



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**TATIANE MEDEIROS QUEIROZ**

**INTERAÇÕES ENTRE AS CEPAS *Raphidiopsis raciborskii* E *Microcystis aeruginosa*:  
EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DAS  
CIANOTOXINAS**

**CAMPINA GRANDE  
2020**

**TATIANE MEDEIROS QUEIROZ**

**INTERAÇÕES ENTRE AS CEPAS *Raphidiopsis raciborskii* E *Microcystis aeruginosa*:  
EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DAS  
CIANOTOXINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Ciências Biológicas.

**Área de concentração:** Ecologia e Limnologia.

**Orientador:** Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa.

**Coorientadora:** MSc. Ranielle Daiana dos Santos Silva.

**CAMPINA GRANDE  
2020**

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.

Q3i Queiroz, Tatiane Medeiros.  
Interações entre as cepas *Raphidiopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa* [manuscrito] : efeito da temperatura sobre o crescimento e produção das cianotoxinas / Tatiane Medeiros Queiroz. - 2020.  
34 p.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde , 2020.  
"Orientação : Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa , Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."  
1. Mudanças climáticas. 2. Interações alelopáticas. 3. Saxitoxinas. 4. Microcistinas. I. Título  
21. ed. CDD 581.7

**TATIANE MEDEIROS QUEIROZ**

**INTERAÇÕES ENTRE AS CEPAS *Raphidiopsis raciborskii* E *Microcystis aeruginosa*:  
EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DAS  
CIANOTOXINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Ecologia e Limnologia.

Aprovada em: 15/12/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

---

Profª. Dra. Juliana Santos Severiano (Examinadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

---

Profª. Dra. Joseline Molozzi (Examinadora)  
Instituto Federal da Paraíba (UEPB)

À Jesus Cristo e a minha mãe, Nossa Senhora,  
por me proporcionar realizar este sonho e aos  
meus avós (*in memoriam*), por todo amor e  
apoio, DEDICO.

*"Viver de Amor, que estranha loucura!"  
Me diz o mundo - "Ah! Deixa de cantar!  
Não percas teus perfumes, tua vida;  
Aprende a usá-la utilmente!"  
Te amar, Jesus... Que perda fecunda!  
Todos os meus perfumes são teus para sempre.  
Quero cantar, saindo deste mundo,  
Vivo de Amor.*

*(Santa Teresinha do Menino Jesus)*

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da Anova da exposição de <i>M. aeruginosa</i> a diferentes condições de tratamentos e temperaturas.....	16
Tabela 2 – Resultados da Anova da exposição de <i>R. raciborskii</i> a diferentes condições de tratamentos e temperaturas.....	16

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Biovolume celular ( $10^6 \mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$ ) de A) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; B) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C; C) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; D) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C. \* diferença significativa; \*\*= diferença significativa entre os dias e temperaturas, mas não em relação ao tratamento..... 15
- Figura 2 – Volume celular ( $\mu\text{m}^3 \text{cel}^{-1}$ ) de A) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; B) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C; C) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; D) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C. \* = diferença significativa; \*\*= diferença significativa entre os dias e temperaturas, mas não em relação ao tratamento..... 17
- Figura 3 – Taxa de crescimento específico A) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; B) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C; C) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; D) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente  $p < 0.05$ ..... 18
- Figura 4 – Taxa de inibição/estímulo de crescimento. A) Cultura mista de *R. raciborskii* em 24 °C; B) Cultura mista de *R. raciborskii* em 30 °C; C) Cultura mista de *M. aeruginosa* em 24 °C; D) Cultura mista de *M. aeruginosa* em 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente  $p < 0.05$ ..... 19
- Figura 5 – Concentração de saxitoxinas ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) por tempo nos tratamentos de monocultura e cultura mista de *R. raciborskii* nas temperaturas de 24 °C e 30 °C. A) Temperatura de 24 °C; B) Temperatura de 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente  $p < 0.05$ ..... 20

Figura 6 – Concentração de microcistina ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) por tempo nos tratamentos de monocultura e cultura mista de *M. aeruginosa* nas temperaturas de 24 °C e 30 °C. A) Temperatura de 24 °C; B) Temperatura de 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente  $p < 0.05$ ..... 21

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	13
<b>2.1. Cepas de Ciano Bactérias</b> .....	13
<b>2.2. Condições de Cultura</b> .....	13
<b>2.3. Coleta de Dados</b> .....	13
<b>2.4. Análise de Cianotoxinas</b> .....	13
<b>2.5. Análise Estatística</b> .....	14
<b>3. RESULTADOS</b> .....	14
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	23
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	24

**EFEITOS DA TEMPERATURA NA INTERAÇÃO ENTRE AS CIANOBACTÉRIAS  
*Raphidiopsis raciborskii* E *Microcystis aeruginosa*: ANÁLISE DA RESPOSTA  
ECOFISIOLÓGICA DAS ESPÉCIES**

**EFFECTS OF TEMPERATURE ON THE INTERACTION BETWEEN  
CYANBACTERIA *Raphidiopsis raciborskii* AND *Microcystis aeruginosa*: ANALYSIS  
OF THE ECOPHYSIOLOGICAL RESPONSE OF THE SPECIES**

Tatiane Medeiros Queiroz\*

**RESUMO**

Os efeitos das mudanças climáticas como o aumento da temperatura global, em ecossistemas aquáticos têm contribuído para ocorrência das florações das cianobactérias e aumento das concentrações das cianotoxinas. As espécies *Raphidiopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa* são formadoras de florações tóxicas e são consideradas ameaças a diversidade de organismos pois tem se destacado por sua dominância em ambientes aquáticos de todo o mundo, sendo influenciadas pelo aumento da temperatura que tem provocado o aumento de suas florações e expansões territoriais. Essas espécies co-ocorrem ou podem co-dominar em ecossistemas aquáticos, em decorrência das condições ambientais e suas características ecofisiológicas e as implicações do aumento das temperaturas sobre as florações destas espécies é extremamente preocupante. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da temperatura sobre as respostas ecofisiológica como volume, biovolume e produção de toxinas durante interações entre *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*. Foram realizados experimento em monoculturas com de cepas de *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*, e cultura-mista com a interação das células de ambas as espécies, a fim de testar o efeito competitivo, sobre as condições das diferentes temperaturas. Duas temperaturas foram testadas (24 °C e 30 °C) sob condições adequadas de nutrientes para manutenção das cepas contidas no meio de cultura ASM-1. A densidade celular inicial foi de  $4,0 \times 10^6 \mu\text{M}^3 \text{mL}^{-1}$  para cada cepa. As culturas foram incubadas durante oito dias, em dias alternados foram retiradas amostras para quantificar e medir o crescimento celular, biovolume e conteúdo de cianotoxinas. Foi realizada uma análise de variância do tipo dois fatores (ANOVA axb) para verificar as diferenças significativas da temperatura entre as taxas de crescimento, taxa de inibição e estímulo, volume, biovolume e toxinas. Verificamos que a temperatura intensificou as interações entre as espécies, promovendo maior vantagem competitiva a *R. raciborskii*. As taxas de crescimento das cepas de *M. aeruginosa* e *R. raciborskii* em cultura mista foram mais baixas em comparação com as monoculturas em ambas as temperaturas testadas. O aumento da temperatura levou o aumento do biovolume celular e estimulou o crescimento de *R. raciborskii*. Foi observado maiores biovolumes de *M. aeruginosa* em 24 °C, e redução em 30 °C. Em contrapartida, *M. aeruginosa* apresentou maior inibição nas duas temperaturas se comparado a *R. raciborskii*. O aumento da temperatura mostrou aumentar o volume celular de *R. raciborskii* e reduziu o volume celular de *M. aeruginosa*. Com o aumento da temperatura observou-se estimulação na produção de microcistina na condição de cultura mista. *R. raciborskii* apresentou maior produção de saxitoxinas em monocultura sob 24 °C, sendo esta estimulada durante o cultivo misto em 30 °C. Estes resultados mostram que em elevada temperatura *R. raciborskii* domina mais fortemente

---

\* Aluna de Graduação em Ciências biológicas na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, campus I.  
E-mail: tatianemedeiros5892@gmail.com

*M. aeruginosa*, sugerindo que em um cenário futuro de temperaturas mais altas florações de *R. raciborskii* tenha maiores vantagens competitivas. Neste contexto, o presente estudo ajuda a prever os efeitos do aquecimento global sobre as florações destas espécies tóxicas nos ecossistemas aquáticos e podem auxiliar na criação de planos de manejos para o controle das florações formadas por estas cianobactérias.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Interações alelopáticas. Saxitoxinas. Microcistinas.

### ABSTRACT

The effects of climate change, such as the increase in global temperature, in aquatic ecosystems have contributed to the occurrence of cyanobacterial blooms and increased concentrations of cyanotoxins. The species *Raphidiopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa* form toxic blooms and are considered threats to the diversity of organisms because they have stood out for their dominance in aquatic environments all over the world, being influenced by the increase in temperature that has caused the increase of their blooms and territorial expansions. These species co-occur or may co-dominate in aquatic ecosystems, due to environmental conditions and their ecophysiological characteristics and the implications of increasing temperatures on the blooms of these species is extremely worrying. Given the above, the aim of this study was to evaluate the effects of temperature on ecophysiological responses such as volume, biovolume and toxin production during interactions between *R. raciborskii* and *M. aeruginosa*. Experiments were carried out on monocultures with strains of *R. raciborskii* and *M. aeruginosa*, and mixed culture with the interaction of cells of both species, in order to test the competitive effect on the conditions of different temperatures. Two temperatures were tested (24 °C and 30 °C) under adequate nutrient conditions to maintain the strains contained in the ASM-1 culture medium. The initial cell density was  $4.0 \times 10^6 \mu\text{M}^3 \text{ mL}^{-1}$  for each strain. The cultures were incubated for eight days, on alternate days samples were taken to quantify and measure cell growth, biovolume and cyanotoxin content. A two-factor analysis of variance (ANOVA axb) was performed to check for significant differences in temperature between growth rates, inhibition and stimulus rates, volume, biovolume and toxins. We verified that the temperature intensified the interactions between the species, promoting greater competitive advantage to *R. raciborskii*. The growth rates of *M. aeruginosa* and *R. raciborskii* strains in mixed culture were lower compared to monocultures at both temperatures tested. The increase in temperature led to an increase in cell biovolume and stimulated the growth of *R. raciborskii*. Higher biovolumes of *M. aeruginosa* were observed at 24 °C, and a reduction at 30 °C. In contrast, *M. aeruginosa* showed greater inhibition at both temperatures compared to *R. raciborskii*. The increase in temperature showed an increase in the cell volume of *R. raciborskii* and a decrease in the cell volume of *M. aeruginosa*. With the increase in temperature, stimulation in the production of microcystin was observed in the mixed culture condition. *R. raciborskii* showed higher production of saxitoxins in monoculture under 24 °C, which was stimulated during mixed cultivation at 30 °C. These results show that at high temperature *R. raciborskii* dominates more strongly *M. aeruginosa*, suggesting that in a future scenario of higher temperatures *R. raciborskii* blooms have greater competitive advantages. In this context, the present study helps to predict the effects of global warming on the blooms of these toxic species in aquatic ecosystems and can assist in the creation of management plans for the control of blooms formed by these cyanobacteria.

**Keywords:** Climate changes. Allelopathic interactions. Saxitoxins. Microcystins.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da poluição antropogênica decorrente das atividades humanas, urbanas e industriais, eleva às concentrações de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo, resultando no processo de eutrofização em corpos aquáticos (PAERL et al., 2016; YANG et al., 2017; GLIBERT; BURFORD, 2017). Associada aos efeitos das mudanças climáticas como o aumento da temperatura global, a eutrofização tem contribuído para a ocorrência das florações de cianobactérias (CAREY et al., 2012; O'NEIL et al., 2012; WALLS et al., 2018).

