



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I- CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

IARA DA ROCHA MONTEIRO

***Raphidiopsis Raciborskii* (Woloszyńska): VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS E A
RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA EM
RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

CAMPINA GRANDE

2022

IARA DA ROCHA MONTEIRO

***Raphidiopsis Raciborskii* (Woloszyńska): VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS E A
RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA EM
RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

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

Área de concentração: Ecologia

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

Coorientador: Dra. Camila Ferreira Mendes.

CAMPINA GRANDE

2022

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.

M772r Monteiro, Iara da Rocha.
Raphidiopsis Raciborskii (Wołoszyńska) [manuscrito] :
variações morfológicas e a relação com as características
físicas e químicas da água em reservatórios semiárido / Iara
da Rocha Monteiro. - 2022.
35 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências Biológicas e da Saúde, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa ,
Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."

"Coorientação: Profa. Dra. Camila Ferreira Mendes ,
Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."

1. Cianobactérias . 2. Qualidade da água. 3. Ecossistema
aquático . I. Título

21. ed. CDD 628.1

IARA DA ROCHA MONTEIRO

***Raphidiopsis Raciborskii* (Woloszyńska): VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS E A
RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA EM
RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

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

Área de concentração: Ecologia

Aprovada em: 07/04/2022.

BANCA EXAMINADORA

José Etham de Lucena Barbosa

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

Ranielle Daiana dos Santos Silva

Me. Ranielle Daiana Santos Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Joseline Molozzi

Profa. Dra. Joseline Molozzi
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Ao meu pai, minha mãe e a Mônica Costa (in memoriam) pela dedicação, companheirismo e apoio, DEDICO.

“A sobrevivência de um organismo depende da sobrevivência de um outro.” Charles Darwin

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização geográfica e representação dos locais de amostragem nos reservatórios 1- Acauã e 2 – Boqueirão no estado da Paraíba, Brasil.....	12
Figura 2 - Gráficos de precipitação(—)e volume (●) dos meses de janeiro de 2015 a dezembro de 2018, A) Reservatório Acauã, B) Reservatório Boqueirão.....	15
Figura 3 - Variáveis físicas do reservatório Acauã Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018.....	17
Figura 4 - Variáveis químicas do reservatório Acauã Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018.....	18
Figura 5 - Variáveis físicas do reservatório Boqueirão Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018.....	20
Figura 6 - Variáveis químicas do reservatório Boqueirão Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018.....	21
Figura 7 - Biomassa de <i>Raphidiopsis raciborskii</i> do reservatório Acauã, Paraíba Brasil.	22
Figura 8 - Biomassa de <i>Raphidiopsis raciborskii</i> do reservatório Boqueirão, Paraíba Brasil.	23
Figura 9 - PCA das Variáveis físicas e químicas e de <i>Raphidiopsis raciborskii</i> , os círculos se referem aos meses dos anos de 2015 a 2018. A – Acauã, B- Boqueirão, Paraíba, Brasil.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Município, latitude, longitude, área, capacidade e profundidade máxima dos reservatórios Acauã e Boqueirão, Paraíba Brasil.	13
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA.....	12
2.1. Área de Estudo.....	12
2.2 Amostragem	14
2.3 Variáveis climáticas, físicas e químicas	14
2.4 Fitoplâncton	14
2.5 Análises estatísticas	14
3 RESULTADOS	15
4 DISCUSSÃO	25
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS	28

***Raphidiopsis Raciborskii* (Woloszyńska): VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS E A RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

***Raphidiopsis Raciborskii* (Woloszyńska): MORPHOLOGICAL VARIATIONS AND THE RELATIONSHIP WITH PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WATER IN SEMI-ARID RESERVOIRS**

Iara da Rocha Monteiro*

RESUMO

A cianobactéria *Raphidiopsis raciborskii* é considerada uma espécie invasora, com uma versatilidade ecofisiológica que vai além da ampla tolerância térmica, o que têm permitido o sucesso desta espécie em colonizar ambientes aquáticos. O objetivo deste estudo foi avaliar as adaptações morfológicas de *R. raciborskii* e a relação com as variáveis ambientais em reservatórios da região semiárida. O estudo foi realizado nos reservatórios Acauã e Boqueirão localizados no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil. Foram realizadas coletas entre os meses de Julho de 2015 e Dezembro de 2018, totalizando 11 amostragens. Foram medidos dados de temperatura da água, pH, condutividade elétrica, turbidez e oxigênio dissolvido através de sonda portátil multiparamétrica (Horiba). A transparência da água foi determinada através do disco de Secchi. As concentrações de amônia, nitrito, nitrato, fósforo total e fósforo solúvel reativo, foram determinadas de acordo com as metodologias padronizadas. A contagem para determinação da densidade de *R. raciborskii*, os heterócitos e acinetos (indmL⁻¹) foi realizada pelo método de sedimentação. Para verificar a relação entre as variáveis físicas, químicas e biomassa da espécie *R. raciborskii* e as diferentes adaptações entre os meses, em cada reservatório foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA). Tanto o reservatório Acauã quanto o reservatório Boqueirão apresentou diferenças significativas para as variáveis temperatura da água, pH, sólidos totais dissolvidos e salinidade. O reservatório Acauã apresentou elevada biomassa de *Raphidiopsis raciborskii* reto, sendo registrado nos meses de Outubro de 2016 (38 mm³ L⁻¹) e Fevereiro de 2017 (40 mm³ L⁻¹). O morfotipo curvado apresentou o maior registro em Dezembro de 2015, maior que 0.2 mm³ L⁻¹. A biomassa de heterócitos aumentou significativamente ao longo dos meses, até Outubro de 2017 (0,7 mm³ L⁻¹), onde foi registrada a maior biomassa. Já o reservatório Boqueirão apresentou dentre os meses amostrais uma elevada biomassa de *R. raciborskii* no mês de dezembro de 2018, biomassa em torno de 8 mm³ L⁻¹ do morfotipo reto. Para o morfotipo curvado maior biomassa foi registrada no mês de julho de 2015 sendo um pouco maior que 0,3 mm³ L⁻¹. A biomassa de heterócito não mostrou um aumento significativo, mas houve uma variação no mês de fevereiro de 2016 (0,48064 mm³ L⁻¹). Foi verificada baixa biomassa de acinetos em ambos os reservatórios estudados. Os resultados mostraram que os reservatórios Acauã e Boqueirão apresentaram a presença da espécie *R. raciborskii*, principalmente do morfotipo reto, ao longo do período estudado, e que Acauã apresentou maior biomassa quando comparado com Boqueirão. Ao contrário do esperado, tanto o morfotipo curvado, como heterócitos e acinetos não apresentaram elevadas biomassas, mesmo com as mudanças causadas nos reservatórios em consequência da redução do volume hídrico, em especial o aumento nas concentrações de nutrientes. Esses resultados são importantes, pois demonstram como *R. raciborskii* utiliza suas estratégias para formar florações e como se

*Aluna de Graduação em Ciências biológicas na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, campus I.
E-mail: iara.rocha230@gmail.com

comporta diante das mudanças físicas e químicas da água. Assim indicam que são necessários criações de planos de manejos eficientes, como controle do aporte de nutrientes nos ecossistemas e para o controle das florações formadas por esta espécie.

Palavras-chave: Cianobactéria. Invasora. Estratégias. Florações.

ABSTRACT

The cyanobacterium *Raphidiopsis raciborskii* is considered an invasive species, with an ecophysiological versatility that goes beyond broad thermal tolerance, which has allowed this species to successfully colonize aquatic environments. The objective of this study was to evaluate the morphological adaptations of *R. raciborskii* and the relationship with environmental variables in reservoirs in the semiarid region. The study was carried out in the Acauã and Boqueirão reservoirs located in the state of Paraíba, Northeast region of Brazil. Collections were carried out between the months of July 2015 and December 2018, totaling 11 samples. Water temperature, pH, electrical conductivity, turbidity and dissolved oxygen data were measured using a portable multiparametric probe (Horiba). Water transparency was determined using the Secchi disk. The concentrations of ammonia, nitrite, nitrate, total phosphorus and reactive soluble phosphorus were determined according to standardized methodologies. The count to determine the density of *R. raciborskii*, the heterocytes and akinets (indmL⁻¹) was performed by the sedimentation method. To verify the relationship between the physical, chemical and biomass variables of the species *R. raciborskii* and the different adaptations between months, Principal Component Analysis (PCA) was performed in each reservoir. Both the reservoir and the O Boqueirão reservoir showed significant differences for the variables of temperature, pH, water and salinity and water and salinity. The Acauã reservoir presented biomass of *R. raciborskii* recto, being recorded in the months of October 2016 (38 mm³ L⁻¹) and February 2017 (40 mm³ L⁻¹). The curved morphotype presented the highest record in December 2015, greater than 0.2 mm³ L⁻¹. Heterocyte biomass increased significantly over the months, until October 2017 (0.7 mm³ L⁻¹), where the highest biomass was recorded. On the other hand, the Boqueirão de December reservoir showed a higher biomass of *R. raciborskii* in the month of 2018, biomass around 8 mm³ L⁻¹ of the straight morphotype. For the curved morphotype, the highest biomass was recorded in July 2015, being slightly higher than 0.3 mm³ L⁻¹. The increase biomass did not show a significant increase, but there was a 2-month reduction in the month of February for herocyte 016 (0.48064 mm³ L⁻¹). Low acinet biomass was observed in both reservoirs studied. The results showed that the Acauã and Boqueirão reservoirs presented the presence of the species *R. raciborskii*, mainly of the straight morphotype, throughout the studied period, and that Acauã presented higher biomass when compared to Boqueirão. Contrary to expectations, both the curved morphotype, heterocytes and akinets did not show high biomasses, even with the changes caused in the reservoirs as a result of the reduction in water volume, especially the increase in nutrient concentrations. These results are important, as they demonstrate how *R. raciborskii* uses its strategies to form blooms and how it behaves in the face of physical and chemical changes in water. Thus, they indicate that it is necessary to create efficient management plans, such as controlling the supply of nutrients in ecosystems and for controlling the blooms formed by this species.

Keywords: Cyanobacteria. Invasive. Strategies. Blooms.

1 INTRODUÇÃO

A cianobactéria *Raphidiopsis raciborskii* (Wołoszyńska), anteriormente conhecida como *Cylindrospermopsis raciborskii* Seenayya & Subba Raju, é uma espécie de água doce, que foi primeiramente descrita com o nome de *Anabaena raciborskii* Wołoszyńska (Wołoszyńska, 1912). Nas últimas décadas tem sido encontrada em ecossistemas aquáticos tanto de regiões temperadas como de regiões tropicais, sendo considerada uma espécie invasora (Antunes et al., 2015; Aguilera et al. 2018), com uma versatilidade ecofisiológica que vai além da ampla tolerância térmica (Tonetta et al. 2015), o que têm permitido o sucesso desta espécie em colonizar ambientes aquáticos com distintas características. (Antunes et al., 2015).

