Utermöhl.

a= Área da objetiva de 40 vezes x nº de campos contados.

v= Volume da câmara de Utermöhl.

Os indivíduos foram contados por transectos até atingir, sempre que possível, 100 indivíduos da espécie predominante, buscando atingir um limite de confiança de 95%, com erro inferior a 20%, estimado pela Equação 2 (JARDIM et al., 2002):

$$(\%) = \frac{2}{\sqrt{N}} \times 100\%$$

(Equação 2)

Onde:

N= Número de unidades contadas (colônias/filamentos/unicelulares).

O estudo quantitativo das cianobactérias foi baseado na Portaria de Consolidação nº 5/2017 que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A frequência de ocorrência dos *taxa* foi determinada segundo Mateucci e Colma

(1982), que definem as seguintes faixas de classificação: muito frequente (>70%), frequente ( $\leq 70\%$  e  $>40\%$ ), pouco frequente ( $\leq 40\%$  e  $>10\%$ ) e raro ( $\leq 10\%$ ).

### **3.4 Análise da concentração de cianotoxinas**

As análises de cianotoxinas foram realizadas pelo método ELISA (*Enzyme Linked Immuno-Assay*), através dos kits Abraxis (Warminster, PA, USA) utilizados para quantificação das toxinas. A metodologia seguiu o protocolo do fabricante. Os anticorpos específicos fixados nas paredes de placas com vários poços (multwells) se ligam a toxina presente na amostra, e após sucessivas etapas ocorre uma reação colorida e a concentração da toxina é inversamente proporcional à intensidade da cor desenvolvida na reação com o substrato. A leitura das amostras foi realizada em um leitor ELISA com um comprimento de onda de 450 nm. Os experimentos foram realizados em triplicada.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

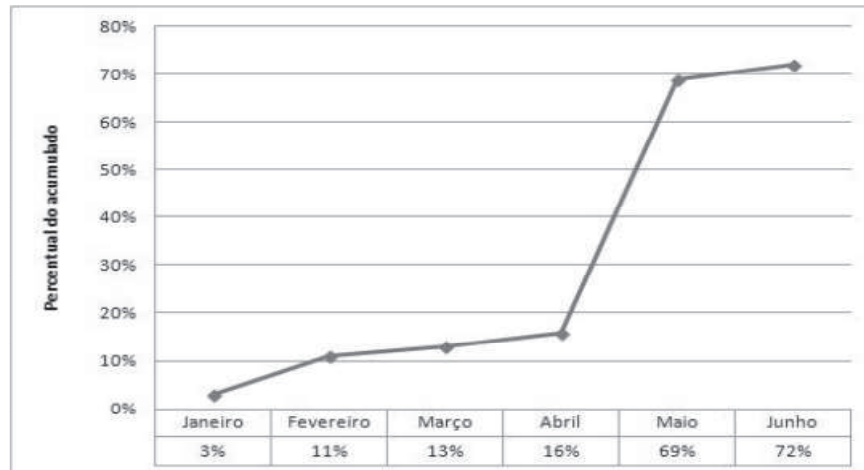
A comunidade fitoplanctônica apresentou dominância de cianobactérias composta por pouca diversidade de espécies contribuindo com alta densidade durante todo o período de estudo. Em ambos os períodos (seco e chuvoso), houve dominância do gênero *Microcystis* sp. No período de janeiro a março, época de menor índice pluviométrico, foi caracterizada por valores maiores de densidade e dominância de cianobactérias.

### **4.1 Características climáticas e hidrológicas**

No período de estudo as características hidrológicas do reservatório mostraram-se compatíveis com as condições climáticas locais. O índice pluviométrico foi significativo na separação dos dois períodos. No período de estudo o percentual do acumulado variou de 3% a 72% (Figura 10). De acordo com Figueredo e Gani (2001), oscilações na temperatura em ambientes aquáticos tropicais não são muito altas. Também, trabalhos realizados em ambientes aquáticos tropicais geralmente encontraram uma variação sazonal de pequena amplitude na

temperatura da água (GIANI et al., 1988; GUNKEL et al., 2003; MAIA-BARBOSA; PEIXOTO; GUIMARÃES, 2008).