As florações de cianobactérias são consideradas ameaças à diversidade de organismos, pois dominam diversos ecossistemas aquáticos, reduzindo a diversidade de espécies e inviabilizam os serviços ecossistêmicos, alterando os aspectos da água, como sabor e odor, comprometendo a qualidade para consumo (PAERL et al., 2016; DALU; WASSERMAN, 2018; MOURA et al., 2018). Um dos maiores problemas associados às florações das cianobactérias está relacionado a capacidade destes organismos de produzir cianotoxinas, as quais podem causar sérios danos à saúde de humanos e de animais (KOREIVIENĖ et al., 2014; HARDY et al., 2015; WEBER et al., 2020). Essas cianotoxinas podem ser classificadas como microcistinas, cilindrospermopsina, anatoxina-a e saxitoxinas, podendo causar efeitos neurotóxicos, hepatotóxicos, dermatotóxicos e carcinogênicos (O'NEIL et al., 2012; HARKE et al., 2016; CARMICHAEL e BOYER, 2016).

Cianobactérias são organismos resistentes a condições de distúrbios ambientais, como a limitação de nutrientes, variações na intensidade luminosa e diferentes níveis de temperatura (O'NEIL et al., 2012; BUFORD et al., 2016; MENEZES et al., 2019). A temperatura por sua vez, pode alterar a fisiologia, morfologia, acelerar o crescimento afetando a atividade fotossintética e o metabolismo celular, bem como influenciar no sucesso competitivo e interações entre espécies (WELLES et al., 2015; IBELINGS et al., 2011; BURFORD et al., 2020). O aumento da temperatura consequente das mudanças climáticas globais, contribuem para a elevação da estratificação vertical, diminuição da precipitação e redução na mistura do vento, provocando a estagnação da coluna de água, favorecendo a formação de florações de cianobactérias (PAERL; HUISMAN, 2009; HUISMAM et al., 2018).

Na região semiárida tropical o aumento da temperatura associado aos longos períodos de estiagem prolongada desta região tem promovido intensas florações de cianobactérias durante todo o ano (BARBOSA et al., 2011; BRASIL et al., 2016). Diferentemente das regiões temperadas, onde as florações ocorrem em períodos de verão e outono (REYNOLDS; PETERSEN, 2000). Neste contexto, a região semiárida tropical pode servir como modelo de um cenário futuro para regiões temperadas, podendo prever possíveis eventos de florações de cianobactérias, pois acredita-se, que ao longo do tempo a elevação da temperatura juntamente com a eutrofização favoreça esses eventos, podendo ocorrer com maior frequência o ano todo, assim como em ambientes tropicais (MEHNERT et al., 2010; SINHA et al., 2012).

De acordo com os relatórios do IPCC (2013, 2014), a temperatura global neste século XXI aumentará em cerca de 4,8 °C, como também, ocorrerá intensos períodos de seca, e aumento da estratificação vertical na região semiárida devido ao aumento da temperatura. O sucesso, das cianobactérias em ambientes com temperatura alta deve-se ao fato de apresentarem vantagens ecofisiológicas como vesículas de gás que promove a flutuabilidade na coluna da água, facilitando a assimilação de luz e a aquisição de nutrientes em condições limitantes, presença de heterócitos atuam na fixação de nitrogênio e acinetos para estocagem de nutrientes (O'NEIL et al., 2012; PAERL; PAUL, 2012; MANTZOUKI et al., 2016; MOURA et al., 2018).

A intensidade da temperatura pode influenciar as cianobactérias de forma direta elevando as taxas de crescimento e fotossintéticas, e indireta diminuindo a viscosidade da água

e aumentando a difusão de nutrientes, fornecendo estabilidade da coluna de água, contribuindo assim para uma maior vantagem competitiva deste grupo (O'NEIL et al., 2012; SCHABHÜTTL et al., 2013; THOMAS; LITCHEMAM, 2016). Estudos têm relatado a influência da temperatura associadas a outros fatores ambientais como nutrientes e luz sobre a dominância das cianobactérias em ecossistemas aquáticos (PAERL; PAUL, 2012; POSCH, CAREY et al., 2012; PAERL; OTTEN, 2013; RICHARDSON et al., 2018; WALLS et al., 2018).

As cianobactérias *Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju e *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, são formadoras de florações tóxicas em ambientes de água doce em todo mundo (LI et al., 2016; BURFORD et al., 2016; HARKE et al., 2016). Acredita-se que florações destas espécies se tornaram mais frequentes em decorrência das mudanças climáticas e aumento da eutrofização (PAERL; HUISMAN, 2009; O'NEIL et al., 2012). A *R. raciborskii* é uma cianobactéria invasora, de origem tropical que se expandiu para regiões temperadas (MOREIRA et al., 2011; SUKENIK et al., 2012; ANTUNES et al., 2015). *R. raciborskii* é uma espécie que possui tricomas retos ou enrolados, presença de acinetos, vesículas de gás, heterócitos, tolera baixa intensidade de luz e uma ampla faixa de temperatura apresentando ótimas taxas de crescimento entre 29 e 31 °C, e tolerância entre 19 e 35 °C (BRIAND et al., 2004; RYAN; THOMAS; LITCHMAN, 2017; PANOU et al., 2018). Esta espécie é produtora das cianotoxinas cylindrospermopsina e saxitoxina (BITTENCOURT-OLIVEIRA et al., 2016; MIOTTO et al., 2017; VARGAS et al., 2019).

*Microcystis aeruginosa* é uma espécie que pode ser encontrada na forma colonial ou unicelular (XIAO; LI; REYNOLDS, 2018), possui vesículas de gás, e mucilagem que reduz as taxas de afundamento e fornece proteção contra a predação, diminuindo a herbivoria (REYNOLDS, 2007; WU et al., 2010). *M. aeruginosa* pode produzir a hepatoxina microcistina (RZYMSKI et al., 2014; WANG et al., 2017). Esta cianobactéria pode tolerar temperaturas entre 16,5 °C a 35 °C (THOMAS e LITCHMAN, 2016) com taxa de crescimento ótimo entre 24 °C a 28 °C (GKELIS et al., 2014; MANTZOUKII et al., 2016).

As espécies *R. raciborskii* e *M. aeruginosa* co-ocorrem ou podem co-dominar em ecossistemas de água doce devido a capacidade de competir por recurso como luz e nutrientes (MARINHO; SOUZA; LÜRLING, 2013; XIÃO; WILLIS; BURFORD, 2017; JIA et al., 2020). Essa alternância de dominância pode ser resultado da alta plasticidade fenotípica e interações alelopáticas (BONILLA et al., 2012; WILLIS et al., 2015). Em experimento com variações dos níveis de luz e fosfato, foi observado que a competição entre *R. raciborskii* e *M. aeruginosa* pode ser dependente do recurso limitante, *R. raciborskii* pode dominar quando foi exposta a diferentes condições de luz e limitação de fósforo e *Microcystis* sob limitação de luz (MARINHO; SOUZA; LÜRLING, 2013). Em condições de diminuição da temperatura *M. aeruginosa* obteve aumento na taxa de crescimento enquanto sob alta temperatura e limitação nitrogênio favoreceu ainda mais as florações de *R. raciborskii*. (THOMAS e LITCHMAN, 2016)

Acredita-se que maiores biomassas de cianobactérias possam contribuir para aumento das concentrações de toxinas (DAVIS et al., 2009; EL-SHEHAWY et al., 2012; BRUTEMARK et al., 2015). No entanto, ainda não está claro como o aumento da temperatura pode influenciar produção de toxinas durante as interações entre essas espécies. Esse estudo é importante para compreensão da influência da temperatura nas florações destas cianobactérias em ambientes aquáticos, bem como auxiliar na prevenção e criação de planos de manejos eficientes. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da temperatura sobre as respostas ecofisiológica como o volume, biovolume e produção de toxinas durante interações entre *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*. As seguintes hipóteses foram testadas: a) Espera-se que, durante interações entre *R. raciborskii* e *M. aeruginosa* em temperatura elevada *R. raciborskii* tenha

maior biovolume. b) Durante interações em temperatura elevada haverá o aumento da produção de cianotoxinas por ambas as espécies.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Cepas das Cianobactérias

O experimento foi realizado com duas cepas uma de *Microcystis aeruginosa* (Word Data Center Microorganisms 835) obtida na Universidade de São Carlos e outra de *Raphidiopsis raciborskii* (ITEPA1) que foi obtida da coleção de cultura do Instituto de Tecnologia de Pernambuco. As cepas foram cultivadas em erlemmeyers 250 ml, contendo 200 ml de meio de cultura ASM-1 autoclavado.

### 2.2 Condições de Cultura

Para o experimento duas temperaturas foram testadas (24 °C e 30 °C) sob condições adequadas de nutrientes para manutenção das cepas contidas no meio de cultura ASM-1. Os experimentos foram realizados utilizando monoculturas de *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*, e cultura-mista com a interação das células de ambas as espécies, a fim de testar o efeito competitivo, sobre as condições das diferentes temperaturas.

Os experimentos ocorreram durante 8 dias em triplicatas e incubadas nas mesmas condições de pH ajustado para 8,0 iluminação de (60  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e fotoperíodo de 12 horas no claro e 12 horas. A densidade celular inicial foi de  $4,0 \times 10^6 \mu\text{M}^3 \text{mL}^{-1}$  para cada cepa. Todos os erlemmeyers foram homogeneizados manualmente todos os dias e foram retiradas em dias alternados (0, 2, 4, 6, 8). As alíquotas de 2 ml foram retiradas para quantificar e medir o crescimento celular, biovolume e conteúdo de cianotoxinas.

### 2.3 Coleta de Dados

A quantificação das células de *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*, para determinar a densidade celular foi realizada usando câmara de contagem Brightline Neubauer utilizando o microscópio de luz Zeiss Axioskop 40 (Carl Zeiss, Jena, Alemanha) no Laboratório de Ecologia aquática, Universidade Estadual da Paraíba. Para o cálculo do biovolume foram utilizadas as formas geométricas segundo Hillebrand et al. (1999). As taxas de crescimento ( $\mu/\text{dia}^{-1}$ ) das espécies foram obtidas em ambas temperatura, durante a fase exponencial utilizando a equação “ $\mu = [\ln(Nt) - \ln(Nt_0)] / (t - t_0)$ ”, onde N é o biovolume no tempo final (t) no tempo inicial (t<sub>0</sub>) (WOOD et al., 2005). Os dados foram calculados na forma de média e desvio padrão. As taxas de inibição e estimulação de ambas as cepas foi calculada com a formula (IR%):  $\text{IR}\% = ((N_m - N_c) / N_c) \times 100$ , onde  $N_m$  representa o biovolume das cepas no tratamento com cultura mista e  $N_c$  representa o biovolume no controle. Todos os dados experimentais foram expressos com média  $\pm$  DP.

### 2.4 Análise de Cianotoxinas

Foram colhidas alíquotas de 2,0 ml em tubos de micro centrífuga com conteúdo de toxinas microcistinas e saxitoxinas. As alíquotas foram preservadas antes da análise. As amostras foram submetidas a três ciclos de congelamento e descongelamento. Portanto, para os resultados do conteúdo total de toxinas foi determinada pelo método de ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) e as análises foram realizadas com o auxílio de um leitor de microplacas ASYS A-5301 (ASYS Hitech GmbH, Eugendorf, Áustria). Neste estudo, foi

aplicado o teste de ELISA para detecção e quantificação das toxinas e utilizado o método HPLC e LC-MS (BABICA et al., 2006; BLÁHOVÁ et al., 2009) para correlacionar ( $R = 0.96$ ;  $p < 1.10 \cdot 10^{-10}$ ), os dados obtidos pelos dois métodos.