Muitas características são determinantes para o sucesso de *R. raciborskii*, como fluutuabilidade, fixação-N₂ (Burford et al., 2006), tolerância à luz baixa (Padisák, 1997), alta afinidade para a absorção de amônia, resistência ao pastejo, tolerância a uma ampla faixa de temperatura (Briand et al., 2004), capacidade de absorção e armazenamento de fósforo (Isvánovics et al., 2000). A capacidade de fixar nitrogênio ocorre em células especializadas chamadas heterócitos, que geralmente aumenta a aptidão das cianobactérias sob déficit de nitrogênio (de Tezanos Pinto e Litchman, 2010). Os heterócitos diferenciam-se de uma célula vegetativa após sofrer mudanças morfológicas e fisiológicas (Komárek, 2013). Na espécie *R. raciborskii*, diferenciam-se heterócitos apenas em uma região terminal, assim, podem ocorrer no máximo dois heterócitos por filamento, um em cada extremidade (Komárek, 2013). Acinetos são outro tipo de célula especializada presente nas populações dessa espécie, que permanece em período de latência por longos períodos, geralmente nos sedimentos (Wood et al., 2008), garantindo o reaparecimento da espécie quando as condições do ambiente retornam a ser favoráveis.

Raphidiopsis raciborskii tem potencial para produzir compostos nocivos, como cilindrospermopsina (CYN), saxitoxina (STX) e polimetoxi-1-alcenos, atraindo uma preocupação ambiental e de saúde pública (Merel et al., 2013, Jaja-Chimedza et al., 2015). Em mamíferos, o envenenamento por cilindrospermopsina causa danos ao fígado, rins, timo e coração (Terao et al., 1994; Wiegand e Pflugmacher, 2005). Registros de ocorrências de saxitoxinas em água doce são registradas por causarem mortes de animais por meio de bioacumulação (Westrick et al., 2010), sendo esta toxina um bloqueador altamente potente dos canais de sódio e cálcio controlados por voltagem, bem como dos canais de potássio no

coração (Su et al., 2004). Logo, essa espécie de cianobactéria é considerada um risco potencial à saúde de consumidores e usuários de água (Silva, 2019).

A proliferação de *R. raciborskii* pode impactar severamente a qualidade da água (Brooks et al., 2016, Brooks et al., 2017), influenciados pela eutrofização, mudanças climáticas, modificações de bacias hidrográficas, a seca e outros fatores (Brooks et al., 2016), de modo que essas florações em águas interiores parecem estar aumentando em magnitude, frequência e duração (Paerl et al., 2011, Paerl et al., 2020). No caso de regiões semiáridas os curtos períodos de precipitação e secas frequentes, elevadas temperaturas, salinidade e nutrientes (Rocha Junior et al, 2018), bem como o tempo de residência da água, possibilitando condições favoráveis ao desenvolvimento de cianobactérias, destacando-se como dominante a espécie *R. raciborskii* (Brasil et al., 2016; Moura et al., 2018).

A germinação de acinetos requer uma temperatura mínima da água de 15 ° C (Rücker et al. 2009), isso é crucial para o florescimento desta espécie em áreas subtropicais e temperadas. Logo, áreas tropicais fornecem condições favoráveis para desenvolvimento de estratégias de crescimento e florescimento de *R. raciborskii*. O aumento da temperatura associado às mudanças climáticas é considerado um gatilho chave para a expansão espacial de *R. raciborskii* (Sinha et al. 2012), e suas florações foram normalmente encontradas em temperaturas de água acima de 25 ° C. Assim, *R. raciborskii* encontra nas águas semiáridas condições ótimas para o desenvolvimento de seus acinetos e aumento de sua dominância (Recknagel et al. 2014).

R. raciborskii tem uma plasticidade morfológica variada, apresentando três formas: filamentos retos, enrolados e sigmóides (Azevedo; Sant'anna, 2006). Em um reservatório tropical raso e eutrófico Bittencourt-Oliveira et al. (2011) descobriram que o morfotipo enrolado tende a buscar estratos com baixa luminosidade associada a altas temperaturas. No corpo d'água em questão, a desestratificação térmica favoreceu um aumento nas populações de ambos os morfotipos por proporcionar condições mais favoráveis para o crescimento (Saker et al., 1999).

No entanto, ainda existem questionamentos com relação as estratégias de crescimento e florescimento usadas por *R. raciborskii* nos reservatórios do semiárido. Assim, esse estudo é importante para compreensão da influência das variáveis ambientais sob as florações dessa espécie de cianobactéria e suas estratégias utilizadas em ambientes aquáticos, bem como auxiliar na prevenção e criação de planos de manejos eficientes. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as adaptações morfológicas de *R. raciborskii* e a relação com as variáveis ambientais em reservatórios da região semiárida. As seguintes hipóteses foram testadas: (1)

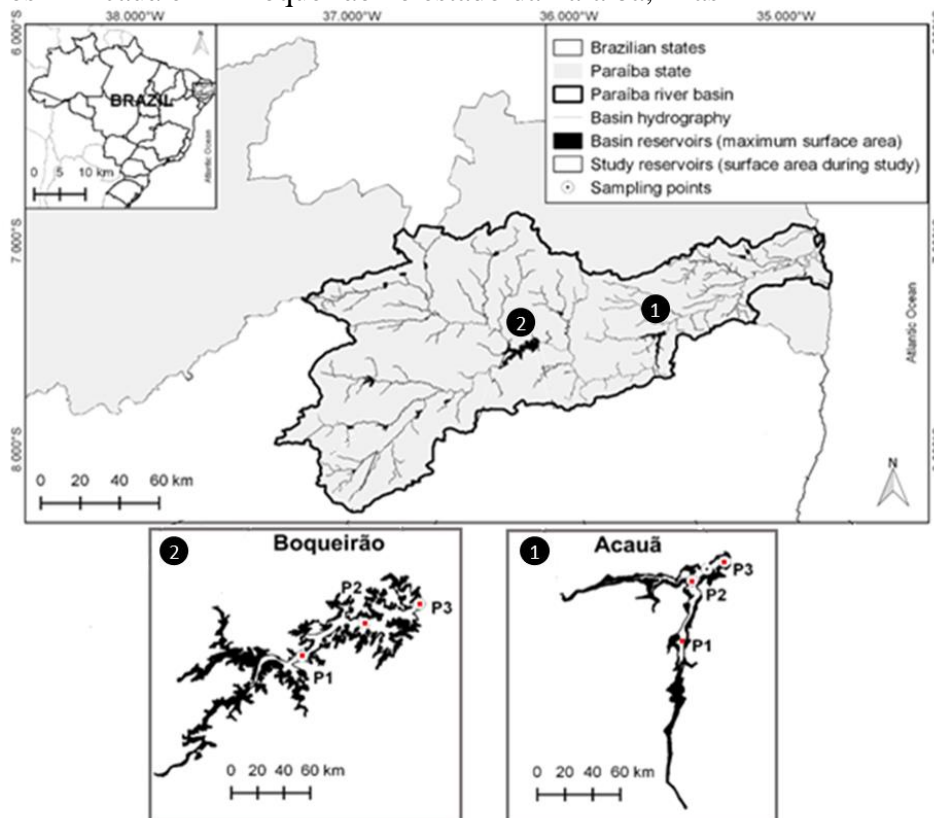
Períodos em que ocorrem a diminuição do volume hídrico favorecem a presença da variação morfológica curvada da espécie *R. raciborskii* em reservatórios do semiárido, aumentando a sua relação com a menor disponibilidade luz; (2) e a maior incidência de heterócitos e acinetos nesses reservatórios está relacionada com maiores temperaturas.

2 METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado nos reservatórios Acauã e Boqueirão, localizados no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil (Figura 1, Tabela 1). O clima da região é semiárido, com chuvas apresentando alta variabilidade espacial e temporal, com anos de seca e de chuvas abundantes se alternando de forma errática, possuindo um alto potencial para a evaporação da água devido às altas temperaturas e alta disponibilidade de energia solar (Morengo, 2008).

Figura 1 - Localização geográfica e representação dos locais de amostragem nos reservatórios 1- Acauã e 2 – Boqueirão no estado da Paraíba, Brasil



O reservatório Acauã, formado pelo barramento do Rio Paraíba, principal bacia hidrográfica do estado, está situado na porção inicial do baixo Paraíba, constitui-se no último barramento de uma série em cascata de açudes de médio e grande porte. Trata-se de um reservatório relativamente novo, que teve sua obra concluída em março de 2002. Sua bacia

hidráulica abrange as zonas rurais dos municípios de Itatuba, Natuba e Aroeiras. É o quarto maior reservatório do estado da Paraíba (ANA, 2006).

O reservatório Boqueirão é o segundo maior reservatório do Estado. Sua barragem fica no município de Boqueirão, cuja bacia hidráulica se estende para os seguintes municípios: Boqueirão (Alto/Médio Paraíba), Barra de São Miguel (Alto Paraíba) e Cabaceiras (Sub-bacia do Rio Taperoá). Quando o reservatório foi construído a sua capacidade era de aproximadamente 536 milhões de metros cúbicos, mas devido ao assoreamento a sua capacidade de armazenamento vem reduzindo (PERH, 2004).

Tabela 1: Município, latitude, longitude, área, capacidade e profundidade máxima dos reservatórios Acauã e Boqueirão, Paraíba Brasil

Reservatório	Acauã	Boqueirão
Município	Itatuba	Boqueirão
Latitude	7°36'51" S	7°28'9" S
Longitude	35°40'31" W	36°8'2" W
Área (Km ²)	12.394,50	16.031,00
Capacidade máxima (m ³)	253.142.247	411.686.287
Profundidade máxima (m)	40	43,90

Fonte: Própria autoria (2022).

Segundo a classificação Köppen-Geiger, o clima da região é BSh (semi-árido seco). A temperatura mínima do ar varia entre 18 e 22 ° C (nos meses de julho e agosto), e a máxima entre 28 e 31 ° C (nos meses de novembro e dezembro). O período de seca dura aproximadamente 9–10 meses (entre junho e fevereiro) (Alvares et al., 2013), e a precipitação média é de 400 mm / ano (Jovem-Azevêdo et al., 2019).

Os reservatórios monitorados apresentam grande importância para a população da região semiárida paraibana, especialmente devido ao seu uso para abastecimento da população, além de usos múltiplos como recreação, pesca, cultivo de peixes em tanques rede e irrigação. (Vasconcelos et al., 2011; Barbosa et al., 2012). Contudo a qualidade da água desses mananciais está comprometida pela intensa atividade antrópica, e pelos longos períodos de estiagem. Nas regiões semiáridas, a água negativa geralmente observada (perda de água maior que o ganho) pode ser agravada por secas prolongadas, o que inevitavelmente diminui os níveis dos reservatórios e, conseqüentemente, aumenta a concentração de nutrientes aumentando sua suscetibilidade à eutrofização (Costa et al., 2016).

