

## Fatores abióticos e o crescimento de cianobactérias em reservatórios de águas superficiais no estado de Pernambuco

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.026-040>

### Andreia Souza Regis

Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), Recife, Pernambuco, Brazil.

E-mail: [andrearegis@com.br](mailto:andrearegis@com.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8473-4666>

Fabio Henrique Portella Corrêa de Oliveira

Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), Recife, Pernambuco, Brazil.

E-mail: [fabiohenrique@compesa.com.br](mailto:fabiohenrique@compesa.com.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2337-3489>

### Ronaldo Faustino da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

E-mail: [ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br](mailto:ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8097-9420>

### Eduardo José Alécio de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

E-mail: [eduardoalecio@recife.ifpe.edu.br](mailto:eduardoalecio@recife.ifpe.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3081-3865>

### RESUMO

**Objetivo:** Analisar a relação entre fatores físico-químicos e abióticos climáticos em relação à ocorrência de gêneros de cianobactérias em reservatórios de água superficial utilizados para abastecimento público no estado de Pernambuco.

**Revisão da Literatura:** São apresentadas informações sobre cianobactérias e as consequências do lançamento de efluentes não tratados na eutrofização de águas superficiais com efeitos no crescimento de cianobactérias e consequências para organismos aquáticos e humanos e clima em regiões de Pernambuco onde estão localizados reservatórios de água,

**Método:** Abordagem quali-quantitativa descritiva e exploratória para a análise de variáveis abióticas (pH, CE., Turbidez, Cor, Cálcio, Magnésio, Cloretos, Sulfato, Nitrogênio, Fosfato, Alcalinidade, Dureza, Ferro, Manganês, Alumínio e chuva) e bióticas (densidade de Cianobactérias), coletadas da Companhia de Saneamento de Pernambuco — COMPESA. As amostras foram provenientes de reservatórios eutróficos de água doce em Pernambuco coletadas entre 2010 e 2020.

**Resultados e Discussão:** O gênero de cianobactéria mais frequente foi *Raphidiopsis/Cylindrospermopsis*, encontrado em abundância em todos os reservatórios, onde o aumento de cor, turbidez e pH foram positivamente correlacionados com a presença de *Microcystis* e *Raphidiopsis/Cylindrospermopsis*, e negativamente com o aumento da tenacidade. Também foi observada uma correlação positiva entre a dureza e o aumento da densidade de Planktorhrix.

**Implicações da pesquisa:** Gerar diretrizes para o abastecimento de água potável apresentando ferramentas para a compreensão das condições abióticas que influenciam o crescimento de cianobactérias, a fim de delinear estratégias de controle ou serviços, 'mitigação em ETAs.

**Originalidade/Valor:** Gerar informações úteis na avaliação de parâmetros abióticos e densidade de cianobactérias, observados durante um longo período (10 anos), mostrando correlações positivas/negativas em águas superficiais utilizadas para consumo humano.

**Palavras-chave:** Fitoplâncton, Limnologia, Qualidade da água, Barragem.

## 1 INTRODUÇÃO

A água, um recurso finito e cada vez mais limitado, tem sofrido um estresse crescente devido à alta demanda, mudanças climáticas e poluição (Li & Wu, 2024). As atividades antrópicas que desempenham um papel na proliferação exagerada de cianobactérias tóxicas incluem a construção de barragens, desvios de rios e desmatamento ( Igwaran et. al., 2024 ) e aquelas causadas pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais ( Memamalini et al., 2017). A alta biomassa de cianobactérias em águas doces ocorre devido a fatores abióticos, como quantidades excessivas de nutrientes, incluindo fósforo e nitrogênio, altas temperaturas, intensidade de luz e baixa profundidade dos leitos d'água, associados a fatores bióticos (Vanderley et al., 2021).

Os efluentes lançados sem tratamento ou com tratamento deficiente apresentam alto teor de compostos orgânicos e combinados com as altas temperaturas em território brasileiro. Eles incentivam a proliferação de cianobactérias em reservatórios de água usados para abastecimento público. Em altas concentrações, as cianobactérias conferem sabor e odor à água, e sua presença nos sistemas de tratamento leva a uma menor eficiência de decantação e aumento da sobrecarga do filtro (Bittencourt-Oliveira & Molica, 2003). A situação é agravada pelo potencial das cianobactérias em produzir metabólitos tóxicos para seres aquáticos e humanos, chamados cianotoxinas (Carmichael et al., 2001, Yuan & Yoon, 2021)

Reservatórios localizados próximos a grandes centros urbanos são geralmente mais propensos à eutrofização, constituindo ecossistemas favoráveis para a expansão de florações de algas e cianobactérias. De acordo com Paerl & Paul (2012), esses ambientes são os mais apropriados para o crescimento de cianobactérias, que normalmente são encontradas em águas alcalinas neutras (pH de 6,0 a 9,0), em temperaturas entre 15°C e 30°C e com altas concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. No entanto, outros fatores, como o volume de água nos reservatórios e a disponibilidade de luz (transparência e turbidez) na coluna d'água, influenciam significativamente a estrutura e a dinâmica da comunidade de cianobactérias e suas toxinas em um ecossistema aquático (Santos Silva et. al., 2020).