**Figura 10.** Percentual do acumulado em relação à média na barragem de Tapacurá



Fonte: APAC/PE (2017).

A distribuição das cianobactérias no reservatório de Tapacurá foi influenciada significativamente por fatores ambientais. A variação temporal dessas variáveis definiu marcadamente o ciclo anual das cianobactérias no reservatório que exibiu alta densidade com alternância na dominância. A temperatura é um importante fator para a ativação dos acinetos, células que permitem a sobrevivência em longo prazo das populações de cianobactérias (CAREY et al., 2012). Além das condições ambientais, as cianobactérias contam com diversos traços ecofisiológicos como a regulação da flutuabilidade e formação de colônias que favorecem a sua dominância em ecossistemas aquáticos eutróficos (DOKULIL e TEUBNER, 2000).

#### 4.2 Composição e associação das espécies de cianobactérias

A comunidade de cianobactérias da barragem de Tapacurá no período estudado foi composta por 14 táxons: *Microcystis* sp., *Aphanocapsa* sp., *Merismopedia* sp., *Raphidiopsis mediterranea*, *Geitlerinema amphibium*, *Dolichospermum* sp., *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Sphaerospermopsis aphanizomenoides*, *Raphidiopsis curvata*, *Cylindrospermopsis catemaco*, *Planktothrix* sp., *Planktolyngbya* sp., *Pseudoanabaena* sp. e *Chroococcus* sp. Dentre os espécimes identificados, apenas *Merismopedia* sp. não é citado na literatura como potencialmente produtor de cianotoxinas (MOLICA e AZEVEDO, 2009).

Quanto à frequência de ocorrência das cianobactérias no reservatório de Tapacurá, dos 14 taxa identificados 21,42% foram considerados muito frequentes, 14,28% frequentes e 64,28% pouco frequentes, descritas nos períodos estudados estão ilustradas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Lista e frequência de ocorrência dos taxa de cianobactérias identificados no reservatório de Tapacurá

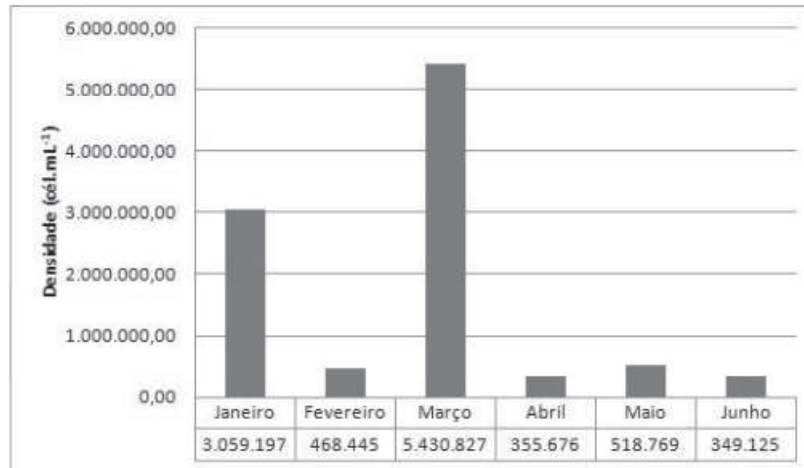
Taxa identificados	Reservatório de Tapacurá						
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Freq. (%)
<b>OSCILLATORIALES</b>							
<i>Planktothrix</i> sp.				x	x		PF-33,3
<i>Planktolyngbya</i> sp.					x		PF-16,6
<i>Pseudoanabaena</i> sp.						x	PF-16,6
<i>Geitlerinema amphibium</i>	x	x	x	x	x	x	MF-100
<b>CHROOCOCCALES</b>							
<i>Merismopedia</i> sp.		x	x		x	x	F-66,6
<i>Aphanocapsa</i> sp.			x				PF-16,6
<i>Microcystis</i> sp.	x	x	x	x	x	x	MF-100
<i>Chroococcus</i> sp.						x	PF-16,6
<b>NOSTOCALES</b>							
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>		x					PF-16,6
<i>Cylindrospermopsis catemaco</i>			x				PF-16,6
<i>Raphidiopsis curvata</i>			x				PF-16,6
<i>Raphidiopsis mediterranea</i>	x	x	x	x	x	x	MF-100
<i>Sphaeropermopsis aphanizomenoides</i>		x	x		x	x	F-66,6
<i>Dolichospermum</i> sp.	x						PF-16,6