2.2 Amostragem

Foram realizadas coletas entre os meses de Julho de 2015 e Dezembro de 2018, totalizando 11 amostragens. As amostras de água foram coletadas da subsuperfície, entrada do rio, região entre entrada do rio e o barramento e na zona de barramento.

2.3 Variáveis climáticas, físicas e químicas

Dados de precipitação pluviométrica e volume hídrico foram obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A).

Foram medidos *in situ* dados de temperatura da água, pH, condutividade elétrica, turbidez e oxigênio dissolvido através de sonda portátil multiparamétrica da marca Horiba. A transparência da água foi determinada através da extinção do disco de Secchi. As amostras foram coletadas e armazenadas em garrafas de polietileno de 1L e levadas ao laboratório acondicionadas em gelo. Foram filtrados 250mL em filtros de fibra de vidro GF/C para a determinação das concentrações de nutrientes dissolvidos. As concentrações de amônia, nitrito, nitrato, fósforo total e fósforo solúvel reativo, foram determinadas de acordo com as metodologias padronizadas descritas em APHA (2012).

2.4 Fitoplâncton

A análise do material biológico foi realizada no laboratório de Ecologia Aquática do Campus I da UEPB, sendo a identificação das espécies de cianobactérias realizada a partir de bibliografia especializada (Komarek; Agnostidis, 2005). A contagem para determinação da densidade de *Raphidiopsis raciborskii*, os heterócitos e acinetos (indmL⁻¹) foi realizada pelo método de sedimentação de Utermöhl (1958), em microscópio invertido ZeissOberkochen, modelo Axiovert10, a 400 vezes de aumento. O tempo de sedimentação foi de pelo menos três horas para cada centímetro de altura da câmara (Margalef,1983). Sendo contado pelo menos um transecto (Lund et al. 1958). Para realização do biovolume da comunidade fitoplânctonica (mm³ L⁻¹), foi necessário enquadrar as espécies nas formas geométricas de acordo com Hillebrand et al., (1999) e em seguida, foi multiplicado a densidade de cada espécie pelo volume médio das células, sempre que possível considerando as dimensões medias de cerca de 20 a 30 indivíduos. A biomassa foi apresentada em peso fresco (mg.L⁻¹), a partir do biovolume de cada espécie, assumindo que 1 mm³ .L⁻¹=1 mg.L⁻¹ (WETZEL; LIKENS, 2000).

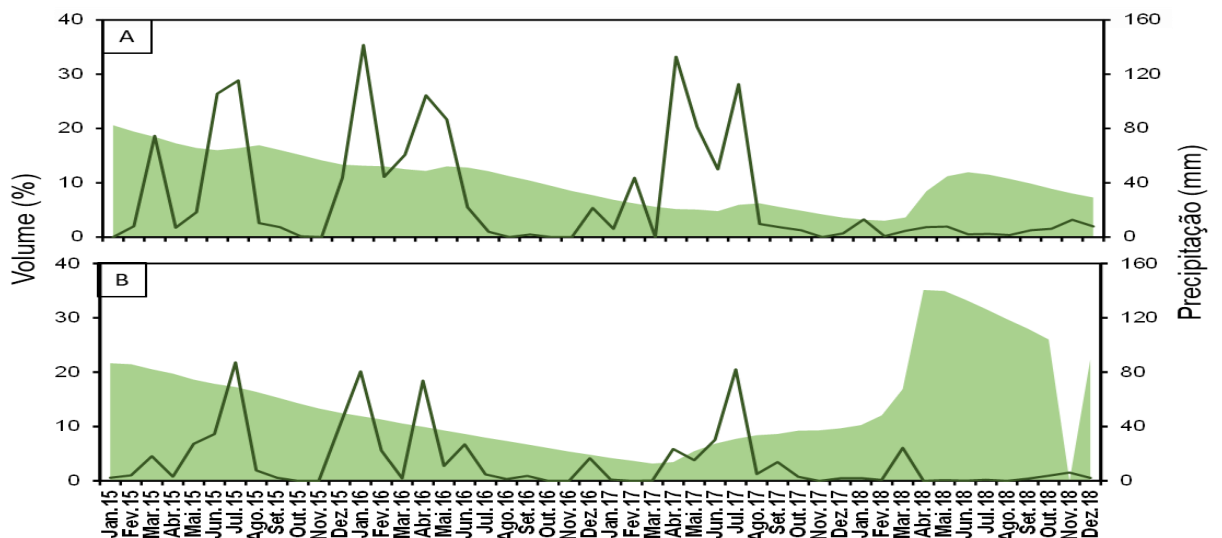
2.5 Análises estatísticas

Os dados foram organizados em planilhas elaboradas no Excel, e realizadas análises exploratórias dos parâmetros físicos, químicos, de *Raphidiopsis raciborskii*, os heterócitos e acinetos. Para as análises estatísticas foram realizadas considerando nível de significância de 5% e utilizando o programa *R Software* para *Windows* versão 4.0.4 (R Development Core Team, 2013). Para cada reservatório, as variáveis físicas, químicas e a biomassa da espécie *R. raciborskii* reta, curvada, heterócitos e acinetos ao longo dos meses amostrados, foram avaliados usando Modelos Lineares Generalizados (GLM) com o erro de distribuição Gaussian. Em seguida foi realizada uma análise de deviance do modelo selecionado pela GLM e por fim um teste a posteriori (Tukey) que verificou as diferenças entre os meses. Para verificar a relação entre as variáveis físicas, químicas e biomassa da espécie *R. raciborskii* reta, curvada, heterócitos e acinetos entre os meses, em cada reservatório foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA), utilizando o pacote “vegan” (Oksanen et al., 2017). As variáveis utilizadas nas análises foram transformadas em log (log [x + 1]), com exceção do pH.

3 RESULTADOS

O gráfico de precipitação mostrou que houve redução do volume ao longo do período de estudo tanto no reservatório Acauã como no Boqueirão, mas em 2018, devido a precipitação os reservatórios tiveram aumento desse volume, e em especial o reservatório Boqueirão que também contou com a Transposição do Rio São Francisco (Figura 2).

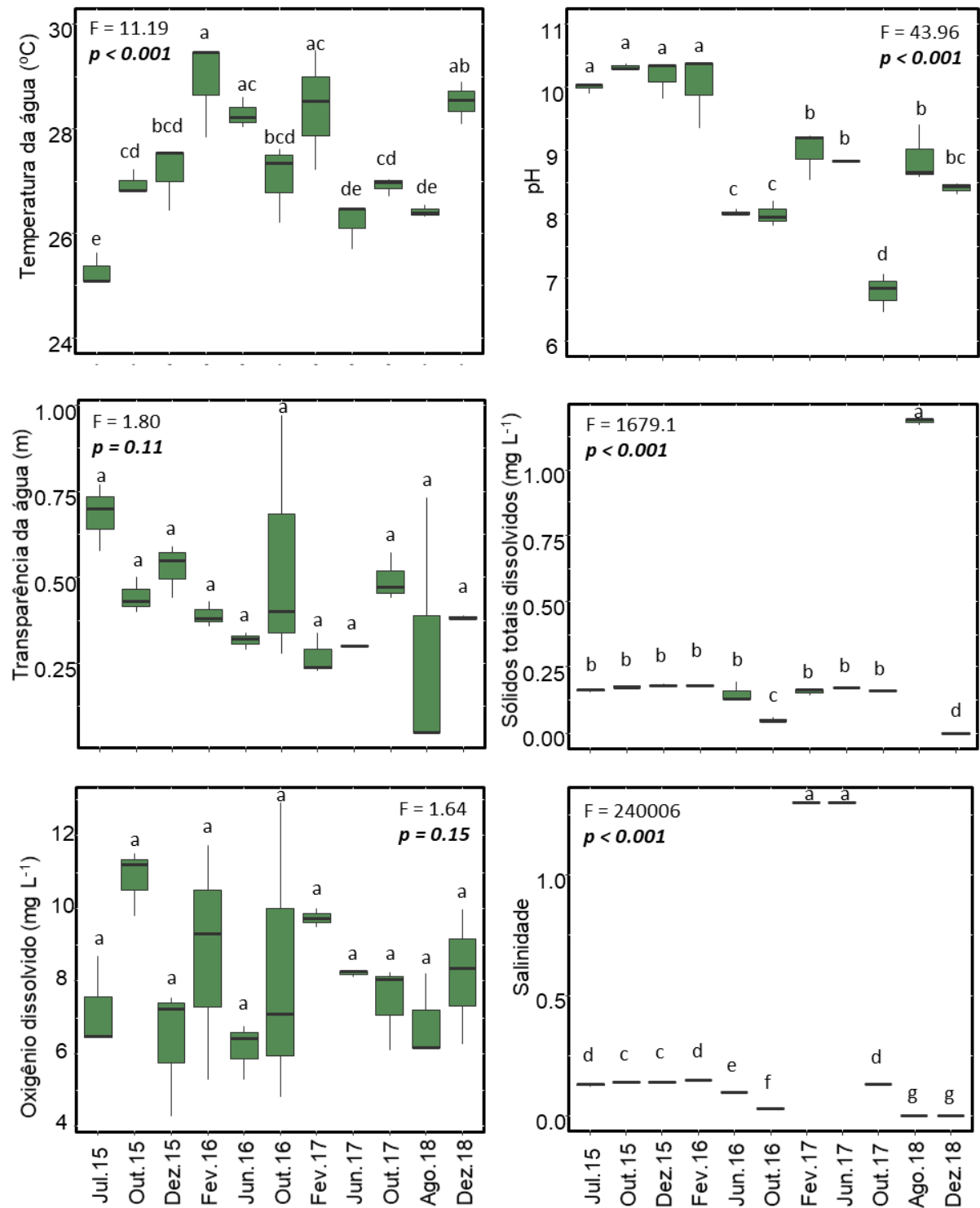
Figura 2 - Gráficos de precipitação (—) e volume (●) dos meses de janeiro de 2015 a dezembro de 2018, A) Reservatório Acauã, B) Reservatório Boqueirão.