Assim, o presente trabalho teve como foco os frequentes episódios de florações ocorridos em quatro reservatórios de água superficial utilizados para abastecimento público no Estado de Pernambuco, utilizando dados históricos de monitoramento do Controle de Qualidade da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), e precipitação pluviométrica. do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA, 2024), a fim de possibilitar uma melhor compreensão das interações entre a comunidade de cianobactérias e variáveis climáticas abióticas físicas, químicas/físico-químicas hídricas e pluviométricas, possibilitando uma melhor compreensão dos fatores precursores das florações que podem servir de base para ações preventivas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

As cianobactérias são bactérias fotossintéticas produtoras de oxigênio que respondem por grande parte da produtividade aquática. No entanto, algumas cianobactérias de água doce podem produzir várias toxinas, potencialmente tóxicas para humanos e outros animais (Yuan & Yonn, 2021). O envenenamento de animais selvagens, animais domésticos e peixes por cianotoxinas é preocupante durante as florações, e as toxinas podem ser neurotóxicas, hepatotóxicas ou paralisantes de mariscos. O caso humano mais emblemático ocorreu no Brasil, na cidade de Caruaru-PE em 1996, quando foi relatado um surto de insuficiência hepática aguda em um centro de hemodiálise em 116 pacientes, dos quais 76 morreram, sendo 52 óbitos atribuídos a uma síndrome conhecida mundialmente como "Síndrome de Caruaru". Amostras subsequentes de fitoplâncton do reservatório de abastecimento de água da cidade demonstraram que as cianobactérias toxigênicas eram o principal grupo fitoplanctônico, representando 99% da densidade total do fitoplâncton (Carmichael et al., 2001; Azevedo et al., 2002).

A produção de cianotoxinas pelas cianobactérias é afetada por mudanças em fatores abióticos, como nutrientes, luz e temperatura da água (Ferrandes et al., 2009; Vanderley et al., 2021). Embora em algumas condições o número de cianobactérias seja considerado seguro, pode haver florações potencialmente tóxicas, cuja lacuna científica precisa ser preenchida, com o entendimento de quais são os "gatilhos" que podem levar à produção de cianotoxinas, bem como a indicação de quais condições as condições ambientais são as mais propícias às florações em reservatórios. De acordo com Glibert & Burkholder (2011), muitas florações potencialmente tóxicas estão associadas ao aumento da eutrofização. No entanto, nem todas as espécies respondem igualmente às mudanças no ambiente. Este é o grande desafio para realmente determinar quais florações estão relacionadas à eutrofização e tentar entender por que algumas espécies proliferam sob condições específicas de nutrientes e variáveis abióticas.

De acordo com Vanderley et al. (2021) Os impulsionadores de florações persistentes são menos compreendidos quando condições como luz, temperatura e nutrientes favorecem o crescimento de cianobactérias durante todo o ano, especialmente em regiões com períodos recorrentes de seca. Relatórios da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) mostraram florações tóxicas e atóxicas entre 2005 e 2012, com predominância de cepas tóxicas a partir de outubro de 2005 (Jardim et al., 2014).

Em relação às condições climáticas, o estado de Pernambuco está localizado na Zona Intertropical, com predominância de altas temperaturas cujo clima varia devido à interferência do relevo e das massas de ar. Três regimes principais de precipitação são observados dependendo da região. Na Zona da Mata e na Região Metropolitana do Recife, onde estão localizadas as cidades de Lagoa do Carro e São Lourenço da Mata, respectivamente, predomina o período chuvoso outono-

inverno (fevereiro a julho), com períodos de estiagem e acentuada influência marítima. ; No Agreste, onde estão localizadas as cidades de Belo Jardim e Garanhuns, observam-se climas e precipitações que variam de acordo com o relevo; e, no Sertão, há escassez de chuvas, que se concentra em um curto período de três meses, de janeiro a março (Lucena, 2023).