## 2.5 Análise Estatística

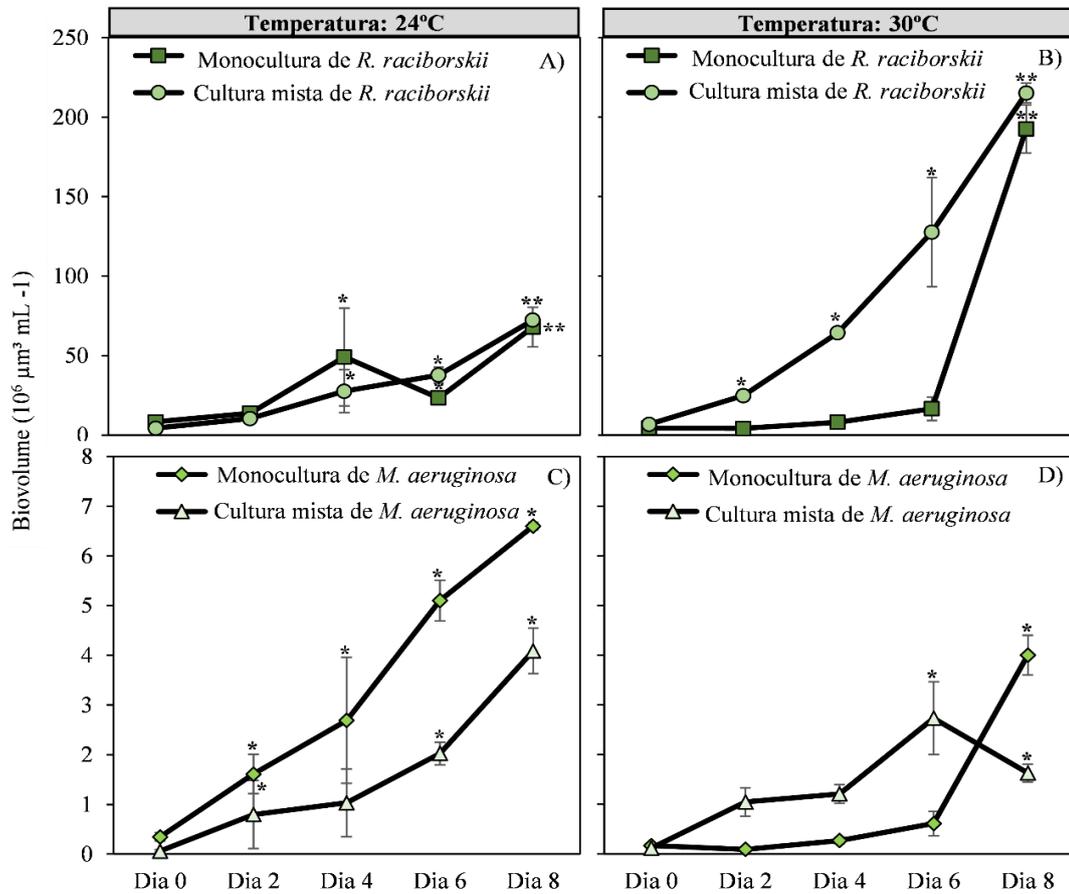
Foi utilizado uma análise de variância do tipo dois fatores (ANOVA axb) para verificar as diferenças significativas das temperaturas, dias e tratamento (interação entre as espécies) sobre o biovolume, volume, taxas de crescimento, taxa de inibição e estímulo. Os dados foram testados para atender a normalidade e homogeneidade das variâncias previstas nos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Após o teste da ANOVA utilizamos o teste Tukey para verificar onde houve diferenças entre as múltiplas médias dos tratamentos. Consideramos o nível de significância de 5%, as análises foram realizadas usando o programa R software para windows (R Core Team 2018).

## 3 RESULTADOS

As interações entre tempo, temperatura e tratamento apresentaram efeitos significativos sobre o biovolume das cepas de *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*. Os resultados mostraram que o maior biovolume de *R. raciborskii* foi em cultura mista, no oitavo dia ( $215,177 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) e em monocultura, no último dia ( $192,614 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) em  $30^\circ\text{C}$ . Em relação a temperatura de  $24^\circ\text{C}$ , os maiores valores de biovolume da cepa *R. raciborskii* ocorreu no oitavo dia de experimento em cultura mista ( $72,382 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) enquanto em monocultura teve valor de ( $67,9677$ ) (Figura 1). Dessa forma, a temperatura mostrou influenciar o biovolume de *R. raciborskii*, promovendo maior biovolume dessa cianobactéria na temperatura  $30^\circ\text{C}$  (Figura 1).

*M. aeruginosa* apresentou maiores biovolume sob a temperatura de  $24^\circ\text{C}$  em monocultura ( $6,59984 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) no oitavo dia de experimento e em cultura mista obteve maior biovolume no oitavo dia ( $4,089575 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ). Por outro lado, o aumento da temperatura ocasionou a redução do biovolume celular da cepa *M. aeruginosa*, sendo o maior biovolume ( $4,002731 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) em monocultura no oitavo dia, e em condição de cultura mista ( $2,734233 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) no sexto dia (Figura 1). Assim, observamos que a temperatura influenciou o biovolume de *M. aeruginosa*, diminuindo o biovolume desta cianobactéria na temperatura  $30^\circ\text{C}$  (Figura 1).

**Figura 1** – Biovolume celular ( $10^6 \mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$ ) de A) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; B) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C; C) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24°C; D) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C. \* = diferença significativa; \*\* = diferença significativa entre os dias e temperaturas, mas não em relação ao tratamento.



**Tabela 1** – Resultados da Anova da exposição de *M. aeruginosa* a diferentes condições de tratamentos e temperaturas.

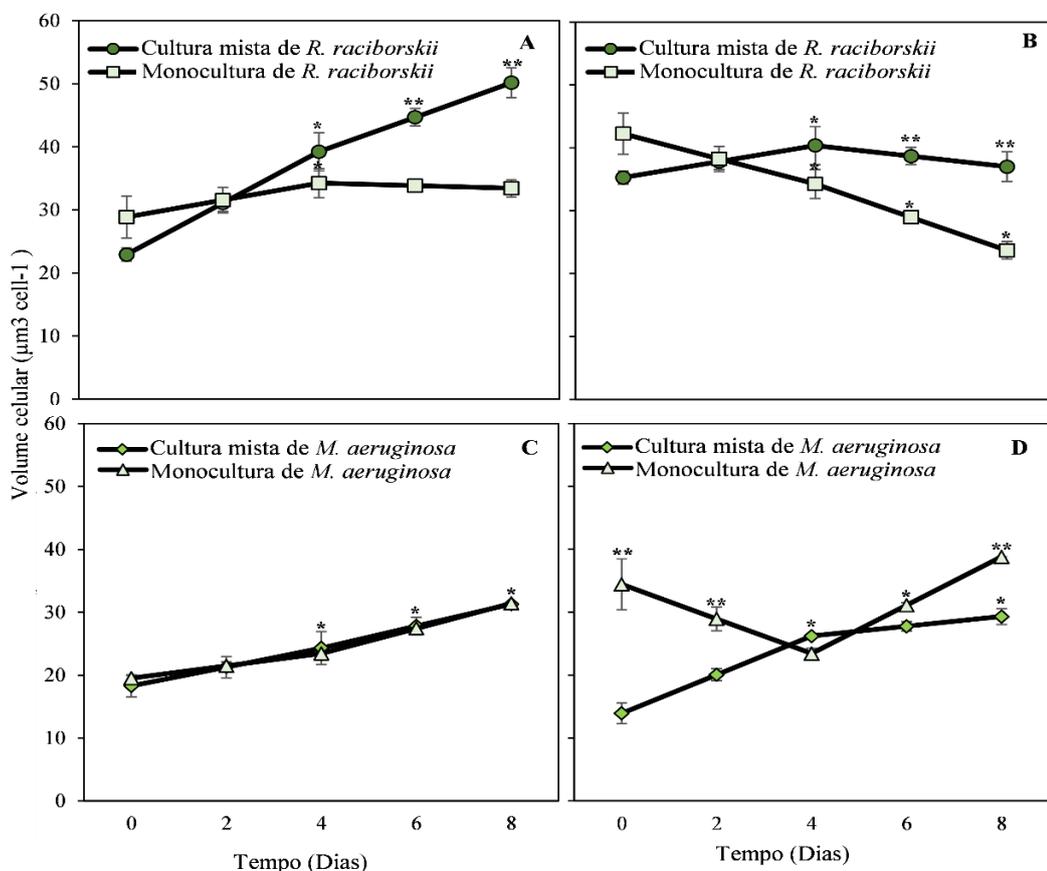
Fatores	<i>Microcystis aeruginosa</i>														
	Biovolume			Volume			Crescimento			Inibição			Saxitoxina		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P	df	F	p	Df	F	P
Temperatura	1	128.29	<0.001	1	53.355	<0.001	1	62.377	<0.001	1	21.9302	<0.001	1	1.275	0.26
Tratamentos	1	37.73	<0.001	1	109.621	<0.001	1	101.963	<0.001	-	-	-	1	496.267	<0.001
Dias	4	158.87	<0.001	4	116.057	<0.001	4	58.310	<0.001	4	5.8291	<0.001	4	46.302	<0.001
Temperatura: Tratamentos	1	81.84	<0.001	1	106.918	<0.001	1	14.122	<0.001	-	-	-	1	2.835	0.10
Temperatura: Dias	4	15.93	<0.001	4	3.711	<0.001	4	14.279	<0.001	4	5.6759	<0.001	4	11.506	<0.001
Tratamentos: Dias	4	16.78	<0.001	4	30.754	<0.001	4	33.832	<0.001	-	-	-	4	47.497	<0.001
Temperatura: Tratamentos: Dias	4	17.77	<0.001	4	21.342	<0.001	4	8.784	<0.001	-	-	-	4	10.634	<0.001

**Tabela 2** – Resultados da Anova da exposição de *R. raciborskii* a diferentes condições de tratamentos e temperaturas.

Fatores	<i>Raphidiopsis raciborskii</i>														
	Biovolume			Volume			Crescimento			Inibição			Saxitoxina		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P	df	F	p	Df	F	P
Temperatura	1	126.496	<0.001	1	0.006	0.93	1	17.1284	<0.001	1	42.3495	<0.001	1	0.3227	0.57
Tratamentos	1	42.560	<0.001	1	15.782	<0.001	1	0.0532	0.81	-	-	-	1	326.0823	<0.001
Dias	4	227.968	<0.001	4	3.008	<0.001	4	11.3759	<0.001	1	6.5752	<0.001	4	119.0032	<0.001
Temperatura: Tratamentos	1	51.428	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	98.5430	<0.001
Temperatura: Dias	4	69.898	<0.001	4	16.090	<0.001	4	1.5387	0.21	1	5.511	<0.001	4	7.6214	<0.001
Tratamentos: Dias	4	12.626	<0.001	4	8.004	<0.001	4	1.6535	0.18	-	-	-	4	15.6228	0.0018
Temperatura: Tratamentos: Dias	4	8.268	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5.1904	0.50

As interações entre os dias, temperatura e tratamentos mostraram influenciar significativamente ( $p < 0.001$ ) o volume celular das cianobactérias (tabela 1 e 2). Maiores volumes celulares foram verificados nos últimos dias de exposição nos tratamentos de cultura mista de *R. raciborskii* na temperatura de 24 °C, enquanto em 30 °C *R. raciborskii* apresentou maiores volumes sobre cultura mista com *M. aeruginosa* com maior valor no quarto dia de experimento (Figura 2). Verificamos que a temperatura influenciou o volume celular da cepa *R. raciborskii*, promovendo diminuição do volume celular desta cepa na temperatura de 30 °C. O volume celular de *M. aeruginosa* não apresentou diferenças significativas entre os dias na temperatura de 24 °C, porém em 30 °C observou-se o aumento volume celular desta cepa em monocultura, enquanto em cultura mista houve aumento nos últimos dias sendo maior no oitavo dia. Diferente de *R. raciborskii*, verificamos que a temperatura elevada (30 °C) influenciou o aumento do volume celular de *M. aeruginosa* (Figura 2).