MF: muito frequente; F: frequente; PF: pouco frequente.

A densidade de cianobactérias no reservatório de Tapacurá durante o período de estudo apresentou uma variação de 349.125 a 5.430.827 cél.mL<sup>-1</sup> (Figura 11). Durante este período foi observada uma tendência gradativa de crescimento da densidade no período seco, apresentando o seu maior pico no mês de março, correspondendo aos períodos de menor precipitação no manancial. Este modelo de crescimento é bastante comum em reservatórios eutróficos da Região Nordeste, e também foram descritos nos trabalhos de Gomes (2003); Pelachata; Pelachaty; Pukacz, 2016; Aragão et al., (2007) para o reservatório de Carpina, sendo geralmente estabelecidos em função do aumento da temperatura e diminuição das precipitações. O processo de eutrofização resulta na dominância de algumas

cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas (YANG et al., 2016), assim como as que foram identificadas neste estudo.

**Figura 11.** Densidade de cianobactérias no reservatório de Tapacurá



### 4.3 Concentração de cianotoxinas

Com o teste ELISA, foi possível registrar que a concentração de microcistinas em alguns períodos de coleta esteve acima do valor máximo permissível determinado pela Portaria de Consolidação n° 5 para água tratada. As demais toxinas (cilindropermopsina e saxitoxinas) permaneceram abaixo do valor máximo permissível em todos os períodos de coletas. A maior concentração de cianotoxinas foi encontrada no mês de janeiro de 2017, conforme apresentado na Tabela 2. Os coeficientes de variação (CVs) para padrões: <10%, para amostras: <15%.

**Tabela 2.** Concentrações de cianotoxinas nas amostras de água.

Cianotoxinas	Concentração de toxina (µg/L)					
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
Microcistinas	25,77	8,7	8,2	0,23	0,27	<LQ
Cilindropermopsina	<LQ	<LQ	<LQ	0,04	<LQ	<LQ
Saxitoxinas	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

<LQ: Menor que o limite de quantificação.



A legislação que define o limite máximo de microcistinas, cilindrospermopsina e saxitoxinas está vigente com o valor de 1 µg/L, 1µg/L e 3 µg/L, respectivamente. A quantificação de cianotoxinas é muito importante, uma vez que estas toxinas se tornam problemáticas e potencialmente tóxicas quando presentes em determinadas concentrações (MOHAMED, 2017). O resultado comprova que a produção de cianotoxinas esteve associada à composição das espécies de cianobactérias (DOLMAN et al., 2012).

## **5 CONCLUSÃO**

Os resultados deste estudo apontam que a densidade de cianobactérias e cianotoxinas esteve relacionada com o índice pluviométrico. Os “*blooms*” de cianobactérias no reservatório de Tapacurá podem originar muitos problemas, sendo o mais preocupante o fato de uma proporção significativa de cianobactérias produzir uma ou mais toxinas. Verificou-se a presença de gêneros potencialmente produtores de cianotoxinas, desta forma é essencial o constante monitoramento deste manancial.