Fonte: Própria autoria (2022)

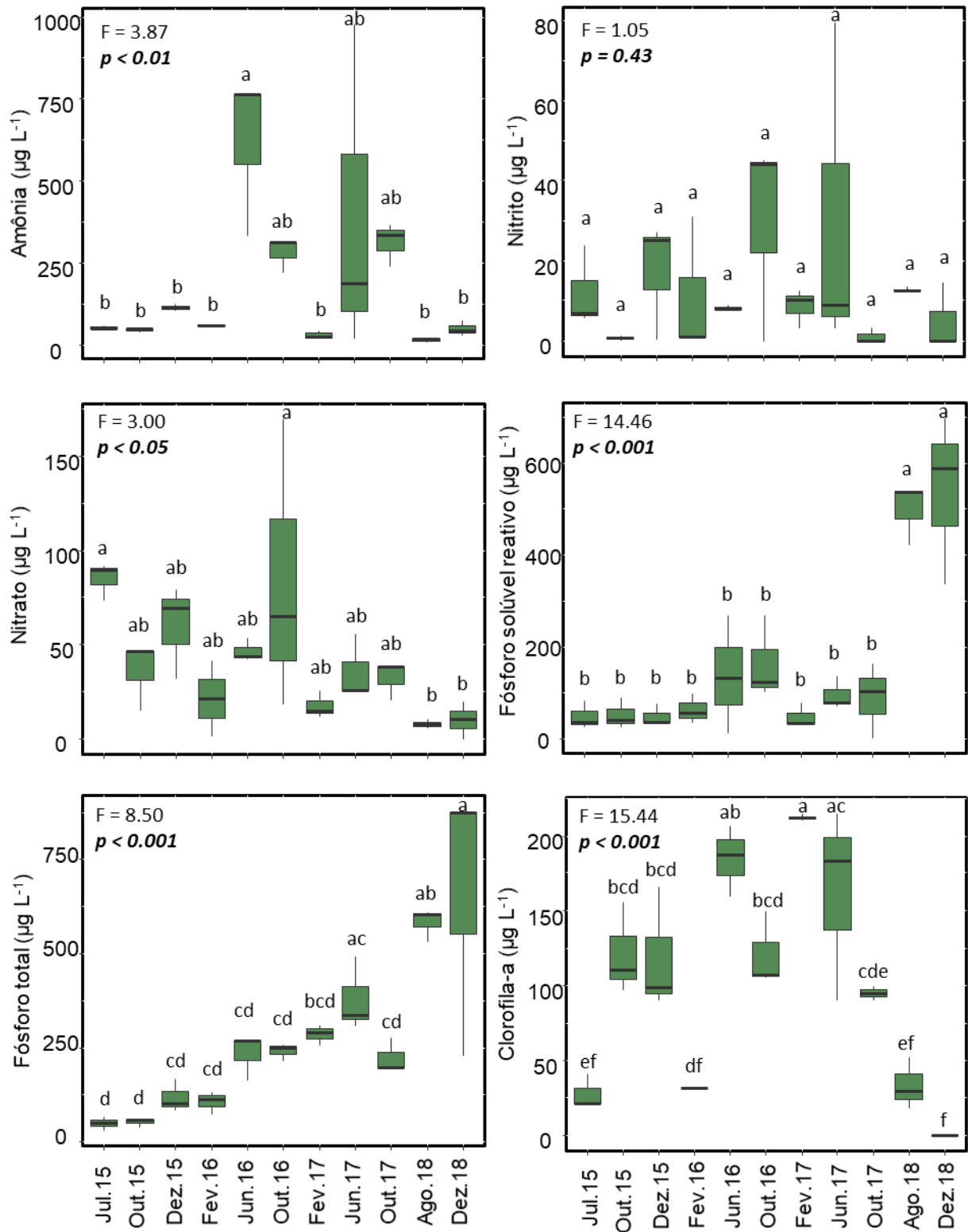
O reservatório Acauã apresentou diferenças significativas entre os meses amostrais para as variáveis temperatura da água, pH, sólidos totais dissolvidos e salinidade (Figura 3). A temperatura da água apresentou aumento gradativo do início do estudo até o mês de fevereiro de 2016, quando foi registrada a maior temperatura ($29\text{ }^{\circ}\text{C}$), e nos meses seguintes houve uma redução. Para o pH foram registrados valores em torno de 10 nos quatro primeiros meses de estudo, porém, nos demais meses é verificado uma redução, chegando a valores abaixo de 7 no mês de Outubro de 2017. Destaca-se para os sólidos totais dissolvidos, sua maior concentração no mês de agosto de 2018 ($1,19\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) e os menores em Outubro de 2016 ($0,04\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) e Dezembro de 2018 ($0\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$). A salinidade apresenta suas maiores concentrações registradas nos meses de Fevereiro ($0,163\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) e Junho de 2017 ($0,17\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$). A transparência da água e oxigênio dissolvido não apresentaram diferenças significativas (Figura 3). Para as variáveis químicas, a amônia, nitrato, fósforo solúvel, fósforo total e clorofila-a apresentaram diferenças significativas entre os meses amostrados. (Figura 4). A amônia apresentou elevadas concentrações nos meses de Junho 2016 ($762,9487\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) e Junho 2017 ($975,90\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) (Figura 4). O fósforo solúvel reativo ($698\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) e o fósforo total ($873\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) apresentaram as maiores concentrações no final do período de estudo, enquanto o nitrato ($19,38\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) e a clorofila-a ($0\text{ mm}^3\text{ L}^{-1}$) reduziram (Figura 4). O nitrito não apresentou diferenças significativas (Figura 4).

Figura 3 - Variáveis físicas do reservatório Acauã Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018.



Fonte: Própria autoria (2022).

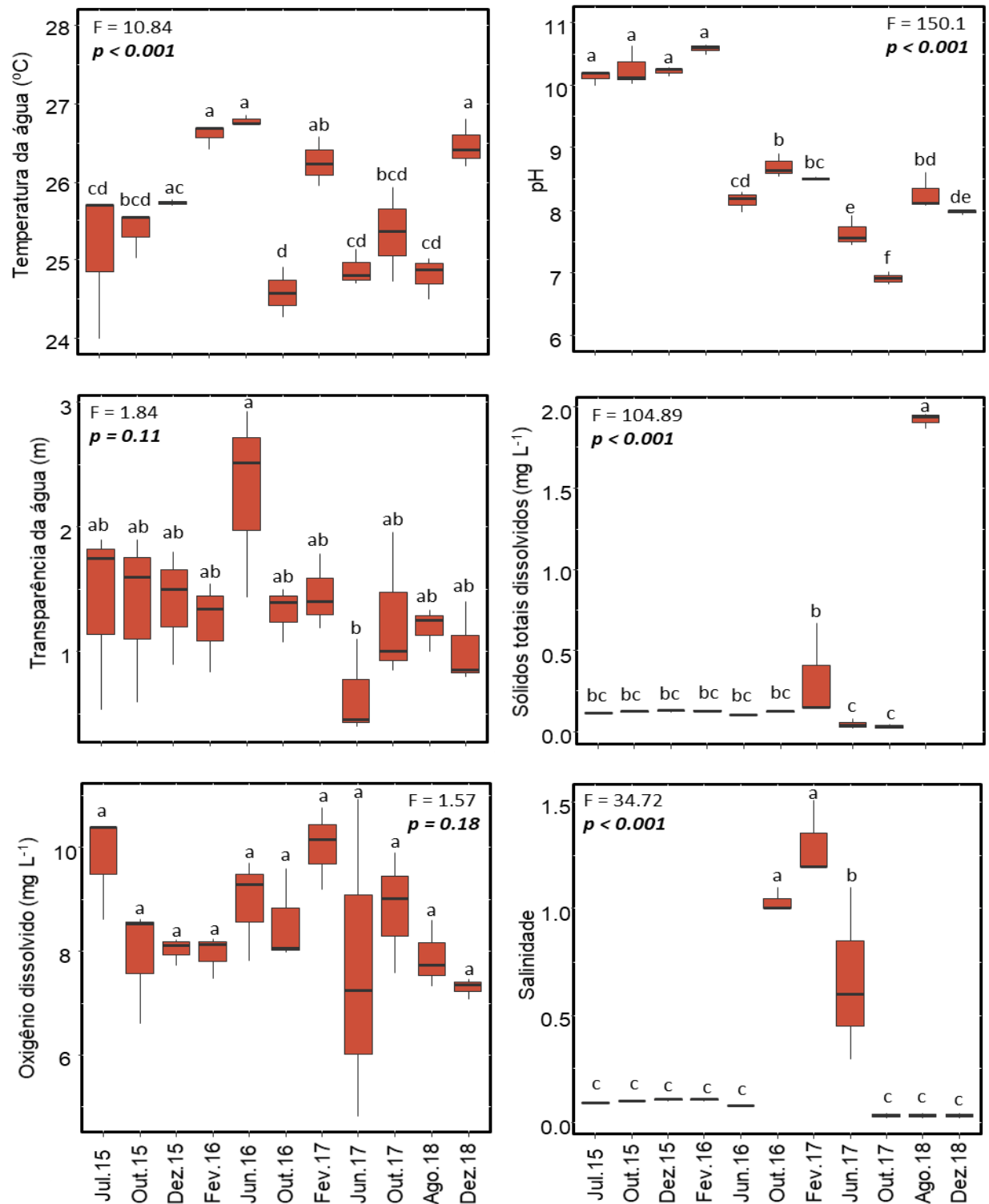
Figura 4 - Variáveis químicas do reservatório Acauã Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018.



Fonte: Própria autoria (2022).