**Figura 2** – Volume celular ( $\mu\text{m}^3 \text{ cel}^{-1}$ ) de A) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; B) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C; C) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; D) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C. \* = diferença significativa; \*\* = diferença significativa entre os dias e temperaturas, mas não em relação ao tratamento.



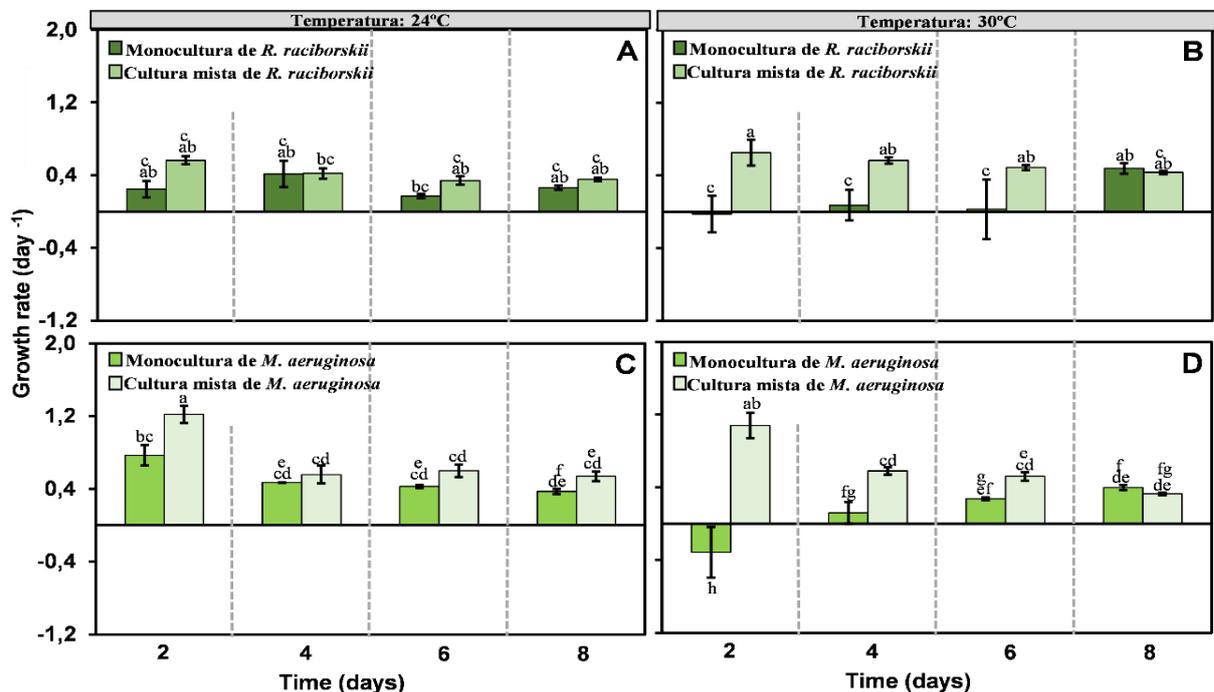
Fonte: Própria autoria (2020).

Os resultados da ANOVA mostraram diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) nas taxas de crescimento das cianobactérias em função dos tratamentos, dias e temperaturas (tabela 2 e 3). As taxas de crescimento das duas cepas aumentaram no decorrer do tempo de experimento. As maiores taxas de crescimento de *R. raciborskii* ocorreram durante o experimento de 30 °C em monocultura ( $0,4765 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) e em cultura mista ( $0,4327 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) no oitavo dia de incubação,

além disso, sob condição de monocultura nesta temperatura observou-se inibição das taxas de crescimento de *R. raciborskii* no segundo dia ( $-0,026 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) (Figura 2). Na temperatura de 24 °C, *R. raciborskii* apresentou menores taxas de crescimento, sendo os maiores valores ocorridos no oitavo dia de experimento para os tratamentos de monocultura ( $0,2604 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) e cultura mista ( $0,3538 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) (Figura 2).

A cepa de *M. aeruginosa*, apresentou maiores taxas de crescimento do que *R. raciborskii*, tanto em 24 °C como em 30 °C nas condições de monocultura e cultura mista. Sob 24 °C *M. aeruginosa*, obteve maiores valores de taxa de crescimento no segundo dia de experimento em cultura mista ( $1,219911 \mu \text{ dia}^{-1}$ ). *M. aeruginosa* reduziu as taxas de crescimento na temperatura de 30 °C, mostrando inibição em monocultura no segundo dia ( $-0,31439 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) (Figura 2). Nesta temperatura de 30 °C os maiores valores foram em monocultura ( $0,397804 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) no oitavo dia e em cultura mista ( $1,07864 \mu \text{ dia}^{-1}$ ) no segundo dia (Figura 2).

**Figura 3** – Taxa de crescimento específico. A) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; B) *R. raciborskii* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C; C) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 24 °C; D) *M. aeruginosa* em monocultura e cultura mista na temperatura de 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente ( $p < 0.05$ ).

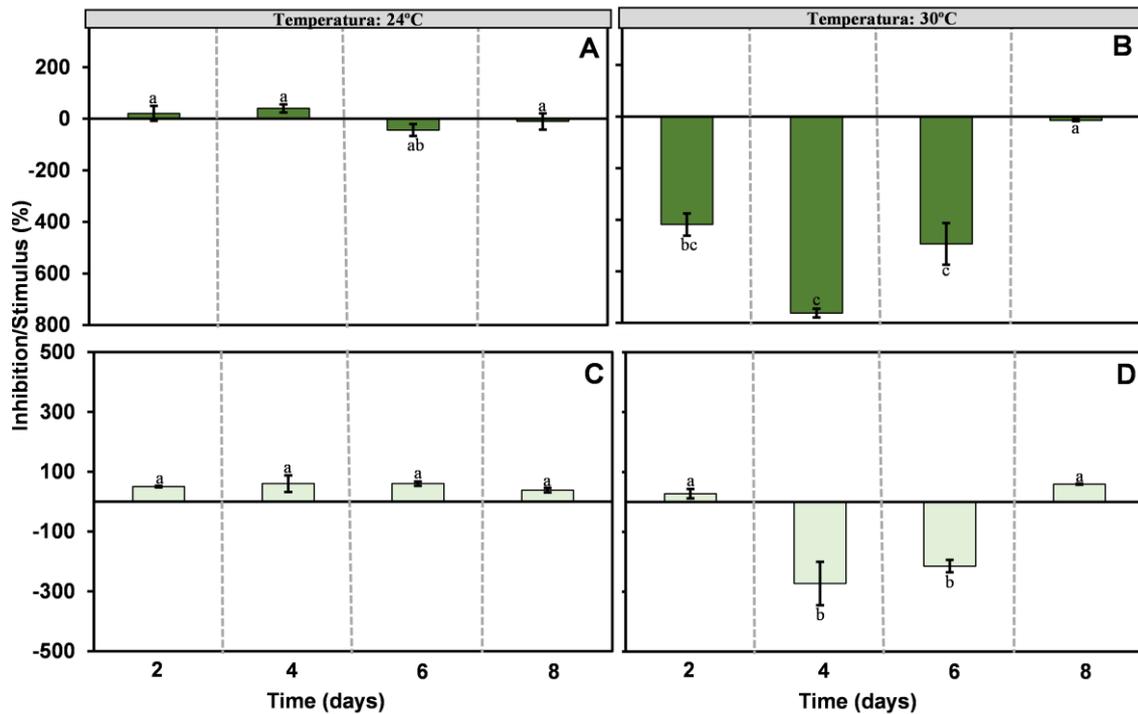


Fonte: Própria autoria (2020).

Com relação as taxas de inibição, observamos que as interações entre temperatura, tratamentos e dias foram significativas ( $p < 0.001$ ) para as taxas de inibição de *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*. A cepa de *R. raciborskii*, obteve maior inibição em cultura mista na temperatura de 24 °C no quarto dia (40,559%) de experimento. Além disso, *R. raciborskii* na temperatura de 30 °C apresentou alta estimulação em seu crescimento, com maior valor no segundo dia ( $-762,341\%$ ). Foi observado que *R. raciborskii* apresentou maiores valores de estimulação em seu crescimento na temperatura de 24 °C e 30 °C em relação a *M. aeruginosa*, que apresentou maior inibição durante o experimento de 24 °C e 30 °C. *M. aeruginosa* apresentou maior

inibição durante todos os dias de experimento na temperatura 24 °C com maior valor no sexto dia (60,02001%). Observamos que em 30 °C *M. aeruginosa* teve seu crescimento inibido no segundo e oitavo dia, e estimulação em seu crescimento no sexto e oitavo dia observado com maior valor (-272,607%) no quarto dia de experimento (Figura 3).

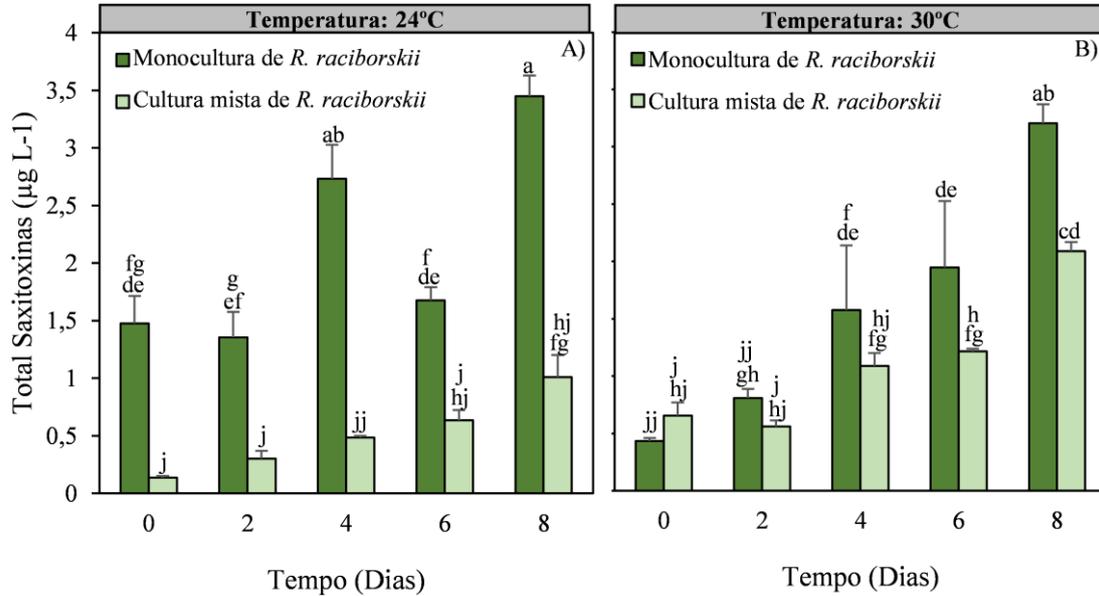
**Figura 4** – Taxa de inibição/estímulo de crescimento. A) Cultura mista de *R. raciborskii* em 24 °C; B) Cultura mista de *R. raciborskii* em 30 °C; C) Cultura mista de *M. aeruginosa* em 24 °C; D) Cultura mista de *M. aeruginosa* em 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente  $p < 0.05$ .