Além do consumo direto da água, as pessoas também podem estar expostas às cianotoxinas por meio do consumo de pescados contaminados e da prática de atividades recreativas. A prevenção de florações de cianobactérias é a abordagem mais racional a ser adotada pela concessionária de águas (Compesa), para evitar os potenciais problemas de toxicidade e de gosto e odor desagradável na água, causados por essas florações.

## REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, N. K. C. V.; GOMES, C. T. S.; LIRA, G. A. S. T.; ANDRADE, C. M. Estudo da comunidade fitoplanctônica no reservatório do Carpina-PE, com ênfase em Cyanobacteria. Artigo, UFPE, *Rev Inst Adolfo Lutz*, 66(3): p. 240-248, 2007.
- BEALIEU, M.; PICK, F.; GREGORY-EAVES, I. Nutrients and water temperature are significant predictors of cyanobacterial biomass in 1147 lake set. *Limnology and Oceanography*, v. 58, p. 1736-1746. 2013.
- BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; SANTOS, D. M. S.; MOURA, N. A. toxic cyanobacteria in reservoirs in northeastern Brazil: detection using a molecular method. *Brazilian Journal of Biology*, v.70, n. 4, p. 1005-1010. 2010.
- BRASIL. *Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- BRASIL. *Portaria de Consolidação nº 5 de 3 de outubro de 2017 do Ministério da Saúde*. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.
- BRAGA, R. (Cord.). *Gestão ambiental da bacia do Tapacurá – Plano de ação*. UFPE/CTG/DECIVIL/GRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE. 2001.
- CALIJURI, M. C.; ALVES, M. S. A.; SANTOS, A. A. *Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais*. São Carlos, Ed. Rima, p.109, 2006.
- CAREY, C. C.; IBELINGS, B. W.; HOFFMANN, E. P.; HAMILTON, D. P.; BROOKES, J. D. Eco-physiological adaptations that favour freshwater cyanobacteria in a changing climate. *Water research*, v. 46, p. 1394-1407. 2012.
- CETESB, Y.M.; LEE, T. H.; LEE, S. J.; HUANG, R.; CHOU, H. N. Comparasion of protein phosphatase inhibition activites and mouse toxicities of microcystins. *Toxicon*, v.47, n.7.p. 742-746, 2006.

CHEN, Y.M.; LEE, T. H.; LEE, S. J.; HUANG, R.; CHOU, H. N. Comparasion of protein phosphatase inhibition activites and mouse toxicities of microcystins. *Toxicon*, v.47, n.7. p. 742-746, 2006.

CHIA, M. A.; CORDEIRO-ARAÚJO, M. K.; LORENZI, A. S.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. Cylindrospermopsin induced changes in growth, toxin production and antioxidante response of *Acutodesmus acuminatus* and *Microcystis aeruginosa* under differing light and nitrogen conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 142, p. 189-199. 2017.

COSTA, M. S. *Eutrofização e Florações de Cianobactérias Tóxicas*. Monografia de Graduação, Universidade do Grande Rio. 2003.

DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A. D. B. *Florações de Algas e de Cianobactérias: Suas Influências na Qualidade da Água e nas Tecnologias de Tratamento*. Primeira Edição, Editora LdiBe, São Carlos, SP, 2010.

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

DOLMAN, A. M.; RÜCKER, J.; PICK, F. R.; FASTNER, J.; ROHRLACK, T.; MISHKE, U.; WIEDNER, C. Cyanobacteria and cyanotoxins: the influence of nitrogen versus phosphorus. *Plos one*, v. 7(6): e38757. Journal.pone. 2012.

FALCONER, I. R.; HUMPAGE, A. R. Preliminary evidence for in vivo tumour Initiation by oral administration of extracts of the blue-green alga *Cylindrospermopsis raciborskii* containing the toxin cylindrospermopsin. *Environmental Toxicology*, 16: p.192-195, 2001.

FIGUEREDO, C. C.; GIANI, A. Seasonal variation of the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical reservoir. *Hydrobiologia*, 445:165-174. 2001.