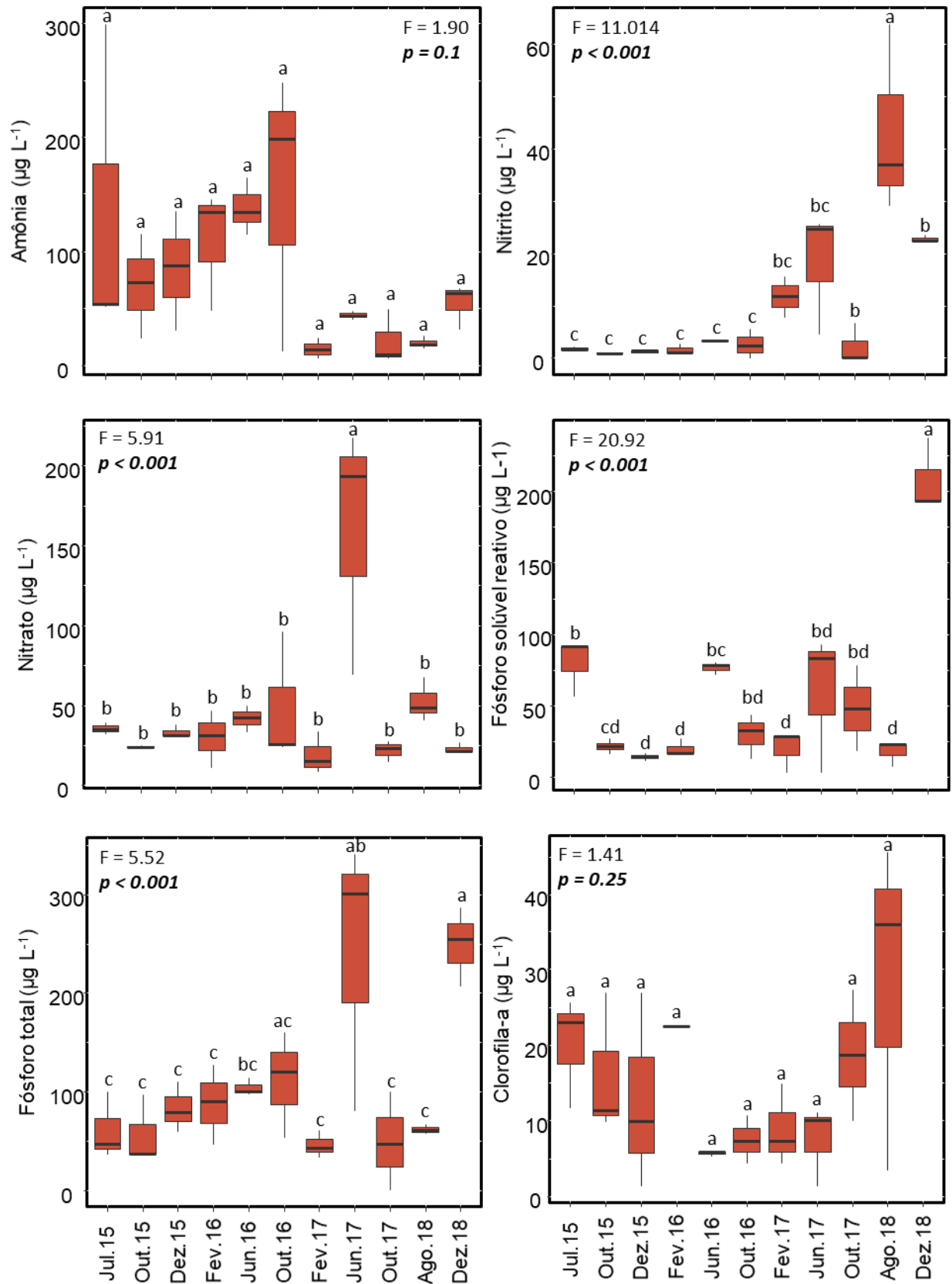
No reservatório Boqueirão, as diferenças significativas encontradas entre os meses amostrais foram registradas para as mesmas variáveis físicas verificadas para o reservatório Acauã, que foram temperatura da água, pH, sólidos totais e salinidade (Figura 5). Inicialmente nos quatros primeiros meses o pH foi acima de 10 e depois seguido de uma redução e no mês de outubro de 2017 ficou menor que 7. Os sólidos totais dissolvidos, teve um grande aumento no mês de agosto de 2018 ($1,96 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) e diminuição nos outros meses de estudo e a salinidade teve um aumento nos meses de outubro de 2016 ($1,1 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) e fevereiro de 2017 ($1,2 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) e diminuiu nos outros meses de estudo. Os meses com menor e maior temperatura foram outubro de 2016 ($24,5 \text{ }^\circ\text{C}$) e dezembro de 2018 ($27 \text{ }^\circ\text{C}$) respectivamente. (Figura 5). A transparência da água e oxigênio dissolvido não apresentaram diferenças significativas (Figura 5). Para as variáveis químicas, o nitrito, nitrato, fósforo solúvel e fósforo total apresentaram diferenças significativas entre os meses amostrados (Figura 6). O nitrito teve um aumento no mês de agosto de 2018 ($63,81 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) enquanto que o nitrato apresentou maior concentração no mês de junho de 2017 ($218 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$), já o fósforo solúvel ($238 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) e fósforo total ($253 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) aumentaram nos últimos meses de estudo (Figura 6). A amônia e a clorofila não apresentaram diferenças significativas (Figura 6).

Figura 5 - Variáveis físicas do reservatório Boqueirão Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018.



Fonte: Própria autoria (2022).

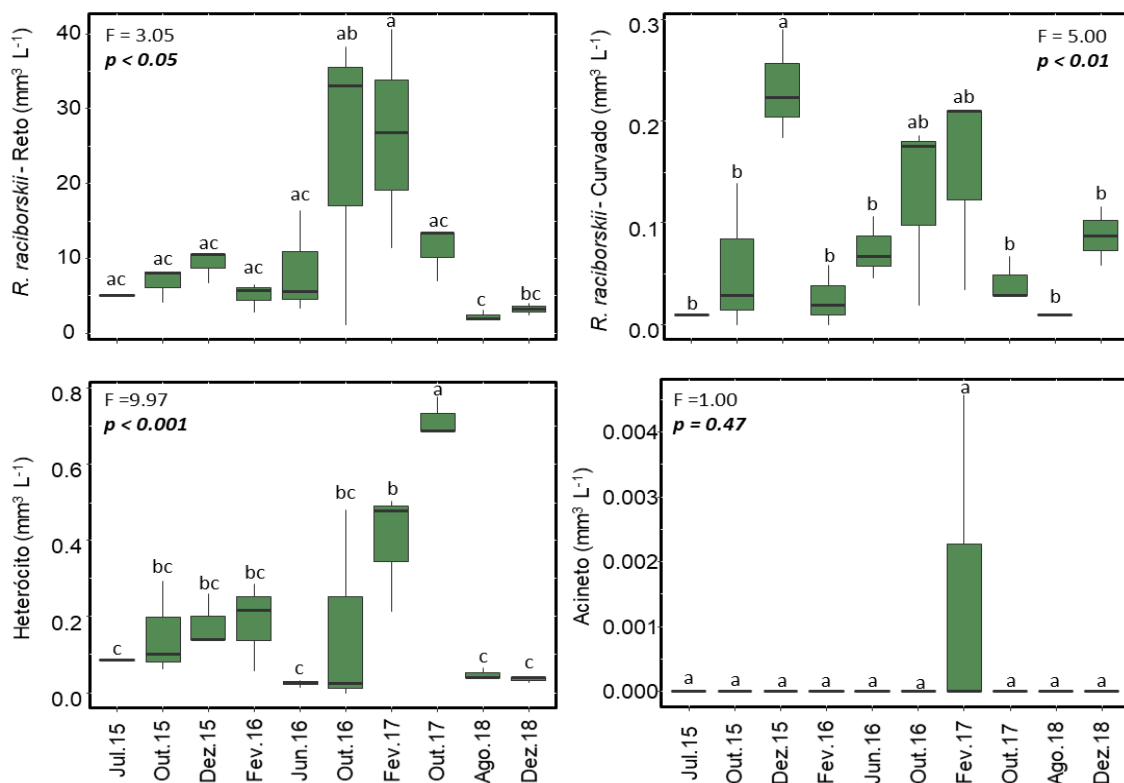
Figura 6 - Variáveis químicas do reservatório Boqueirão Paraíba, Brasil entre os meses de julho de 2015 a dezembro de 2018



Fonte: Própria autoria (2022).

Ambos morfotipos foram encontrados nos reservatórios Acauã e Boqueirão, no entanto prevalecendo a maior biomassa de morfotipo reto (Figura 7 e 8). Também foram verificadas as presenças de heterócitos e acineto durante o período de estudo (Figura 7 e 8). O reservatório Acauã apresentou elevada biomassa de *Raphidiopsis raciborskii*, sendo registrado nos meses de Outubro de 2016 (38 mm³ L⁻¹) e Fevereiro de 2017 (40 mm³ L⁻¹), biomassas maiores do morfotipo reto (Figura 7). O morfotipo curvado apresentou biomassa bem menor que o morfotipo reto, sendo o maior registro em Dezembro de 2015, maior que 0.2 mm³ L⁻¹. A biomassa de heterócitos aumentou significativamente ao longo dos meses, até Outubro de 2017 (0,7 mm³ L⁻¹), onde foi registrada a maior biomassa. A presença de acinetos foi registrada todos os meses, no entanto, sem variação significativa e o mês de Fevereiro de 2017 (0,00458 mm³ L⁻¹) apresentou a maior biomassa.

Figura 7 - Biomassa de *Raphidiopsis raciborskii* do reservatório Acauã, Paraíba Brasil

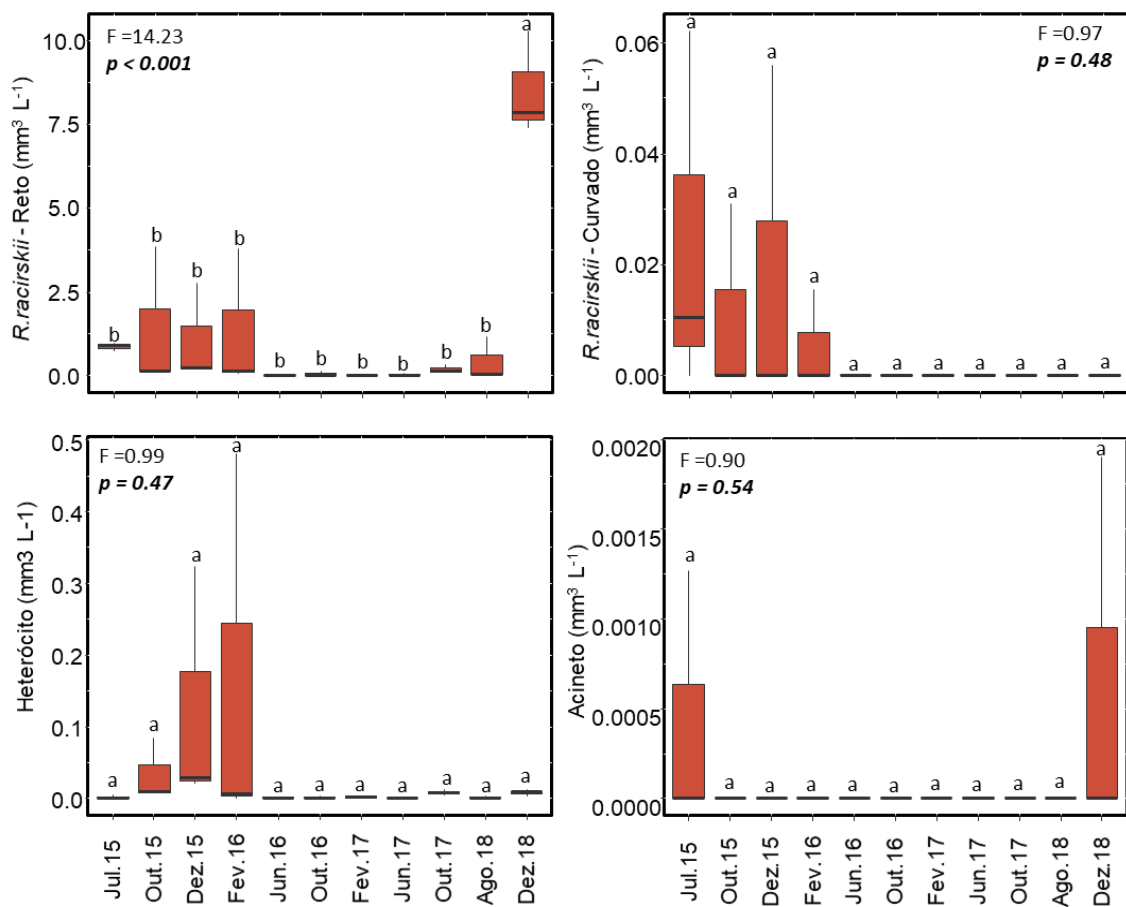


Fonte: Própria autoria (2022).