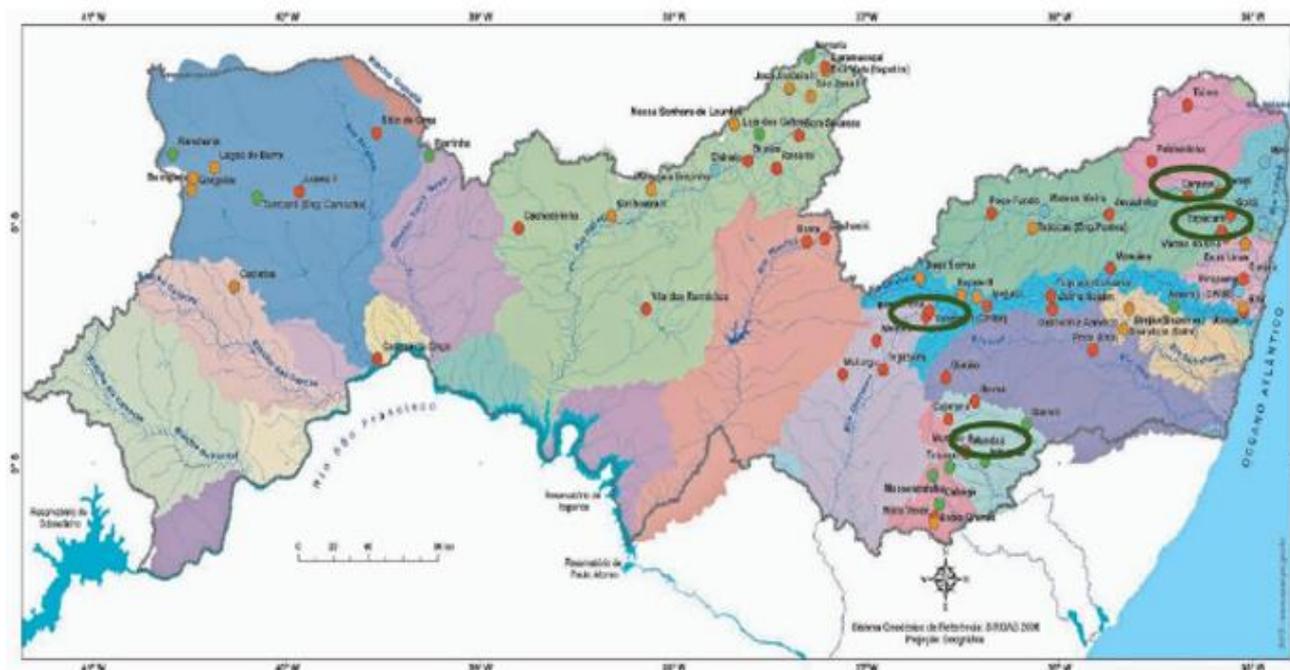
### 3 METODOLOGIA

Trata-se de uma abordagem quali-quantitativa, descritiva e exploratória com a análise de dados sobre variáveis abióticas (pH, Condutividade elétrica, Turbidez, Cor, Cálcio, Magnésio, Cloretos, Sulfato, Nitrogênio, Fosfato, Alcalinidade, Dureza, Ferro, Manganês, Alumínio e índices pluviométricos) e bióticas (densidade de cianobactérias). Os parâmetros físico-químicos foram coletados junto à Coordenadoria de Tratamento e Laboratórios da Companhia de Saneamento do Estado de Pernambuco — COMPESA e os índices pluviométricos do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (2024).

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Reservatórios de água doce eutróficos no estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil). Os reservatórios têm um histórico de cianobactérias acima de 10.000 células / mL , com gêneros potencialmente produtores de cyanotoxinas . Os reservatórios estudados foram: Barragem de Tapacura, São Lourenço da Mata ( 8°31'21"S 35°11'14"W, bacia do rio Capibaribe, volume de 104.871 10 \*m\*), Barragem de Carpina, Lagoa do Carro ( 7 ° 53'28 "S 35 ° 21'45" W, bacia do rio Capibaribe, volume 270.000 10 \* m \* ), Barragem de Mundaú, Garanhuns ( 8 ° 58'59 "S 36 ° 28'27" W, bacia do Rio Mundaú, volume 19.283 10 \* m \* ) e Barragem Pedro Moura Júnior, Belo Jardim ( 8°20'43.6"S 36°22'29.2"W, Bacia do Rio Ipojuca , volume 29.336 10 m?) (APAC. 2020).

Figura 1 Mapa do estado de Pernambuco com a área dos reservatórios Tapacurá, Carpina, Pedro Moura Júnior e Mundaú circulado em verde.



### 3.2 FÍSICO. VARIÁVEIS QUÍMICAS E BIOLÓGICAS AVALIADAS

O monitoramento foi realizado pelo COMPESA seguindo o Plano de Amostragem com base na legislação então vigente, Portaria de Consolidação nº 05, Anexo XX, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), atualizada pela Portaria nº 888/2021 (BRASIL, 2021). O período histórico definido foi de 10 anos, sendo correlacionado com períodos de sazonalidade, bem como a identificação dos principais gêneros de cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas. Os parâmetros analisados neste estudo estão listados na Tabela 1.