FIGUEREDO, C. C.; PINTO-COELHO, R. M.; LOPES, A. M. M. B.; LIMA, P. H. O.; GÜCKER, A. G. From intermitente to persistent cyanobacterial blooms: identifying the main drivers in urban tropical reservoir. *Journal of Limnology*, v.75, p. 445-454. 2016.

FORTIN, N.; ARANDA-RODRIGUEZ, R.; JING, H.; PICK, F.; BIRD, D.; GREER, C. W. Detection of microcystin – producing cyanobacteria in Missisquoi Bay, Quebec, Canada, using quantitative PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 76, p.5105-5112. 2010.

FREITAS, E. C.; PINHEIRO, C.; ROCHA, O.; LOUREIRO, S. Can mixtures of cyanotoxins represent a risk to the zooplankton? The case study of *Daphnia magna* Straus exposed to hepatotoxic and neurotoxic cyanobacterial extracts. *Harmful Algae*, v. 31, p. 143-152. 2014.

FROSCIO, S. M.; HUMPAGE, A. R.; BURCHAM, P. C.; FALCONER, I. R. Cell-free protein synthesis inhibition assay for the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin. *Environmental Toxicology*, 16: p.408-412, 2001.

GAO, Y.; CORNWELL, J. C.; STOECKER, D. K.; OWENS, M. S. Effects of cyanobacterial-driven pH increases on sediment nutrient fluxes and coupled nitrification-denitrification in shallow fresh water estuary. *Biogeosciences*, v. 9, p. 2697-2710. 2012.

GER, K. A.; HANSSON, L. A.; LURLING. Understanding cyanobacteria-zooplankton interaction in a more eutrophic world. *Freshwater Biology*, v.59, p.1783-1798. 2014.

GIANI, A.; PINTO-COELHO, R. M.; OLIVEIRA, S. J. M.; PELLI, A. Ciclo sazonal de parâmetros físico-químicos da água e distribuição horizontal de nitrogênio e fósforo no Reservatório da Pampulha (Belo Horizonte, MG, Brasil). *Cienc. Cult.* v. 40, n.1, p. 69-77, 1988.

GOMES, C. T. S. *Análise da variação qualitativa e quantitativa do fitoplâncton no reservatório do Carpina – PE* [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). 2003.

GUNKEL, G.; RUETER, K.; CASALLAS, J.; SOBRAL, M. C. *Estudos da Limnologia do Reservatório de Tapacurá em Pernambuco: problemas da gestão de reservatórios no Semi-árido brasileiro*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: ABRH, 2003.

HUMPAGE, A. R.; FENECH, M.; THOMAS, P.; FALCONER, I. R. Micronucleus induction and chromosome loss in transformed human white cells indicate clastogenic and aneugenic action of the cyanobacterial toxin, cylindrospermopsin. *Mutation Research*, 472: p.155-161, 2000.

JARDIM, F. A.; CAVALIEREI, S. O.; GALLINARI, P. C.; VIANNA, L. N. L. Metodologia para a contagem de cianobactérias em células/mL. Um novo desafio para o analista de laboratório. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 109-111, jul./ set. 2002.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Modern approach to the classification system of Cyanophytes*, 2: Chroococcales. *Archiv fur Hydrobiologie, Suppl. 73, Algological Studies*, 43. 157-226. 1986.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokaryota*, 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl HG, Gartner, Heynig & D. Mollenhauer Ettl (eds): *Susswasserfl ora von Mitteleuropa*; Gustav Fischer, Stuttgart, 19. 1-545. 1999.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokaryota*, 2. Teil: Oscillatoriales. *Subwasserfl ora von Mitteleuropa*. Bridel B, Gaster G, Krienitz L, Schargerl M. (Hrs.) (19/2). Elsevier. p.759. 2005.

LEAL, A. C.; SOARES, M. C. P. Hepatotoxicidade da cianotoxina microcistina. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 2(Suppl2): 84-9. 2004.