Já o reservatório Boqueirão apresentou dentre os meses amostrais uma elevada biomassa de *R. raciborskii* no mês de dezembro de 2018, biomassa em torno de 8 mm³ L⁻¹ do

morfotipo reto. Para o morfotipo curvado maior biomassa foi registrada no mês de julho de 2015 sendo um pouco maior que $0,3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$. A biomassa de heterócito não mostrou um aumento significativo, mas houve uma variação no mês de fevereiro de 2016 ($0,48064 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$), onde foi registrada a maior biomassa. Foi verificada baixa biomassa de acinetos em todos os meses amostrados, sendo observado uma variação nos meses julho 2015 ($0,00127 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) e dezembro de 2018 ($0,00191 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$). (Figura 8).

Figura 8 - Biomassa de *Raphidiopsis raciborskii* do reservatório Boqueirão, Paraíba Brasil

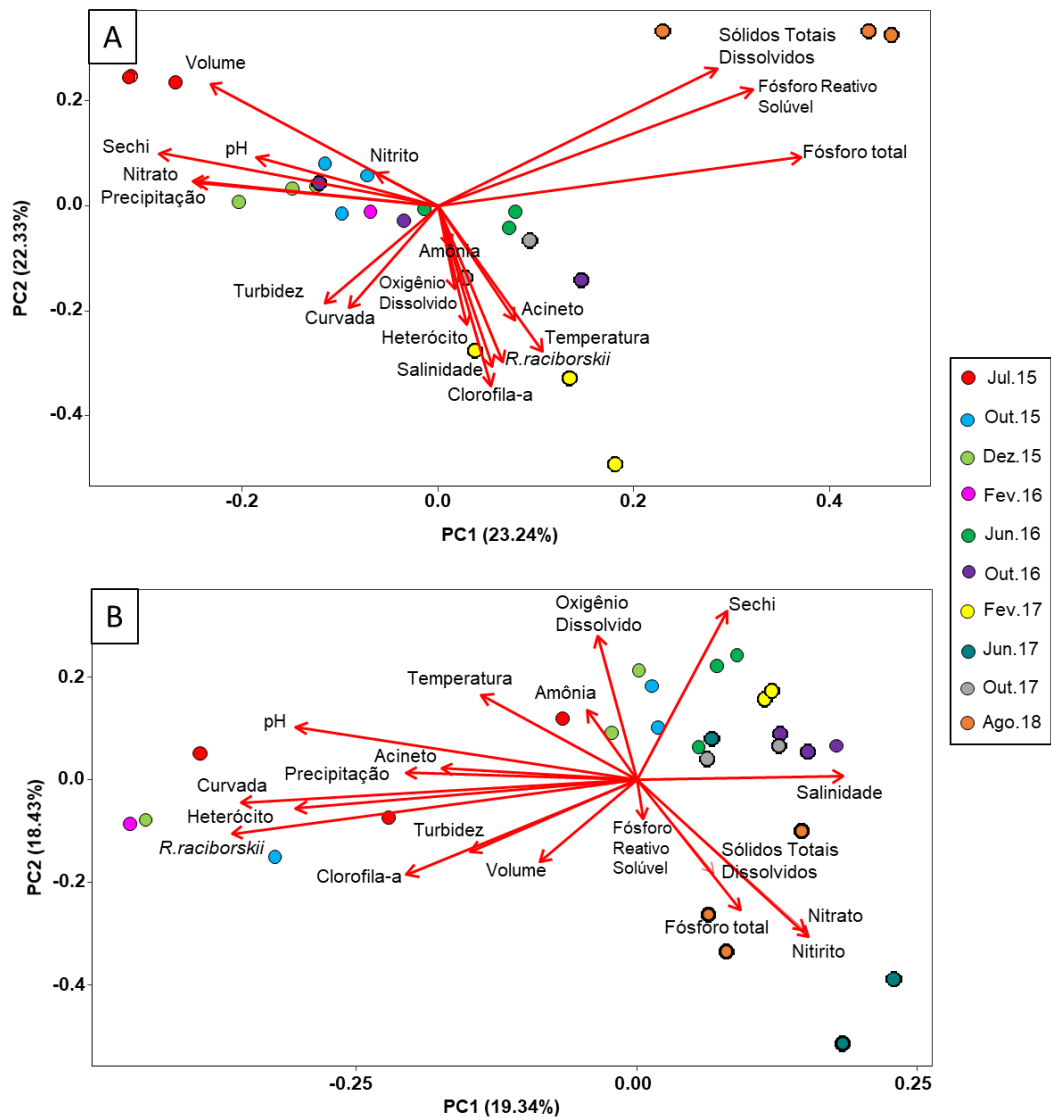


Fonte: Própria autoria (2022).

A Análise de Componentes Principais (PCA) mostrou as variáveis que estiveram relacionadas com a biomassa de *Raphidiopsis raciborskii* reta, o morfotipo curvado, os heterócitos e acinetos. Considerando os resultados dos dois primeiros eixos da análise, foi encontrada uma explicabilidade de 45,57% para o reservatório Acauã e de 37,77% para o reservatório Boqueirão. A PCA mostrou para A-Acauã que *R. raciborskii* curvada teve

relação com a turbidez, enquanto que a biomassa dos heterócitos teve relação com amônia, oxigênio dissolvido e salinidade no mês de julho de 2015, enquanto que *R. raciborskii* reto e com acineto teve relação com a temperatura no mês de fevereiro de 2017. A PCA mostrou que em B-Boqueirão *R. raciborskii* reto, curvada e com heterócito teve relação com precipitação e turbidez entre os meses de julho de 2015 e outubro de 2015, já *R. raciborskii* com acineto teve relação com precipitação e pH no mês de julho de 2015.

Figura 9 - PCA das Variáveis físicas e químicas e de *Raphidiopsis raciborskii*, os círculos se referem aos meses dos anos de 2015 a 2018. A – Acauã, B- Boqueirão, Paraíba, Brasil



Fonte: Própria autoria (2022).

4 DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que os reservatórios Acauã e Boqueirão apresentaram a presença da espécie *Raphidiopsis raciborskii*, principalmente do morfotipo reto, ao longo do período estudado, e que Acauã apresentou maior biomassa quando comparado com Boqueirão. Ao contrário do esperado, tanto o morfotipo curvado, como heterócitos e acinetos não apresentaram elevadas biomassas, mesmo com as mudanças causadas nos reservatórios em consequência da redução do volume hídrico, em especial o aumento nas concentrações de nutrientes. Longos períodos de estiagem são eventos comuns para regiões semiáridas, e que já se tem conhecimento que direcionam a dinâmica dos ambientes aquáticos, alterando suas características físicas e químicas, o que vem favorecendo o aumento da dominância de cianobactérias nesses ambientes (Brasil et al, 2016).

Tanto para o reservatório Acauã como para Boqueirão, as diferenças significativas encontradas entre os meses amostrais foram registradas para as mesmas variáveis físicas, que foram temperatura da água, pH, sólidos totais e salinidade. Alterações nesses parâmetros são esperados para períodos de seca de modo que os sistemas aquáticos passam a apresentar maiores temperaturas, elevado pH em decorrência da menor disponibilidade de CO₂ livre, maior concentração de sólidos totais relacionado a maior facilidade para ressuspensão do sedimento e o aumento na concentração de sais causado pela maior evaporação (Jeppensen et al. 2015; Brasil et al. 2016).

Por ser uma espécie filamentosa, *R. raciborskii* em sua forma reta acaba apresentando vantagens competitivas e por isso apresentou maiores biomassas nos reservatórios estudados. O sucesso de *R. raciborskii* está diretamente relacionado aos seguintes fatores: capacidade de migração na coluna d'água, tolerância à baixa luminosidade, habilidade em utilizar fontes internas de fósforo, alta afinidade com fósforo e amônio, capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, resistência à herbivoria pelo zooplâncton, alta capacidade de dispersão (acinetos resistentes, dispersão por cursos de rios, aves, etc.) e sobrevivência em condições levemente salinas (Padisák 1997; Chia et al , 2017).

Embora nosso estudo tenha registrado a presença do morfotipo curvado em baixa biomassa, no reservatório Acauã a biomassa ainda foi maior que em Boqueirão, o que está associado a baixa luminosidade. Este resultado é corroborado com outros estudos que apontam que maiores densidades do morfotipo curvado foram atribuídas a sua tolerância a altas temperaturas e baixa intensidade de luz (Saker et al 1999; Bittencourt-Oliveira et al 2011). A plasticidade em morfotipos tem sido atribuída às variações nas condições

ambientais. Além disso, para *R. raciborskii*, fatores ambientais que contribuem para a formação do morfotipo curvado estão relacionados com a resistência ao afundamento (Padisák et al. 2003) e predação (Fabbro & Duivenvoorden 1996).

O reservatório Boqueirão não apresentou densa floração de *R. Raciborskii* pode esta relacionada com a presença de extensos povoamentos de macrófitas submersas no reservatório (com volume percentual de infestação variando entre 33,67 e 91,10% na seca; Barbosa et al., 2020), que são reconhecidos por inibir florações de cianobactérias por meio de vários mecanismos, como competição por nutrientes, sombreamento, provisão de refúgio para predadores, e liberação de aleloquímicos (Bakker e Hilt, 2016). A presença de cobertura vegetal na superfície do reservatório é um estressor para o fitoplankton, pois reduz a disponibilidade de luz que impede a realização do processo de fotossíntese, e limita o crescimento de populações de algas (Dembowska, 2015). Assim, a riqueza de espécies fitoplanctônicas para o ambiente com macrófitas diminui, como consequência do aumento da vegetação no ambiente (Monteiro, 2016).

No reservatório Acauã *R. Raciborskii* apresentou maior afinidade com a amônia, pois *R. raciborskii* parece não ser dependente da fixação de nitrogênio (Griffiths & Saker 2003) e que poucos heterócitos são encontrados mesmo em concentrações mais baixas deste elemento (Pressing et al. 1996). Isso se deve especialmente sua maior afinidade pelo amônio do que outros elementos (Briand et al. 2002).

Em Acauã *R. raciborskii* com heterócitos teve relação com salinidade no mês de julho de 2015, que se dá devido esse reservatório ter sua dinâmica alterada pela seca aumentando assim sua salinidade e sendo necessária a produção de heterócitos para maior fixação de nitrogênio. Embora não seja evidente se altas concentrações de sais podem influenciar na produção de heterócitos, estudos têm mostrado uma equivalência entre o aumento das concentrações de Na⁺ na água e heterócitos, espécies que necessitam desse nutriente para a atividade da nitrogenase, que é responsável pela fixação do nitrogênio atmosférico em heterócitos (Oliveira e Dantas, 2019).