Fonte: Própria autoria (2020).

As interações entre temperatura, tratamentos e dias foram significativas sobre o conteúdo de saxitoxinas (tabela 2 e 3). As maiores concentrações de saxitoxinas ocorreram em monocultura sob 24 °C com maior valor ( $3,45 \mu\text{g L}^{-1}$ ) no oitavo dia, enquanto em cultura mista houve inibição da produção de saxitoxinas em todos os dias. Com o aumento da temperatura observamos que em monocultura ocorreu inibição do conteúdo de saxitoxinas, já durante a interação entre *R. raciborskii* e *M. aeruginosa* a produção de saxitoxinas foi estimulada em 30 °C com maior valor ( $2,09 \mu\text{g L}^{-1}$ ) registrado no oitavo dia (Figura 4).

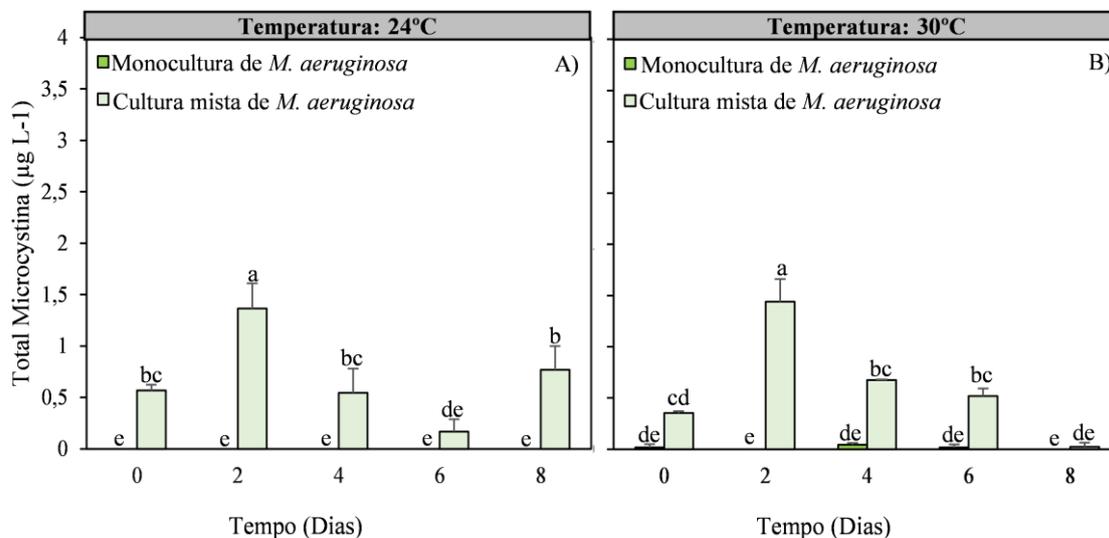
**Figura 5** – Concentração de saxitoxinas ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) por tempo nos tratamentos de monocultura e cultura mista de *R. raciborskii* nas temperaturas de 24 °C e 30 °C. A) Temperatura de 24 °C; B) Temperatura de 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente  $p < 0.05$ .



**Fonte:** Própria autoria (2020).

Nossos resultados mostraram que as interações entre temperaturas, dias e tratamentos mostraram influenciar significativamente as concentrações de microcistinas (Figura 5). As menores concentrações de saxitoxinas ocorrem em monocultura em 24 °C, enquanto as maiores concentrações de microcistinas em 24 °C ocorreram em cultura mista o que indica que a produção de microcistinas foi estimulada com presença de *R. raciborskii*, apresentando maior valor no oitavo dia ( $0,77 \mu\text{g L}^{-1}$ ), no sexto dia houve inibição do conteúdo de microcistina. Com o aumento da temperatura para 30 °C a produção de microcistinas foi estimulada em monocultura. Observou-se, também que em 30 °C a exposição da saxitoxinas causou um maior aumento na estimulação da produção de microcistinas em *M. aeruginosa* com maior valor ( $1,44 \mu\text{g L}^{-1}$ ) no segundo dia, e inibição ( $0,023333 \mu\text{g L}^{-1}$ ) no oitavo dia de experimento (Figura 5).

**Figura 6** – Concentração de microcistina ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) por tempo nos tratamentos de monocultura e cultura mista de *M. aeruginosa* nas temperaturas de 24 °C e 30 °C. A) Temperatura de 24 °C; B) Temperatura de 30 °C. Médias com diferentes letras alfabéticas são diferentes significativamente  $p < 0.05$ .



Fonte: Própria autoria (2020).

#### 4 DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo mostraram que as cepas de *M. aeruginosa* e *R. raciborskii* apresentaram diferenças em seu biovolume, volume celular, taxas de crescimento e de inibição e nas concentrações de cianotoxinas quando foram expostas as diferentes temperaturas. Neste estudo, testamos uma primeira hipótese de que durante interações entre *R. raciborskii* e *M. aeruginosa* em temperatura elevada, a espécie *R. raciborskii* apresentaria maior biovolume.

Nossos resultados corroboraram com esta primeira hipótese, mostrando que durante as interações em cultura mista, *R. raciborskii* exibiu maior biovolume com o aumento da temperatura, sugerindo que a temperatura influenciou a competição favorecendo esta espécie. Em monocultura *R. raciborskii*, apresentou maior biovolume no último dia de incubação sob 24 °C, entretanto, estes valores de biovolume foram menores que os registrados em cultura mista no sexto e oitavo dia em 24 °C. A temperatura elevada aumentou o biovolume celular desta espécie tanto em monocultura como em cultura mista. Nossos resultados foram similares aos encontrados em estudo realizado por Lei et al. (2020), o qual mostrou que elevadas temperaturas promoveram o aumento do biovolume de *R. raciborskii*. Mudanças na temperatura, têm sido estudadas, e mostram que este fator influencia os resultados das interações de competição entre cepas de *M. aeruginosa* e *R. raciborskii* (LEI et al., 2020).

Durante interação entre estas espécies sob condição diferentes temperaturas e intensidades de luz, observou-se que em menor temperatura (20 °C) e maior intensidade de luz *M. aeruginosa* foi favorecida, enquanto na condição de aumento da temperatura (28 °C) tanto em limitação de luz como em alta intensidade *R. raciborskii* obteve maior densidade celular (XIÃO; WILLIS; BURFORD, 2017).

Os maiores biovolume da cepa de *M. aeruginosa* em monocultura ocorreram sob temperatura de 24 °C, sugerindo que *M. aeruginosa* possui uma baixa tolerância a temperaturas elevadas. Isso condiz com estudos que mostraram que o crescimento ótimo desta espécie ocorre em temperaturas de no máximo entre 25 °C a 28 °C (GKELIS et al., 2014; MANTZOUKII et

al., 2016). No entanto, estudos têm sugerido que esta espécie pode ser favorecida por efeitos indiretos do aquecimento global, como condições de estratificação térmica devido a sua capacidade de regular sua flutuabilidade na coluna de água (REYNOLDS; WALSBY, 1975; PAERL; HUISMAN, 2009; LEI; PENG; HAN, 2015).

A exposição de *M. aeruginosa* em cultura mista na temperatura de 30 °C mostrou inibir ainda mais o biovolume desta cepa. Esta condição pode ter beneficiado *R. raciborskii* durante a competição com esta espécie. Verificamos que a cepa *M. aeruginosa* teve seu volume celular aumentado em 30 °C em comparação com os valores registrados em 24 °C. *R. raciborskii* apresentou volumes celulares maiores nos últimos dias em cultura mista sob 24 °C, enquanto o aumento da temperatura levou o aumento no volume celular nos primeiros dias em cultivo misto, e em monocultura foi possível observar diminuição do volume. A redução do volume coincidiu com maior densidade populacional, e este mecanismo de *trade-off* em que observa-se que o aumento da sua densidade e redução do volume pode ocorrer para garantir maior crescimento populacional (XIÃO; WILLIS; BURFORD, 2017). Anteriormente, estudo observou variações no volume celular destas espécies em resposta a temperatura (XIÃO; WILLIS; BURFORD, 2017).

As taxas de crescimento são importantes medidas que indicam o sucesso ecológico das espécies e sua adaptação em diferentes condições ambientais (CARNEIRO et al., 2009), assim como também podem medir a competição entre espécies (THOMAS; LITCHEMAM, 2016).

De acordo com Paerl et al. (2016), fatores ambientais como temperatura, luz e as mudanças nas concentrações de nutrientes influenciam diretamente o metabolismo, taxa de crescimento, e a produção de toxinas. No presente estudo, verificamos taxas de crescimento das cepas de *M. aeruginosa* e *R. raciborskii* foram mais baixas em monocultura em ambas as temperaturas testadas. O aumento das taxas de crescimento de *R. raciborskii* em temperaturas mais elevada na condição de cultura mista, sugere que esta condição pode favorecer *R. raciborskii* durante a competição com *M. aeruginosa*. Estes resultados corroboram com estudos que mostraram que o aumento da temperatura é um fator favorável e influenciador para o crescimento de *R. raciborskii* (SINHA et al., 2012; BRIAND et al., 2014). Isto também pode estar relacionado ao fato de *R. raciborskii* apresentar uma alta tolerância a uma ampla faixa de temperatura com crescimento ótimo entre 19 °C a 32 °C (BRIAND et al., 2014; MESQUITA et al., 2019). As maiores taxas de crescimento específico da cepa *M. aeruginosa* em cultura mista corroboraram com achados do trabalho de Lei et al. (2020), onde foi observado que na temperatura de 24 °C *M. aeruginosa* apresentou maior taxa de crescimento. Além disso, a redução do crescimento de *M. aeruginosa* em monocultura em 30 °C, sugere que esta temperatura não é ideal para o seu crescimento.

A competição entre cepas de cianobactérias pode ocorrer devido à alta produção de biomassa por crescimento mais rápido, tolerância a mudanças ambientais, e por meio de interações alelopáticas, esses fatores favorecem a competição com outros organismos fitoplanctônicos, e podem determinar respostas na inibição ou estimulação do crescimento das espécies (DUNKER; JAKOB; WILHEM, 2013; RZYMSKI et al., 2014; CHIA et al., 2018).

Os resultados das taxas de inibição mostraram que *R. raciborskii* apresentou maior estimulação de seu crescimento com o aumento da temperatura. Enquanto *M. aeruginosa* em 30 °C foi mais fortemente inibida. Os resultados indicam que em temperatura mais elevada *R. raciborskii* mostrou ser uma melhor competidora. A inibição de *M. aeruginosa* possivelmente pode ter sido consequente das substâncias alelopáticas liberadas por *R. raciborskii*. Durante interações entre estas espécies em filtrado de cultura mista os aleloquímicos de uma cepa de *R. raciborskii*, promoveram a inibição do crescimento de *M. aeruginosa* (MELLO et al., 2012).

Da mesma forma, estudo realizado por Antunes, Leão e Vasconcellos (2012) mostrou que em temperatura mais elevada *R. raciborskii* teve aumento do seu biovolume celular, indução da produção de compostos alelopáticos e foi capaz de reduzir das taxas de crescimento

de *M. aeruginosa*. A cepa *M. aeruginosa* em 24 °C apresentou maior inibição, enquanto com o aumento da temperatura seu crescimento foi estimulado. Isto pode estar associado ao fato de cepas de *Microcystis* alta plasticidade e tolerância as mudanças ambientais (LÜRLING et al, 2013; XIÃO; WILLIS; BURFORD, 2017).