LUND, J. W. G.; KIPLING, C.; LE CREN, E. D. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiol.*, 11, 143–170. 1958.

MAIA-BARBOSA, P. M.; PEIXOTO, R. S.; GUIMARÃES, A. S. Zooplankton in littoral waters of a tropical lake: a revisited biodiversity. *Braz. J. Biol*, v. 68, n. 4 Suppl, p. 1069- 1078, Nov. 2008.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. *Metodologia para el estudio de la vegetación*. Washington: The General Secretarial of The Organization of American States; 1982.

MERILUOTO, J.; CODD, G. A. *Toxic Cyanobacterial monitoring and cyanotoxin analysis*. Åbo Akademi University Press. p.149, 2005.

MOHAMED, Z. A. Macrophytes – cyanobacteria allelopathic interactions and their implications for water resources management – A review. *Limnologica*, v. 63, p. 122-132. 2017.

MOLICA, R. J. R.; OLIVEIRA, E. J. A.; CARVALHO, P. V. V. C.; COSTA, A. N. S. F.; CUNHA, M. C. C.; MELO, G. L.; AZEVEDO, S. M. F. O. Occurrence of saxitoxins and anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply. *Harmful Algae*, 4: p. 743-753, 2005.

MOLICA, R. J. R.; AZEVEDO, S. Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. *Revista Oecologia Brasiliensis* 13(2): p. 229-246, 2009.

MSAGATI, T. A. M.; SIAME, B. A.; SHUSHU, D. D. Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. *Aquatic Toxicology*, Amsterdam, v.78, n.4, p.382-397, 2006.

PAWLIK-SKOWEONSKA, B.; KALINOWSKA, R.; SKOWRÓNSKI. Cyanotoxins diversity and food web bioaccumulation in a voir with decreasing phosphorus concentrations and perennial cyanobacterial blooms. *Harmful Algae*, v. 28, p. 118-125.2013.

PAWLIK-SKOWEONSKA, B.; TOPOROWSKA, M. How to mitigate cyanobacterial blooms and cyanotoxin production in eutrophic water reservoirs? *Hydrobiologia*, v.778. p.45-59. 2016.

PELACHATA, A.; PELACHATY, M.; PUKACZ, A. Factors influencing cyanobacteria community structure in Chara-Lakes. *Ecological indicators*, v.71, p.477-490. 2016.

PERNAMBUCO. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Boletim de acompanhamento da chuva em Pernambuco, jan – jun, 2017.

ROJO, C.; SEGURA, M.; CORTÊS, F.; RODRIGO, M. A. Allelopathic effects of microcystin-LR on the germination, growth and metabolism of Five charophyte species and a submerged angiosperm. *Aquatic toxicology*, v.1-10, p. 144-145. 2013.

SINOVEN, K.; JONES, G. *Cyanobacterial toxins*. In: Chorus, I. & Bartram, J. (eds.) *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. E&FN Spon, London. 416p. 1999.

SU, Z.; SHEETS, M.; ISHIDA, H.; LI, F.; BARRY, W.H. Saxitoxins blocks L-type Ica. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 308: p. 324-329. 2004.

TSUKAMOTO, R. Y.; TAKAHASHI, N. S. Cianobactérias + Civilização = Problemas para Saúde, a Aquicultura e a Natureza. *Rev. Panorama da Aquicultura*, 2007.

UHELINGER, V. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. *Archives Sciences*, vol. 17, p. 121-123. 1964.

UTERMÖHL, H. *Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik*. Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte. Limnologie 9, 1–38, 1958.

YANG, B.; JIANG, Y. J.; HE, W.; LIU, W. X.; KONG, X. Z. JORGENSES, S. E.; XU, F. L. The tempo-spatial variations of phytoplankton diversities and their correlation with trophic state levels in a large eutrophic Chinese lake. *Ecological indicators*, v. 66, p.153-162. 2016.