Ambos os reservatórios estudados apresentaram baixa biomassa de acinetos, essa baixa biomassa pode estar relacionada com abundância de nutrientes ou luz, condições favoráveis que suportam o crescimento vegetativo e a dominância do organismo (MOORE et al., 2003). Moore et al. (2004) sugerem que temperatura e quantidade de fósforo elevados estão envolvidos com a diferenciação de acinetos.

Os resultados desse estudo demonstram a importância de monitorar os efeitos das relações físicas e químicas da água nas florações *R. raciborskii*. Considerando que a

temperatura deverá aumentar, assim como ocorrerá a redução das chuvas e o aumento da seca, cianobactérias são uma questões problemáticas à medida que variáveis ambientais podem aumentar a ocorrência e biomassa desses organismos. E sugerem um cenário para auxiliar na criação de planos de manejos para o controle das florações formadas por esta espécie.

5 CONCLUSÃO

Concluimos que as relações químicas e físicas da água influenciam nas florações de *R. raciborskii*. Os resultados mostraram que os reservatórios Acauã e Boqueirão apresentaram a presença do morfotipo reto da espécie *R. raciborskii* e que Acauã apresentou maior biomassa quando comparado com Boqueirão. Ao contrário do esperado, tanto o morfotipo curvado, como heterócitos e acinetos não apresentaram elevadas biomassas. Tanto para o reservatório Acauã como para Boqueirão, as diferenças significativas encontradas entre os meses amostrais foram registradas para as mesmas variáveis físicas, que foram temperatura da água, pH, sólidos totais e salinidade.

Esses resultados são importantes pois demonstram como *R. raciborskii* utiliza suas estratégias para formar florações e como se comporta diante das mudanças físicas e químicas da água. Assim indicam que são necessários criações de planos de manejos eficientes, como controle do aporte de nutrientes nos ecossistemas e para o controle das florações formadas por esta espécie. Recomendamos que corpos de água que apresentem *R. Raciborskii* seja foco de estudos futuros para melhor compreender suas estratégias que possibilitam a formações de florações.

REFERÊNCIAS

- AESA, Monitoramento do Volume de Açudes, 2019. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=9597
Acesso em: 19 de jul. de 2021.
- AGUILERA, EB GÓMEZ, J. KAŠTOVSKÝ, RO RICARDO O. ECHENIQUE, GL SALERNO. A análise polifásica de dois isolados nativos de *Raphidiopsis* após a unificação dos gêneros *Raphidiopsis*. e *Cylindrospermopsis* (Nostocales, Cyanobacteria). **Phycologia**. v. 57, p. 130 - 146, 2018.
- ALVARES, CA, JL STAPE, PC SENTELHAS, G. MORAES, J. LEONARDO & G. SPAROVEK. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Métodos padrão para o exame de água e águas residuais, 22^a ed. **APHA, AWWA e WEF**, Washington, 2012.
- AN MOURA, NKC ARAGÃO-TAVARES, CA AMORIM. Florações de cianobactérias em corpos de água doce de uma região semiárida, Nordeste do Brasil: uma revisão. **J. Limnol.** v. 77, p. 179 - 188, 2018.
- ANTUNES, JT; LEÃO, PN; VASCONCELOS, VM. *Cylindrospermopsis raciborskii*: Revisão da distribuição, filogeografia e ecofisiologia de uma espécie invasora global. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 473, 2015.
- AZEVEDO, M.T.P.; SANT'ANNA, C.L. Morfologia e reprodução. In: SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P.; AGUJARO, L.F.; CARVALHO, M.C.; CARVALHO, L.R.: SOUZA, R.C.R. (eds). Identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras. Rio de Janeiro: **Interciência**, cap. 2, p. 5-8, 2006.
- BAKKER, E.S., HILT, S. Impact of water-level fluctuations on cyanobacterial blooms: options for management. **Aquat. Ecol.** v. 50, p.485–498, 2016.
- BARBOSA, J. E. L. MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. S.; CRISPIM, M. C. B.; SILVA, G. H. G. Aquatic systems in semiarid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v.24, n.1, p.103-118, 2012.
- BARBOSA, V.V., DOS SANTOS SEVERIANO, J., DE OLIVEIRA, D.A., BARBOSA, J.E.L. Influence of submerged macrophytes on phosphorus in a eutrophic reservoir in a semiarid region. **J. Limnol.** v. 79, p. 138–150, 2020.
- BITTENCOURT-OLIVEIRA, MC., MOURA, AN., HEREMAN, TC. AND DANTAS, EW. Increase in straight and coiled *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) populations under conditions of thermal de-stratification in a shallow tropical reservoir. **Journal of Water Resource and Protection**, vol. 3, n. 4, p. 245-252, 2011.

BOUVY, M.; FALCÃO, D.; MARINHO, M.; PAGANO, M. & MOURA, A. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. **Aquatic Microbial Ecology**. v. 23, p. 13-27, 2000.

BRASIL J, ATTAYDE JL, VASCONCELOS FR, DANTAS DDF & HUSZAR VLM. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. **Hydrobiologia**. v. 770, p. 145-164, 2016.

BRIAND, J.F.; LÉBOULANGER, C.; HUMBERT, J.-F.; BERNARD, C. & DUFOUR, P. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming? **Journal of Phycology**. v. 40, p. 231-238, 2004.

BW BROOKS, JM LAZORCHAK, MDA HOWARD, M.-VV JOHNSON, SL MORTON, DAK PERKINS, ED REAVIE, GI SCOTT, SA SMITH, JA STEEVENS. A proliferação de algas nocivas está se tornando a maior ameaça à qualidade da água do interior para a saúde pública e os ecossistemas aquáticos? **Environ. Toxicol. Chem.** p. 6 – 13, 2016.

BW BROOKS, JM LAZORCHAK, MDA HOWARD, M.-VV JOHNSON, SL MORTON, DAK PERKINS, ED REAVIE, GI SCOTT, SA SMITH, JA STEEVENS. Em alguns lugares, em alguns casos, e em alguns momentos, a proliferação de algas nocivas são a maior ameaça à qualidade da água interior. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 36, p. 1125 – 1127, 2017.

CAMILA FERREIRA MENDES, JULIANA DOS SANTOS SEVERIANO, GUSTAVO CORREIA DE MOURA, RANIELLE DAIANA DOS SANTOS SILVA, FLÁVIA MORGANA MONTEIRO, JOSÉ ETHAM DE LUCENA BARBOSA. The reduction in water volume favors filamentous cyanobacteria and heterocyst production in semiarid tropical reservoirs without the influence of the N:P ratio. **Science of the Total Environment**. p.16, 2022.

CHIA MA, JANKOWIAK JG, KRAMER BJ, GOLESKI JA, HUANG IS, ZIMBA PV, BITTENCOURT-OLIVEIRA MC, GOBLER CJ. Succession and toxicity of *Microcystis* and *Anabaena* (*Dolichospermum*) blooms are controlled by nutrient-dependent allelopathic interactions. **Harmful Algae** v. 74, p.67-77, 2018.

CJ LORENZEN, Determinação de clorofila e feopigmentos: Equações espectrofométricas Limnol. **Oceanogr.**12, p. 343-346, 1967.

COSTA, M.R.A., ATTAYDE, J.L. and BECKER, V. Effects of water level reduction on the dynamics of phytoplankton functional groups in tropical semiarid shallow lakes. **Archiv of Hydrobiologie**, p.75- 89, 2016.

C. WIEDNER, J. RÜCKER, R. BRÜGGEMANN, B. NIXDORF. A mudança climática afeta o tempo e o tamanho das populações de uma cianobactéria invasora em regiões temperadas. **Oecologia**, v. 152, p. 473 – 484, 2009.

C. WIEGAND, S. PFLUGMACHER. Efeitos ecotoxicológicos de metabólitos secundários de cianobactérias selecionadas uma breve revisão. **Toxicol. Appl. Pharmacol**, p. 201 – 218, 2005.

DANTAS, ÊNIO WOCYLI, BITTENCOURT-OLIVEIRA, MARIA DO CARMO E MOURA, ARIADNE DO NASCIMENTO. Variação espaço-temporal dos

morfotipos espiralado e reto de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolsz) Seenayya et Subba Raju (Cyanobacteria). **Acta Botanica Brasilica**. v. 24, n. 2, 2010.

DEMBOWSKA, E. A. Seasonal variation in phytoplankton and aquatic plants in floodplain lakes (lower vistula river, poland). **Wetlands ecol manage**, v.23, p. 535-549, 2015.

D. TONETTA, MC HENNEMANN, DM BRENTANO, MM PETRUCIO. Considerações sobre a dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii* sob baixa disponibilidade de luz em um lago de baixo fósforo. **Acta Bot. Bras**, v. 29 n. 3, p. 448 – 451, 2015.

FABBRO, L.D. & DUIVENVOORDEN, L.J.. Profile of a bloom of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya and Subba Raju in the Fitzroy River in tropical central Queensland. **Marine and Freshwater Research**, p.685-94, 1996.

FLÁVIA MORGANA MONTEIRO. Presença de macrófitas submersas altera a dinâmica do fitoplâncton em reservatórios do semiárido? p. 59, 2016.

GRIFFITHS, D.J. & SAKER, M.L. The Palm island mystery disease 20 years on a review of research on cyanotoxin cylindrospermopsin. **Environmental Toxicology** v. 18, p. 78-93, 2003.

HILLEBRAND H, DURSELEN CD, KIRSCHTEL D, POLLINGHER U, ZOHARY T. Cálculo de biovolume para microalgas pelágicas e bentônicas. **J Phycol.** v.35, p. 403-424, 1999.

HL GOLTERMAN, RS CLYMO MAM OHNSTAD. Métodos para análise física e química de água doce, **Blackwell Science Publisher**, Oxford, p. 213, 1978.

HW PAERL, NS HALL, ES CALANDRINO, Controlando a proliferação de cianobactérias prejudiciais em um mundo que passa por mudanças antropogênicas e induzidas pelo clima. **Sci.Total Environ**, p. 1739 – 1745, 2011.

HW PAERL, KE HAVENS, H. XU, Z. GUANGWEI, MJ MCCARTHY, SE NEWELL, JT SCOTT, NS HALL, TG OTTEN, B. QIN. Mitigando a eutrofização e a proliferação de cianobactérias tóxicas em grandes lagos: a evolução de um paradigma de redução de nutrientes duplos (N e P). **Hydrobiologia**, v. 10, p. 1007-10750, 2020.

JAJA-CHIMEDZA, A., GANTAR, M., GIBBS, P.D., SCHMALE, M.C., BERRY, J.P. Polymethoxy-1-alkenes from *Aphanizomenon ovalisporum* inhibit vertebrate development in the zebrafish (*Danio rerio*) embryo model. **Mar. Drugs**, p.2322–2336, 2012.