O aumento da temperatura consequente do aquecimento global pode estimular a biossíntese das toxinas, promove o aumento das florações tóxicas, afetando o crescimento de organismos aquáticos e compromete a qualidade da água para consumo humano (EL-SHEHAWY et al., 2012; THOMAS; LITCHEMAN, 2016). Cianotoxinas podem causar efeitos alelopáticos tendo como consequências a inibição de processos como a fotossíntese, respiração e o crescimento de outros organismos (REYNOLDS 1997; GRANÉLI; HANSEN, 2007).

As interações entre as cepas de *R. raciborskii* e *M. aeruginosa* em temperatura elevada mostraram aumento da produção das cianotoxinas saxitoxinas e microcistinas, corroborando com a segunda hipótese, a qual propunha que durante interações, em temperatura elevada ocorreria o aumento da produção das cianotoxinas pelas espécies. A espécie *R. raciborskii* teve maior produção de saxitoxinas nas duas temperaturas em relação as concentrações de microcistinas, tendo as maiores concentrações durante o cultivo misto com *M. aeruginosa* em 30 °C. Além disso, maiores concentrações de saxitoxinas em 30 °C coincidiram com aumento do biovolume celular e estímulo de crescimento, sugerindo que o aumento da produção de saxitoxinas foi resultante do aumento do biovolume celular desta espécie. Bittencourt-oliveira et al. (2016), observou que maiores concentrações de saxitoxinas ocorreram em altas taxas de crescimento específico e densidade celular de *R. raciborskii*. Semelhante aos nossos resultados, Rangel et al. (2016) observaram que as concentrações de saxitoxinas aumentaram em temperaturas mais elevadas (32 °C). Concentrações mais baixas de saxitoxinas sob temperatura de 24 °C durante a cultura mista com *M. aeruginosa* podem indicar inibição resultante dos compostos alelopáticos presente no meio, sendo está uma vantagem competitiva de *M. aeruginosa* (BITTENCOURT-OLIVEIRA et al., 2016).

As concentrações de microcistinas aumentaram quando se elevou a temperatura. Um experimento em campo, verificou que o aumento das taxas de crescimento e maiores concentrações de microcistinas estiveram associados com temperaturas mais altas (DAVIS et al., 2009). O aumento das concentrações de microcistinas em cultura mista em elevada temperatura sugere que a saxitoxinas de *R. raciborskii* juntamente com o aumento da temperatura estimulou a produção de microcistinas. Foi relatado que, o aumento da produção de microcistinas em altas taxas de crescimento é uma estratégia de *M. aeruginosa* durante a exposição a saxitoxinas de *R. raciborskii* (BITTENCOURTOLIVEIRA et al., 2016). O aumento da produção de microcistinas por *Microcystis* também foi verificada durante competição com *Anabaena* (CHIA et al., 2018).

Os resultados desse estudo demonstram a importância de monitorar os efeitos das mudanças nas temperaturas sobre as concentrações de cianotoxinas liberadas por *R. raciborskii* e *M. aeruginosa* durante interação. E sugerem que em um cenário futuro de altas temperaturas florações de *R. raciborskii* dominem as florações formadas por *M. aeruginosa*, desta forma, estes resultados ajudam a prever os efeitos do aquecimento global sobre as florações destas espécies tóxicas nos ecossistemas aquáticos, e podem auxiliar na criação de planos de manejos para o controle das florações formadas por estas espécies.

## 5 CONCLUSÃO

Concluimos que mudanças na temperatura podem influenciar a competição entre as espécies *M. aeruginosa* e *R. raciborskii*. Os resultados mostraram que os efeitos da temperatura provocam variações ecofisiológicas no aumento das concentrações de toxinas, mudanças no

biovolume celular, volume celular, taxas de crescimento e taxas de inibição das cepas de *R. raciborskii* e *M. aeruginosa*. *R. raciborskii* mostrou ser uma competidora mais forte, principalmente em alta temperatura. A produção de microcistinas por *M. aeruginosa* foi estimulada na condição de cultura mista em 30 °C, enquanto *R. raciborskii* apresentou elevadas concentrações de saxitoxinas em 24 °C em monocultura, porém os maiores valores foram durante o cultivo misto com *M. aeruginosa* em 30 °C.

Estes resultados são importantes pois indicam que em elevadas temperaturas *R. raciborskii* provavelmente irá dominar *M. aeruginosa*. Além disso, ressaltamos que as interações entre estas espécies em temperaturas elevadas promoveram o aumento das concentrações de microcistinas e saxitoxinas. Estes resultados indicam que são necessários criações de planos de manejo eficientes como controle do aporte de nutrientes nos ecossistemas, a fim de amenizar os efeitos causados pela temperatura sobre as florações tóxicas destas espécies.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. T.; LEÃO, P. N.; VASCONCELOS, V. M. *Cylindrospermopsis raciborskii*: review of the distribution, phylogeography, and ecophysiology of a global invasive species. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 473, 2015.

ANTUNES, J. T.; LEÃO, P. N.; VASCONCELOS, V. M. Influence of biotic and abiotic factors on the allelopathic activity of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* strain LEGE 99043. **Microbial ecology**, v. 64, n. 3, p. 584-592, 2012.

BABICA, P.; KOHOUTEK, J.; BLÁHA, L.; ADAMOVSKÝ, O.; MARŠÁLEK, B. Evaluation of extraction approaches linked to ELISA and HPLC for analyses of microcystin-LR, -RR and -YR in freshwater sediments with different organic material contents. **Analytical and bioanalytical chemistry**, v. 385, n. 8, p. 1545-1551, 2006.

BARBOSA, L. GOMES.; BARBOSA, P. M. M.; BARBOSA, F. A. RODRIGUES. Vertical distribution of phytoplankton functional groups in a tropical shallow lake: driving forces on a diel scale. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 23, n. 1, p. 63-73, 2011.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. D. C.; CHIA, M. A.; CAMARGO-SANTOS, D.; DIAS, C. T. The effect of saxitoxin and non-saxitoxin extracts of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) on cyanobacteria and green microalgae. **Journal of applied phycology**, 28 (1), 241-250, 2016.

BLÁHOVÁ, L.; ORAVEC, M.; MARŠÁLEK, B.; ŠEJNOHOVÁ, L.; ŠIMEK, Z.; BLÁHA, L. The first occurrence of the cyanobacterial alkaloid toxin cylindrospermopsin in the Czech Republic as determined by immunochemical and LC/MS methods. **Toxicon**, v. 53, n. 5, p. 519-524, 2009.

BONILLA, S.; AUBRIOT, L.; SOARES, M. C. S.; GONZÁLEZ-PIANA M.; FABRE A.; HUSZAR V. L.; LÜRLING, M.; ANTONIADES, D.; PADISÁK J.; KRUK C. What drives the distribution of the bloom-forming cyanobacteria *Planktothrix agardhii* and *Cylindrospermopsis raciborskii*? **FEMS Microbiol. Ecol.** 79, 594-607. 2012.

BARBOSA, L. G.; BARBOSA, P. M. M.; BARBOSA, F. A. R. Vertical distribution of phytoplankton functional groups in a tropical shallow lake: riving forces on a diel scale. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 23(1), 63-73, 2011.

BRASIL, J.; ATTAYDE, J. L.; VASCONCELOS, F. R.; DANTAS, D. D. F.; HUZZAR, V. L. M. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. vol. 770, pp. 145-164. **Hydrobiologia**, 2016.

BRIAND, J. F.; LÉBOULANGER, C.; HUMBERT, J. F.; BERNARD, C.; DUFOUR, P. *Cylindrospermopsis Raciborskii* (Cyanobacteria) Invasion At Mid-Latitudes: Selection, Wide Physiological Tolerance, Orglobalwarming? **Journal of Phycology**, 40(2), 231-238. 2004.

BRUTEMARK, A.; ENGSTRÖM-ÖST, J.; VEHMAA, A.; GOROKHOVA, E. Growth, toxicity and oxidative stress of a cultured cyanobacterium (*Dolichospermum sp.*) under different CO<sub>2</sub>/pH and temperature conditions. **Phycological research**, v. 63, n. 1, p. 56-63, 2015.

BURFORD, M. A. CAREY, C. C.; HAMILTON, D. P.; HUISMAN, J.; PAERL, H. W.; WOOD, S. A.; WULFF, A. Perspective: Advancing the research agenda for improving understanding of cyanobacteria in a future of global change. **Harmful Algae**, v. 91, p. 101601, 2020.

BURFORD, M. A.; BEARDALL, J.; WILLIS, A.; ORR, PT; MAGALHÃES, VF.; RANGEL, LM.; NEILAN, BA. Understanding the winning strategies used by the bloom-forming cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. **Harmful Algae**, v. 54, p. 44-53, 2016.

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, n. 5, p. 1394-1407, 2012.

CARMICHAEL, W.; W.; BOYER, G. L. Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes. **Harmful algae**, v. 54, p. 194-212, 2016.

CARNEIRO, R. L.; DOS SANTOS, M. E. V.; PACHECO, A. B. F.; AZEVEDO, S. M. F. D. O. E. Effects of light intensity and light quality on growth and circadian rhythm of saxitoxins production in *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria). **Journal of Plankton research**, v. 31, n. 5, p. 481-488, 2009

CHIA, M. A.; JANKOWIAK, J. G.; KRAMER, B. J.; GOLESKI, J. A.; HUANG, I. S.; ZIMBA, P. V.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; GOBLER, C. J. Succession and toxicity of *Microcystis* and *Anabaena* (*Dolichospermum*) blooms are controlled by nutrient-dependent allelopathic interactions. **Harmful algae**, 74, 67-77. 2018.

DALU, T.; WASSERMAN, R. J. Cyanobacteria dynamics in a small tropical reservoir: Understanding spatio-temporal variability and influence of environmental variables. **Science of the total environment**, v. 643, p. 835-841, 2018.

DAVIS, T. W.; BERRY, D. L.; BOYER, G. L.; GOBLER, C. J. The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms. **Harmful algae**, 8 (5), 715-725. 2009.

DUNKER, S.; JAKOB, T.; WILHELM, C. Contrasting effects of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* on the growth and physiology of two green algae, *Oocystis marsonii* and *Scenedesmus obliquus*, revealed by flow cytometry. **Freshwater Biology**, v.58, p.1587-1587. 2013.

EL-SHEHAWY, R.; GOROKHOVA, E.; FERNANDEZ-PINAS, F.; DEL CAMPO, F. F. Global warming and hepatotoxin production by cyanobacteria: what can we learn from experiments? **Water Research**, 46 (5), 1420-1429. 2012.

GKELIS, S.; PAPADIMITRIOU, T.; ZAOUSOS, N.; LEONARDOS, I. Anthropogenic and climate-induced change favors toxic cyanobacteria blooms: Evidence from monitoring a highly eutrophic, urban Mediterranean lake. **Harmful Algae**, v. 39, p. 322-333, 2014.

GLIBERT, P. M.; BURFORD, M. A. Globally changing nutrient loads and harmful algal blooms: recent advances, new paradigms, and continuing challenges. **Oceanography**, v. 30, n. 1, p. 58-69, 2017.

GRANELI, E.; WEBER, M.; SALOMON, P. S. Harmful algal blooms of allelopathic microalgal species: the role of eutrophication. **Harmful algae**, v. 8, n. 1, p. 94-102, 2008.

HARDY, F. J., JOHNSON, A.; HAMEL, K.; PREECE, E. (2015). Cyanotoxin bioaccumulation in freshwater fish, Washington State, USA. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 11, p. 667, 2015.