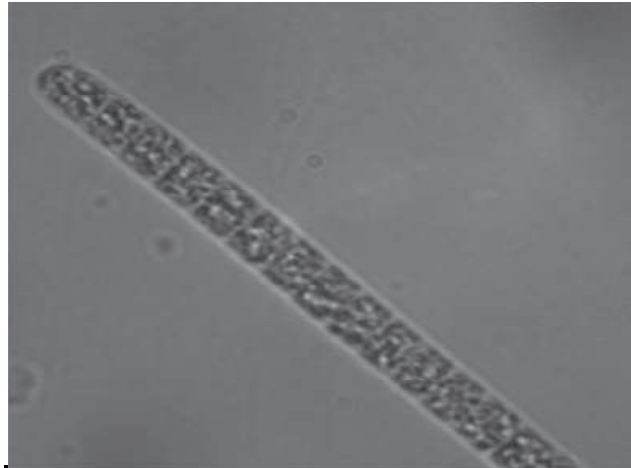
WALLS, J. T.; WYATT, K. H.; DOLL, J. C.; RUBENSTEIN, E. M.; ROBER, A. R. Hot and toxic: temperature regulates microcystin release from cyanobacteria. *Science of the total environment*, v.610-611, p. 786-795. 2018.

WANG, J.; SALATA, J. J.; BENNETT, P. B. Saxitoxin is a gating modifier of hERG K<sup>+</sup> Channels. *Journal of General Physiology*, 121: p. 583-598, 2003.

ZHAN, L.; SAKAMOTO, H.; SAKURABA, M.; WU S.; ZHANG, L.S.; SUZUKI, T.; HAYASHI, M.; HONMA, M. Genotoxicity of microcystin-LR in human lymphoblastoid Tk6 cells. *Mutation Research* 557(1), p. 01-06, 2004.

## APÊNDICE

**Figura 12.** *Planktothrix* sp. Aumento de 100 vezes.



Fonte: própria (2017).

**Figura 13.** *Raphidiopsis mediterrânea*. Aumento de 40 vezes.



Fonte: própria (2017).



**Figura 14.** *Raphidiopsis curvata*. Aumento de 40 vezes.



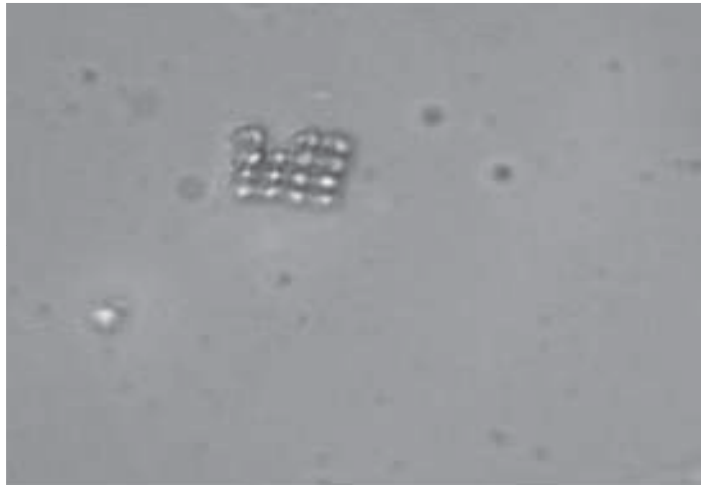
Fonte: própria (2017).