JEPPESEN, E., S. BRUCET, L. NASELLI-FLORES, E. PAPASTERGIADOU, K. STEFANIDIS, T. NÖGES, P. NÖGES, JL ATTAYDE, T. ZOHARY, J. COPPENS, T. BUCAK, RF MENEZES, FRS FREITAS, M. KERNAN, M. SØNDERGAARD & M. BEKLIÖGLU. Impactos ecológicos do aquecimento global e captação de água em lagos e reservatórios devido a mudanças no nível de água e mudanças relacionadas na salinidade. **Hydrobiologia**. v. 750, p. 201–227, 2015.

JOVEM-AZEVÊDO, D., JF BEZERRA-NETO, EL AZEVÊDO, WIA GOMES, J. MOLOZZI & MJ FEIO, Assembléias dipteranas como indicadores funcionais de secas extremas. **Journal of Arid Environments**. v. 164, p. 12–22, 2019.

J. WESTRICK, D. SZLAG, B. SOUTHWELL, J. SINCLAIR. Uma revisão da remoção / inativação de cianobactérias e cianotoxinas no tratamento de água potável. **Anal. Bioanal. Chem**, p. 1705 – 1714, 2010.

J. WOŁOSZYŃSKA. Das fitoplâncton einiger Javanian visto mit Berücksichtigung des Sawa-Planktons. **Int. Acad. Sci. Cracoviae**. v. 6, p. 649 – 709, 1912.

KOMÁREK, J., ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota oscillatoriales. In Süßwasserflora von Mitteleuropa (B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner & M. Schagerl, eds.). **Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, münchen**, v.19, p.1-759, 2005.

K. TERAOKA, S. OHMORI, K. IGARASHI, I. OHTANI, M. WATANABE, K. HARADA, E. ITO, M. WATANABE. Estudos de microscopia eletrônica de intoxicação experimental em camundongos induzidos por cilindrospermopsina isolada da alga azul-verde *Umezakia natans* **Toxicon**, p. 833 – 843, 1994.

LORENZEN, C.J. Determination of chlorophyll and feo-pigments: spectrophotometric equations 1. **Limnology and Oceanography** v.12, p. 343-346, 1967.

M.A. BURFORD, K.L. MCNEALE, F.J. MCKENZIE-SMITH. The role of nitrogen in promoting the toxic cyanophyte *Cylindrospermopsis raciborskii* in a subtropical water reservoir Freshw. **Biol**. V. 51, p. 2143-2153, 2006.

MARIA DO CARMO BITTENCOURT-OLIVEIRA, ARIADNE DO NASCIMENTO MOURA, TALITA CAROLINE HEREMAN, ENIO WOCYLI DANTAS. Increase in Straight and Coiled *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) Populations under Conditions of Thermal De-Stratification in a Shallow Tropical Reservoir. **Journal of Water Resource and Protection**. v.3, p. 245-252, 2011.

MOORE, D.; O'DONOHUE, M.; SHAW, G. & CRITCHLEY, C. "Potential triggers for akinete differentiation in an Australian strain of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (AWT 205/1)", **Hydrobiologia**, v. 506-509, p. 175- 180, 2003.

MOORE, D.; MCGREGOR, G. B.; GLEN, S.. Morphological changes during akinetes germination in *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanobacteria). **Journal of Phycology**, v. 40, n. 6, p. 1098-1105, 2004.

MORENG, J. A.; Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, p. 27, 2008.

OLIVEIRA, F.H.P.C.D., DANTAS, Ê.W. Sodium and nitrate favor the steady state of cyanobacteria in a semiarid ecosystem. p. 41, 2019.

PADISÁK, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. **Archiv fuer Hydrobiologie**. v. 107, p. 563-593, 1997.

PADISA K J, CROSSETTI LO, NASELLI-FLORES L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia** v. 621, p.1–19, 2003.

P. DE TEZANOS PINTO, E. LITCHMAN. Efeitos interativos das razões N: P e luz na abundância do fixador de nitrogênio, **Oikos**, v. 119, p. 567 - 575, 2010.

PERH-PB. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Relatório Parcial da Consolidação de Informações e Regionalização. Resumo Executivo. João Pessoa: Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – **SEMARH**, 2004.

PRESSING, M.; HERODEK, M.; VÖRÖS, L. & KÓBOR, I. Nitrogen fixation, ammonium and nitrate uptake during a bloom of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Lake Balaton. **Archiv fuer Hydrobiologie**. v. 136, p. 553-562, 1996.

ROCHA JUNIOR CAN, COSTA MRA, MENEZES RF, ATTAYDE JL, BECKER V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnol. Bras**. v.30, p.106, 2018.

SAKER, ML., NEILAN, BA. AND GRIFFITHS, DJ. Two morphological forms of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) isolated from Solomon Dam, Palm Island, Queensland. **Journal of Phycology**, vol. 35, n. 3, p. 599-606, 1999.

SAKER, M. L; THOMAS, A, D, NORTON, J. H. Cattle mortality attributed to the toxic cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* in an outback region of north Queensland, **Environmental Toxicology**. v. 14. n. 1. p. 179-182. 1999.

SCHEFFER M, RINALDI S, GRAGNANI A, MUR LR, VAN NES EH. On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes. **Ecology**. v. 78, p. 272–282, 1997.

SILVA, RANIELLE DAIANA DOS SANTOS, JULIANA SANTOS SEVERIANO, DAYANY AGUIAR DE OLIVEIRA, CAMILA FERREIRA MENDES, VANESSA VIRGÍNIA BARBOSA, MATHIAS AHII CHIA, AND JOSÉ ETHAM DE LUCENA BARBOSA. “Spatio-Temporal Variation of Cyanobacteria and Cyanotoxins in Public Supply Reservoirs of the Semi-Arid Region of Brazil: Cyanobacteria and Cyanotoxins in Reservoirs of the Semi-Arid Region”. **Journal of Limnology** p.79, 2019.

S. MEREL, D. WALKER, R. CHICANA, S. SNYDER, E. BAURÈS, O. THOMAS. Estado do conhecimento e preocupações sobre a proliferação de cianobactérias e cianotoxinas. **Environ. Int**. v. 59, p. 303 – 327, 2013.

S. WOOD, K. JENTZSCH, A. RUECKERT, DP HAMILTON, SC CARY. Retratando comunidades de cianobactérias no Lago Okaro com experimentos de germinação e análises genéticas. **FEMS Microbiological Ecology**, v. 67, p. 252 – 260, 2008.

VASCONCELOS, J. F.; BARBOSA, J. E. L.; DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O. Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 39, n. 2, p. 1-20, 2011.

V. ISVÁNOVICS, H.M. SHAFIK, M. PRÉSING, S. JUHOS. Growth and phosphate uptake kinetics of the cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) in throughflow cultures. **Freshw. Biol**. v. 43, p. 257-275, 2000.

X. LI, TW DREHER, R. LI. Uma visão geral da diversidade, ocorrência, genética e produção de toxinas de espécies formadoras de florescimento de *Dolichospermum* (*Anabaena*) **Algas Nocivas**. v. 54, p. 54-68, 2016.

Z. SU, M. SHEETS, H. ISHIDA, F. LI, WH BARRY. Saxitoxina bloqueia ICa tipo L J. Pharmacol. **Exp. Ther**, p. 324 – 329, 2004.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. Limnological Analyses. 3. ed. Nova York: Springer Verlag. p.429, 2000.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, a São Sebastião e São João pela ajuda divina pela realização desse sonho. A meus pais, irmã e Giovanny, pelo apoio não só emocional como financeiro sem eles meu sonho não teria sido possível. E também meu Padrinho. A Mônica Costa (in memoriam) e a Joselito Mendes que me acolheu em sua casa como filha para que assim eu tivesse acesso à universidade.

A minhas tias Anunciada e Etiene, aos meus amigos da universidade Anna Cunha, Elisa (pelo apoio financeiro e emocional), Myllena, Maria Eduarda, Thales, Mikaela, Iorana, Maysa, Gabriela por todo apoio e ajuda durante a graduação. Agradecer a Mércia, pois sempre que precisei ela esteve presente e sempre incentivou e perguntou como estava o andamento do meu curso e sempre torceu por mim. E também em especial a minha coorientadora que sem as correções dela Camila Mendes eu não teria conseguido. Camila te agradeço do fundo do meu coração pela sua dedicação, seu jeito de ensinar e toda atenção foram essenciais para que este trabalho fosse concluído. Aprendi muito com você. 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. Sua participação na minha trajetória foi fundamental, pois despertou em mim o amor pela Ecologia, particularmente, pela limnologia. Entrei na universidade já sabendo que queria participar do seu laboratório, sou sua fã pelo excelente profissional que és, hoje sou muito realizada na minha área e apaixonada pelas cianobactérias. Serei eternamente grata por ser meu pai científico.

Agradeço à Juliana Severiano por todos os conhecimentos passados, pelas críticas e conselhos que me fizeram crescer tanto e desejar estudar ainda mais. Sou fã da excelente profissional que és e de sua inteligência, és um ser humano incrível.

Ranielle Daiana Santos é uma honra tê-la avaliando meu trabalho. A Prof^a Josseline Molozzi, por ter aceitado participar da minha banca, é uma honra sabendo de suas grandes contribuições.

Aos meus professores e em especial aos que ficaram no coração e que me capacitaram a ser a profissional que me tornei, Silvio, Ana Lúcia, Silvério, Josilane, Adrienne, Cibelle, Vanessa, Avany, Valberto, Sérgio, Brito, Aline de Manman e Lívia.

Ao meu grupo CD com as meninas que foi muito importante como ajuda, risos e lágrimas, eu amo vocês.

Agradecer especialmente a minha amiga Jéssica Dantas que me ajudou demais na graduação nas minhas dúvidas, que me deu apoio em tudo, que pegou na minha mão de verdade. E a Klisman que me ajudou muito nessa reta final na produção do meu tcc, sempre gostei dele, mas nunca esperei tanta ajuda. Meu muito obrigada aos dois.

Um agradecimento especial a Dilma Maria de Melo Trovão por tanto conhecimento adquirido e pela bolsa de extensão, só eu sei o quanto essa ajuda financeira me foi valiosa durante a graduação.

Ao técnico de laboratório, Adriano Cordeiro, por toda ajuda e pelo pão doce maravilhoso. A Dona Mari e Edilma, pela dedicação e cuidado.

Agradeço ao Laboratório de Ecologia Aquática (Leaq) pelos momentos de partilhas tão alegres e por toda ajuda e aprendizado, e que me acolheu especialmente no dia do meu aniversário, o sim, de Juliana Severiano foi tão sensacional que ela nem imagina, a todos que fazem o Leaq eu amo vocês de verdade. A essa universidade maravilhosa, que foi a melhor escolha para realizar meu sonho, eu amo cada cantinho desse lugar, tenho muito orgulho de ser parte da história dessa instituição.

Meu mais sincero obrigada a todos eu amo vocês com toda força do meu coração e da minha alma.