HARKE, M. J.; STEFFEN, M. M.; GOBLER, C. J.; OTTEN, T. G.; WILHELM, S. W.; WOOD, S. A.; PAERL, H. W. A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. **Harmful Algae**, v. 54, p. 4-20, 2016.

HILLEBRAND, H.; DÜRSELEN, C.; KIRSCHTEL, D.; POLLIGHER, U.; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. **Journal of Phycology**, 35, 403-424. 1999.

HUISMAN, J.; CODD, G. A.; PAERL, H. W.; IBELINGS, B. W.; VERSPAGEN, J. M.; VISSER, P. M. Cyanobacterial blooms. **Nature Reviews Microbiology**, v. 16, n. 8, p. 471-483, 2018.

IBELINGS, B. W.; GSELL, A. S.; MOOIJ, W. M.; VAN DONK, E.; VAN DEN WYNGAERT, S. I. L. K. E.; DE SENERPONT DOMIS, L. N. Chytrid infections and diatom spring blooms: paradoxical effects of climate warming on fungal epidemics in lakes. **Freshwater Biology**, v. 56, n. 4, p. 754-766, 2011.

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Stocker T et al, IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA.

IPCC, 2014. Climate change 2014: Impact, adaptation and vulnerability. In: Braun, V. (Ed.), Technical Summary report, Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA

JIA, N.; YANG, Y.; YU, G.; WANG, Y.; QIU, P.; LI, H.; LI, R. Interspecific competition reveals *Raphidiopsis raciborskii* as a more successful invader than *Microcystis aeruginosa*. **Harmful Algae**, v. 97, p. 101858, 2020.

KOREIVIENĖ, J.; ANNE, O.; KASPEROVIČIENĖ, J.; BURŠKYTĖ, V. Cyanotoxin management and human health risk mitigation in recreational waters. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 7, p. 4443-4459, 2014.

LEÃO, Pedro. N.; VASCONCELOS, M. T. S. D.; VASCONCELOS, V. M. Allelopathic activity of cyanobacteria on green microalgae at low cell densities. **European Journal of Phycology**, 44 (3), 347-355. 2009.

LEI, L.; DAI, J.; LIN, Q.; PENG, L. Competitive dominance of *Microcystis aeruginosa* against *Raphidiopsis raciborskii* is strain- and temperature-dependent. **Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems**, n. 421, p. 36, 2020.

LEI, L.; LI, C.; PENG, L.; HAN, B. P. Competition between toxic and non-toxic *Microcystis aeruginosa* and its ecological implication. **Ecotoxicology**, 24 (7-8), 1411- 1418. 2015.

LI, W.; XU, X., FUJIBAYASHI, M.; NIU, Q.; TANAKA, N.; NISHIMURA, O. Response of microalgae to elevated CO<sub>2</sub> and temperature: impact of climate change on freshwater ecosystems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 19, p. 19847-19860, 2016.

LÜRLING, M.; ESHETU, F.; FAASSEN, E. J.; KOSTEN, S.; HUSZAR, V. L. Comparison of cyanobacterial and green algal growth rates at different temperatures. **Freshwater Biology**, 58 (3), 552-559. 2013.

MANTZOUKI, E.; VISSER, P. M.; BORMANS, M.; IBELINGS, B. W. Understanding the key ecological traits of cyanobacteria as a basis for their management and control in changing lakes. **Aquatic ecology**, v. 50, n. 3, p. 333-350, 2016.

MESQUITA, M. C.; LÜRLING, M.; DORR, F.; PINTO, E.; MARINHO, M. M. Combined effect of light and temperature on the production of saxitoxins in *Cylindrospermopsis raciborskii* strains. **Toxins**, v. 11, n. 1, p. 38, 2019.

MARINHO, M. M.; SOUZA, M. B. G.; LÜRLING, M. Light and phosphate competição between *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa* is strain dependent. **Microbiology of Aquatic systems**. 2013.

MEHNERT, G.; LEUNERT, F.; CIRÉS, S.; JÖHNK, K. D.; RÜCKER, J.; NIXDORF, B.; WIEDNER, C. Competitiveness of invasive and native cyanobacteria from temperate freshwaters under various light and temperature conditions. **Journal of Plankton Research**, v. 32, n. 7, p. 1009-1021, 2010.

MELLO, M. M. E., SOARES, M. C. S., ROLAND, F.; LÜRLING, M. Growth inhibition and colony formation in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* induced by the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. **Journal of plankton research**, 34 (11), 987-994. 2012.

MIOTTO, M C.; COSTA, L D F.; BRENTANO, D M, NADER, C.; DOS SANTOS SOUZA, L.; GRESSLER, P. D.; RÖRIG, L. R. Ecophysiological characterization and toxin profile of two strains of *Cylindrospermopsis raciborskii* isolated from a subtropical lagoon in Southern Brazil. **Hydrobiologia**, v. 802, n. 1, p. 97-113, 2017.

MOREIRA, C.; FATHALLI, A.; VASCONCELOS, V.; ANTUNES, A. Genetic diversity and structure of the invasive toxic cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. **Current microbiology**, v. 62, n. 5, p. 1590-1595, 2011.

DO NASCIMENTO MOURA, A.; ARAGAO-TAVARES, N. K.; AMORIM, C. A. Cyanobacterial blooms in freshwater bodies from a semiarid region, Northeast Brazil: A review. **J. Limnol**, v. 77, n. 2, p. 179-188, 2018.

O'NEIL, J. M.; DAVIS, T. W.; BURFORD, M. A; GLOBER, C. J. The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. **Harmful Algae**, 14, 313-334. 2012.

PAERL, H. W.; OTTEN, T. G. Timothy G. Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls. **Microbial ecology**, v. 65, n. 4, p. 995-1010, 2013.

PAERL, H. W.; HUISMAN, J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. **Environmental Microbiology**, 27-37. 2009.

PAERL, H. W.; GARDNER, W. S.; HAVENS, K. E.; JOYNER, A. R.; MCCARTHY, M. J.; NEWELL, S. E.; QIN, B.; SCOTT, J. T. Mitigating cyanobacterial harmful algal blooms in aquatic ecosystems impacted by climate change and anthropogenic nutrients. **Harmful Algae**, v. 54, p. 213-222, 2016.

PANOU, M.; ZERVOU, S. K.; KALOUDIS, T.; HISKIA, A.; GKELIS, S. A Greek *Cylindrospermopsis raciborskii* strain: Missing link in tropic invader's phylogeography tale. **Harmful algae**, 80, 96-106. 2018.

RANGEL, L. M.; GER, K. A.; SILVA, L. H.; SOARES, M. C. S.; FAASSEN, E. J.; LÜRLING, M. Toxicity overrides morphology on *Cylindrospermopsis raciborskii* grazing resistance to the calanoid copepod *Eudiaptomus gracilis*. **Microbial ecology**, v. 71, n. 4, p. 835-844, 2016.

REYNOLDS, C. S.; PETERSEN, A. C. The distribution of planktonic Cyanobacteria in Irish lakes in relation to their trophic states. **Hydrobiologia**, v. 424, n. 1-3, p. 91-99, 2000.

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

REYNOLDS, C. S.; WALSBY, A. E. Water-blooms. **Biological reviews**, v. 50, n. 4, p. 437-481, 1975.

REYNOLDS, Colin S. Variability in the provision and function of mucilage in phytoplankton: facultative responses to the environment. **Hydrobiologia**, v. 578, n. 1, p. 37-45, 2007.

RICHARDSON, J., MILLER, C., MABERLY, S. C., TAYLOR, P., GLOBEVNIK, L., HUNTER, P., ... SØNDERGAARD, M. Effects of multiple stressors on cyanobacteria abundance vary with lake type. **Global change biology**, v. 24, n. 11, p. 5044-5055, 2018.

RYAN, C. N.; THOMAS, M. K.; LITCHMAN, E. The effects of phosphorus and temperature on the competitive success of an invasive cyanobacterium. *Aquatic Ecology*, v. 51, n. 3, p. 463-472, 2017.

RZYMSKI, P.; PONIEDZIAŁEK, B.; KOKOCIŃSKI, M.; JURCZAK, T.; LIPSKI, D.; WIKTOROWICZ, K. Interspecific allelopathy in cyanobacteria: *Cylindrospermopsis* and *Cylindrospermopsis raciborskii* effect on the growth and metabolism of *Microcystis aeruginosa*. *Harmful Algae*, 35, 1-8. 2014.

SCHABHÜTTL, S.; HINGSAMER, P.; WEIGELHOFER, G.; HEIN, T.; WEIGERT, A.; STRIEBEL, M. Temperature and species richness effects in phytoplankton communities. **Oecologia**, v. 171, n. 2, p. 527-536, 2013.

SINHA, R.; PEARSON, L. A.; DAVIS, T. W.; BURFORD, M. A.; ORR, P. T.; NEILAN, B. A. Increased incidence of *Cylindrospermopsis raciborskii* in temperate zones—is climate change responsible?. **Water research**, v. 46, n. 5, p. 1408-1419, 2012.

SONG, H.; LAVOIE, M.; FAN, X.; TAN, H.; LIU, G.; XU, P.; QIAN, H. Allelopathic interactions of linoleic acid and nitric oxide increase the competitive ability of *Microcystis aeruginosa*. **The ISME journal**, 11(8), 1865. 2017.

SUKENIK, A.; HADAS, O.; KAPLAN, A.; QUESADA, A. Invasion of Nostocales (cyanobacteria) to subtropical and temperate freshwater lakes—physiological, regional, and global driving forces. **Frontiers in microbiology**, v. 3, p. 86, 2012.

THOMAS, M. K.; LITCHMAN, E. Effects of temperature and nitrogen availability on the growth of invasive and native cyanobacteria. **Hydrobiologia**, 763 (1), 357-369. 2016.

WARD, B. A.; MARAÑÓN, E.; SAUTEREY, B.; RAULT, J.; CLAESSEN, D. The size dependence of phytoplankton growth rates: A trade-off between nutrient uptake and metabolism. **The American Naturalist**, v. 189, n. 2, p. 170-177, 2017.

WEBER, S. J.; MISHRA, D. R.; WILDE, S. B.; KRAMER, E. Risks for cyanobacterial harmful algal blooms due to land management and climate interactions. **Science of The Total Environment**, v. 703, p. 134608, 2020.

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**, 610-611, 786-795. 2018.

WILLIS, A.; ADAMS, M. P.; CHUANG, A. W.; ORR, P. T.; O'BRIEN, K. R.; BURFORD, M. A. Constitutive toxin production under various nitrogen and phosphorus regimes of three ecotypes of *Cylindrospermopsis raciborskii* ((Wołoszyńska) Seenayya et Subba Raju). **Harmful Algae**, v. 47, p. 27-34, 2015.

WOOD, A. M.; EVERROAD, R. C.; WINGARD, L. M. Measuring growth rates in microalgal cultures. In R.A. ANDERSEN, ed. Algal culturing techniques. Singapore: **Academic Press/Phycological Society of America**, 5, 269-285. 2005.

Wu, W. J.; Li, G. B.; Li, D. H.; Liu, Y. D. Temperature may be the dominating factor on the alternant succession of *Aphanizomenon flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa* in Dianchi Lake. **Fresenius Environ Bull**, v. 19, n. 5, p. 846-853, 2010.

XIAO, M.; WILLIS, A.; BURFORD, M. Differences in cyanobacterial strain responses to light and temperature reflect species plasticity. **Harmful algae**, 62, 84-93. 2017.