**Figura 15.** *Pseudoanabaena* sp. Aumento de 40 vezes.



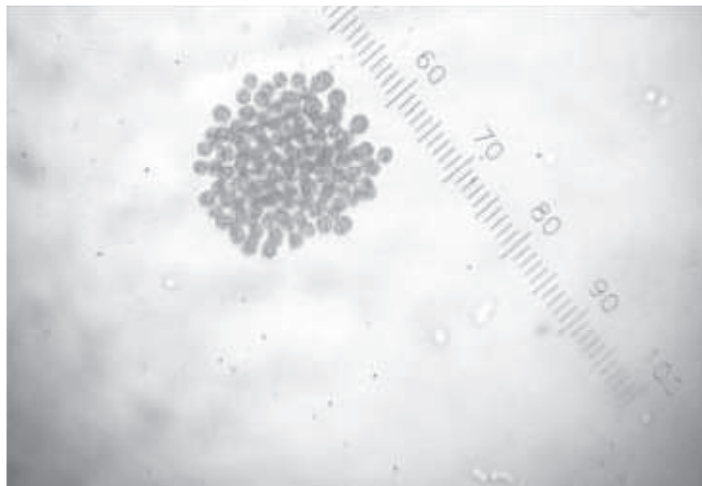
Fonte: própria (2017).

**Figura 16.** *Merismopedia* sp. Aumento de 40 vezes.



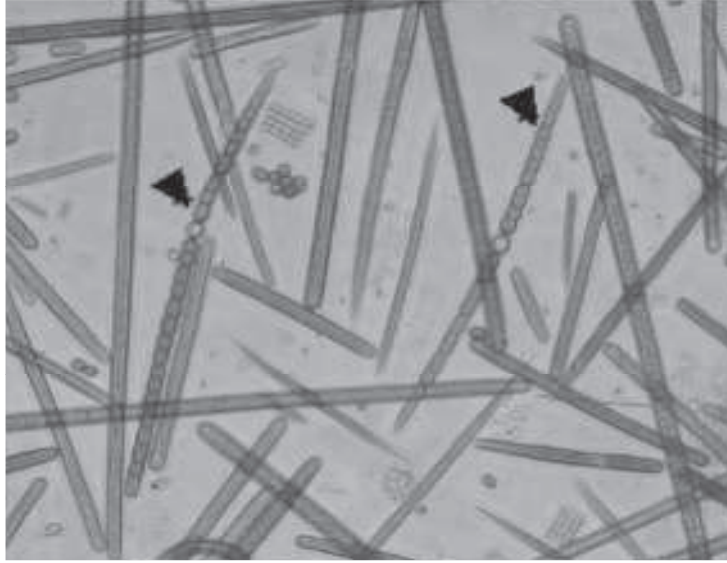
Fonte: própria (2017).

**Figura 17.** *Microcystis* sp. Aumento de 40 vezes



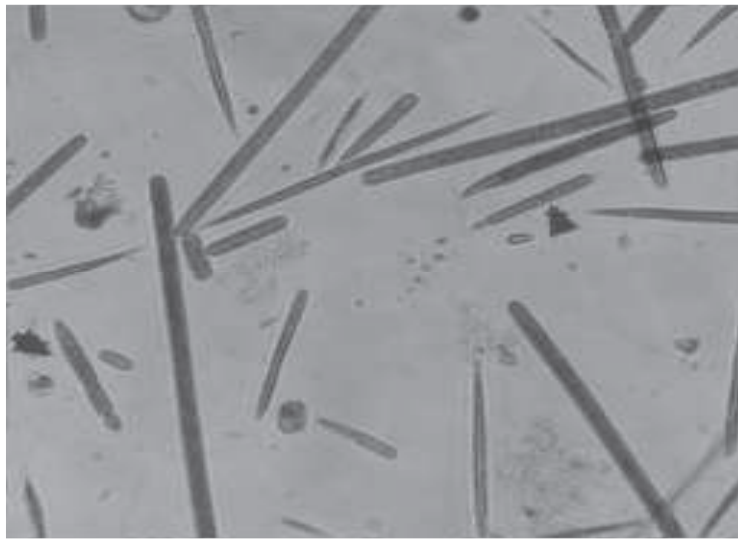
Fonte: própria (2017).

**Figura 18.** *Sphaerospermopsis* sp. Aumento de 40 vezes.



Fonte: própria (2017).

**Figura 19.** *Cylindrospermopsis raciborskii*. Aumento de 40 vezes.



Fonte: própria (2017).