XIAO, M.; LI, M; REYNOLDS, C. S. Colony formation in the cyanobacterium *Microcystis*. **Biological Reviews**, v. 93, n. 3, p. 1399-1420, 2018.

YANG, J. R.; LV, H.; ISABWE, A.; LIU, L.; YU, X.; CHEN, H.; YANG, J. Disturbance-induced phytoplankton regime shifts and recovery of cyanobacteria dominance in two subtropical reservoirs. **Water research**, v. 120, p. 52-63, 2017.

YANG, J.; DENG, X.; XIAN, Q.; QIAN, X.; Li, A. Allelopathic effect of *Microcystis aeruginosa* on *Microcystis wesenbergii*: microcystin-LR as a potential allelochemical. **Hydrobiologia**, v. 727, n. 1, p. 65-73, 2014.

YANG, Y.; CHEN, Y.; CAI, F.; LIU, X.; WANG, Y.; LI, R. Toxicity-associated changes in the invasive cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* in response to nitrogen fluctuations. **Environmental Pollution**, v. 237, p. 1041-1049, 2018.

## AGRADECIMENTOS

Desde pequena, sonhava em me formar e conseguir uma condição de vida melhor, porém, não imaginava que isso seria possível um dia, pois, o meu caminho foi longo e árduo. Muitos momentos de sacrifícios e dificuldades, desde meu tempo de escola precisei trabalhar para ajudar os meus familiares e foi muita luta para conciliar escola e trabalho e para não perder o ano letivo, momentos de desânimo e de não acreditar que eu era capaz, situações de ansiedade e medo. Nestes momentos, precisei me apegar em orações para que Deus não me deixasse perder a fé. Agradeço à Deus, por a sua infinita misericórdia em minha vida, e, por não ter permitido que eu não desistisse, protegeu-me como a menina dos teus olhos. À Nossa Senhora, por sempre interceder por mim e pelo seu cuidado e amor. À minha querida Santa Teresinha do Menino Jesus, tenho muito a lhe agradecer, pela dedicação e contribuição em minha caminhada da universidade e na vida, por ter ajudado a manter a calma e esperar pela providência divina, mostrando-me que tudo passa.

Agradeço à toda minha família. Minha eterna gratidão aos meus Avós, Iraci Maria e José Soares (*in memoriam*), por todo amor e carinho, pela dedicação e por ter batalhado tanto para criar eu e meus irmãos até os últimos instantes de suas vidas. Com todo amor incondicional pela minha Avó, Iraci (*in memoriam*), que foi como uma mãe, obrigada por não ter desistido de mim, por ter me educado de uma forma tão humilde, porém, muito digna, e, se hoje valorizo às coisas mais simples da vida, isso é devido ao seu testemunho, eu queria muito partilhar essa etapa da minha vida com a Senhora, lembro todos os dias de ti e em cada missa. Esta monografia é a prova de que toda a sua dedicação valeu a pena. Na jornada do meu curso e da vida, eu chorei muito lembrando que seria mais fácil se você estivesse comigo, contudo, Deus achou melhor você interceder por mim no céu. Lembro que, quando você partiu, minutos antes conversou comigo e falou que acreditava em mim e como eu deveria seguir em frente, mesmo eu sendo tão incapaz no momento, por isso, eu busco ser uma pessoa melhor a cada dia fazendo tudo conforme a Senhora me ensinou. Mas uma vez, agradeço por ter confiado na sua neta, meu anjo e eterno amor.

Aos meus pais, Maria do Socorro e Antônio Queiroz, que são exemplos de honestidade, que me ensinaram valores importantes para toda a vida. Pai, obrigada por ter me incentivado a estudar. Amo vocês! Também agradeço aos meus irmãos que amo incondicionalmente, Alexandro Medeiros (*in memoriam*), Natiana Medeiros, Daiane Medeiros, Ylaine Medeiros, Adriano Medeiros e Natiele Medeiros, que lutaram ao meu lado para que esse sonho fosse realizado, nossa união foi maior do que todas as dificuldades que passamos. Ao meu querido

irmão Adriano, por ter ensinado tanto, pela ajuda nos trabalhos e nas edições, obrigada por estar comigo sempre e por suportar meus estresses.

Devo especial gratidão à minha irmã pequena (Natiele Medeiros), o melhor presente de Deus em minha vida, que desde quando nasceu, é a alegria da casa, obrigada por cuidar de mim, por escutar às minhas angústias e preocupações, pelos conselhos e por ficar feliz com minhas conquistas. Ao meu sobrinho, Bruno Henrique, meu amor.

Aos meus irmãos paternos (Pamela Queiroz, Lidiane Queiroz, Natalia Queiroz, Adson Queiroz e Alexandre Queiroz) e sobrinhos, tivemos pouco tempo juntos, mas saibam que todos vocês estão em meu coração.

Agradeço a Maria José (*in memoriam*) e Antônio José (*in memoriam*), por me motivar a estudar e por todo apoio. Ao meu padrinho, Josemar, e madrinha, Edilma Araújo, pelo carinho e por ficarem felizes com minhas vitórias. A minha querida amiga, Vanderlea Batista, que é como uma irmã para mim, por compartilhar todos os momentos comigo, o que tornou a sua amizade muito valiosa, obrigada por estender a mão quando eu precisei na universidade e na vida, obrigada pelos conselhos e por sempre acreditar que vou realizar todos os meus sonhos. Serei eternamente grata, Amo você. Ao meu amigo, Ovídio Netto, conheci você no tempo de cursinho e desde então é uma das pessoas que me faz desejar a buscar às coisas do alto, ademais, obrigado por vibrar por minhas conquistas.

A todos os meus amigos, que trabalharam comigo e que sempre me ajudaram a seguir com os estudos e, principalmente, a Maria Aparecida, por todo apoio e carinho. A Mércia, sua amizade é um presente de Deus, obrigado pelo carinho e por sua família sempre me acolher tão bem em sua casa no sítio, que representa algo que eu tanto amo, a natureza. A todos os meus amigos da igreja, que sempre estão comigo rezando para que Deus abençoe os meus caminhos. A Joedna Pimentel, por sua amizade e por sempre estar comigo, pela torcida pela minha felicidade e conclusão de curso. Aos Padres pela direção espiritual em meus estudos e na vida também. Em especial, a minha Acompanhadora Vocacional, Jéssica Daiana de Sá, que sempre quando preciso, me dá os melhores conselhos, sempre falando do amor de Deus, reforçando que eu vou conseguir e para ter calma, que tudo já deu certo.

A todos os meus colegas da turma pelo tempo que passamos juntos e por todo aprendizado. Em especial, a Gabriely Raissa, Amanda Rodrigues, Victoria Andrade, Rayane Costa e Gisnalyne Santos, meninas que eu agradeço pela ajuda em sala de aula e por vivenciar todos perrengues e até pelos desentendimentos, vencemos todas as dificuldades e limitações ao longo do curso, obrigada pela amizade que construímos. A Mikaela Clotilde, pelos ensinamentos durante os momentos que passei no laboratório de herpetologia e pela ajuda no

projeto da disciplina de Ecologia de Populações. A Professora Graças Sobreira, por sua dedicação e ensinamentos, pelas valiosas palavras que me fizeram sonhar com um futuro melhor. A Gislayne Kerlink, por ter ajudado no meu experimento, foi muito bom conhecê-la.

Aos integrantes do laboratório de Ecologia Áquatica (Leaq), agradeço a convivência diária, pelos momentos de partilhas tão alegres e por toda ajuda e aprendizado. Gostaria de ressaltar meus agradecimentos a Dayany Aguiar, por fazer meus dias tão felizes, pelo incentivo aos estudos e pelo apoio e conselhos. A Vanessa Virgínia, pelos ensinamentos no cultivo, por sanar todas às minhas dúvidas, pelas fotos que você tirou do experimento no período de pandemia, e por sua amizade que é tão especial em minha vida, agradeço, principalmente, por tantas palavras valiosas e por não ter me deixado desistir. A minha querida Morgana Monteiro, que me ajudou tirando tantas dúvidas e por sempre estar ao meu lado, pelas palavras de motivação, por ser tão meiga e humilde, saiba que você é a minha Girafa. A Gustavo Correia, te admiro demais e obrigada pelas orientações e por toda a paciência. A Camila Mendes, pelos puxões de orelha, por até mesmo deixar de lado tudo o que estava fazendo para me ajudar e por ensinar tanto. A Danielly Lucena, por toda ajuda, pelas caronas, agradeço-lhe por sua contribuição e ensinamentos no laboratório. Ao meu amigo, Klisman Dantas, por todo suporte na universidade, por ser verdadeiro, por ser um grande incentivador nos meus estudos sempre falando que acredita no meu potencial. Em especial, a Manuela Cardoso, pelos ensinamentos, por sua amizade, que, apesar de ser tão calada, é uma doçura de menina. Ao meu parceiro de cultivo, Vitor Melo, por toda a sua ajuda e pelas trocas de conhecimentos. Elizabeth Amorim, obrigada pelos conselhos e por ser tão carismática.

A minha coorientadora e amiga, Ranielle Daiana, te agradeço do fundo do meu coração pela dedicação. Você falou que judaria em minha formação e isso aconteceu, obrigado por responder minhas mensagens independente do horário, também pela ajuda no cultivo, nas estatísticas, no experimento, na melhora da escrita, pelas cobranças e por pegar tanto no meu pé, me fazendo evoluir constantemente. Sua dedicação em ensinar e toda atenção foram essenciais para que este trabalho fosse concluído. Aprendi muito com você durante o seu experimento, que se prolongava finais de semana, feriados e até o Natal, porém, Santa Teresinha estava conosco em todos os momentos. Seus conhecimentos fizeram grande diferença no resultado deste trabalho. Obrigada por tudo!

Ao meu orientador, Prof. José Etham de Lucena Barbosa, que admiro muito por ser tão alegre e humilde. Obrigada pela oportunidade de estágio no laboratório e por ter disponibilizado uma bolsa que foi essencial para à continuidade dos meus estudos na universidade, que, conseqüentemente, proporcionou ferramentas que tornaram possíveis às publicações de

trabalhos juntos a todos do Leaq. Sua participação na minha trajetória foi fundamental, pois despertou em mim o amor pela Ecologia, particularmente, pela limnologia, depois de procurar e tentar me encontrar em alguns laboratórios, logo meu desejo era trabalhar com girafas, porém hoje posso dizer que, sou muito realizada na minha área e apaixonada pelas cianobactérias. Serei eternamente grata por tudo.

Agradeço à Juliana Santos por todos os conhecimentos passados, pelas críticas e conselhos que me fizeram crescer tanto e desejar estudar ainda mais. Sua história de vida e seu caminho percorrido de muita luta para se tornar uma grande pesquisadora, tão inteligente e profissional me impulsiona para nunca desistir e saber que posso ir além das minhas limitações. Obrigado também pela ajuda com a bolsa, por me levar nos congressos e prestigiar minhas apresentações. Aprendi muito com você e sei que preciso aprender muito ainda. Sou muito grata a você por ter feito tanto para que eu pudesse chegar até aqui, é uma honra tê-la avaliando meu trabalho. A Prof<sup>a</sup> Josseline Molozzi, por ter aceitado participar da minha banca, é uma honra sabendo de suas grandes contribuições.

Aos técnicos de laboratório, Adriano Cordeiro e Climélia da Nobrega, por toda ajuda. A Dona Mari e Edilma, pela dedicação e cuidado e por nossas conversas. Por fim, agradeço a todos os professores do Curso de Bacharelado em Ciência Biológicas da UEPB, por todo conhecimento adquirido e que contribuíram para minha formação. Ao PAQTCPB/UEPB/CAGEPA, pela concessão da bolsa.