As análises físico-químicas, bem como a identificação dos principais gêneros de cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas foram realizadas no Laboratório Central do COMPESA. Os parâmetros analisados foram alcalinidade, alumínio, cálcio, cloretos, condutividade elétrica, cor, dureza, ferro, fósforo total, magnésio, manganês, nitrogênio total, PH, sulfato, turbidez, identificação e contagem de cianobactérias. Todos os parâmetros foram analisados de acordo com o referencial normativo da APHA.

### 3.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS

Os dados foram verificados quanto a nossos dados e cada situação foi analisada individualmente, pois poderiam refletir erros de medida, além de serem incitativas de uma característica da população analisada. A calculação da Abundância Relativa de cianobactérias foi adaptada de Lobo & Leighton (1986), e os gêneros de cianobactérias se enquadraram nas seguintes categorias: dominante (densidade de cianobactérias >50% da densidade total das amostras) e abundante (densidade maior que a densidade média, dependendo do número total de cianobactérias

presentes na amostra). A normalidade das variáveis foi verificada por meio do teste de Shapiro Wilk realizado no software R (versão 4.0.2). A análise do Modelo Linear Generalizado (GLM), um teste não paramétrico de Regressão Linear Múltipla, foi utilizada para apontar a correlação conjunta entre as variáveis abióticas em relação à densidade de cianobactérias. A correlação é estabelecida com base nos coeficientes gerados para cada variável. A correlação é significativa quando  $P < 0,05$ . Análises multivariadas foram realizadas para verificar a influência de variáveis abióticas nos gêneros de cianobactérias. Para isso, foram construídas matrizes de variáveis bióticas e abióticas. Uma matriz biótica foi construída com dados de densidade de cianobactérias. Foram considerados apenas os gêneros que representassem pelo menos 5% da densidade total em relação à densidade total de cianobactérias em cada reservatório. As variáveis bióticas foram transformadas em  $\log(x+1)$  e todos os dados abióticos foram padronizados usando a função de alcance do software R (versão 4.0.2). A influência das variáveis abióticas nas densidades de cianobactérias foi determinada por meio da análise de redundância (RDA). Este ensaio foi escolhido devido à menor distribuição desses dados, calculada a partir do comprimento do eixo fornecido pela análise de correspondência destendenciada (DCA). No DCA, os diversos dados de múltiplas variáveis são ordenados, visando reduzir a dimensionalidade dos dados e analisar quais são os principais gêneros envolvidos com as variáveis abióticas. A análise de redundância (RDA) é a forma canônica de análise de componentes principais (PCA), que seleciona a combinação linear de variáveis ambientais que fornece a menor soma dos resíduos totais dos dados da tabela de ajuste aos gêneros de cianobactérias. A função ordistep foi utilizada para selecionar as variáveis, exceto aquelas que apresentaram valores de inflação superiores a 20%, para evitar colinearidade entre as variáveis. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (versão 4.0.2, pacote vegano).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os reservatórios têm histórico de toxicidade potencial com concentrações superiores ao "gatilho" (20.000 células/mL) determinado para monitoramento semanal de contagens de cianobactérias e análise de cianotoxinas, conforme estabelecido na Portaria nº 888/2021 (Brasil, 2021). A Tabela 1 apresenta os resultados médios e desvios-padrão para cada parâmetro analisado de 2010 a 2020. Os resultados das Figuras 2 a, b, c e c relacionam o período em que as amostras foram coletadas, com o índice pluviométrico e a densidade de cianobactérias.

Os reservatórios Tapacurá, Pedro Moura Jnior e Mundaú apresentaram picos de densidade de cianobactérias (cel/mL) durante os períodos de baixa pluviosidade durante a maior parte do período monitorado. De acordo com Chaves et al. (2013) e Brasil et. al. (2016), os ecossistemas tropicais podem ser eutrofizados durante o período seco, devido à concentração de matéria orgânica, favorecendo a floração de cianobactérias. Ainda existem estudos que afirmam que os períodos de maior precipitação

pluviométrica aumentaram a floração das cianobactérias de resultados e a concentração de nutrientes devido ao processo de mistura, ocasionando a ressuspensão desses nutrientes ( Meng et al. , 2016; Zhou et al. , 2016). Esses estudos corroboram o encontrado no reservatório de Carpina, cujos resultados oscilaram, apresentando picos de cianobactérias em alguns períodos de maior pluviosidade.

Outros estudos realizados neste mesmo reservatório também confirmaram o aumento das contagens associadas à alta pluviosidade (Oliveira et al., 2015; et al., 2012). Teixeira de Oliveira et al., 2011 e Dantas et al., 2012).

A Figura 3 mostra a classificação de acordo com o cálculo da Abundância Relativa de cianobactérias, de acordo com a classificação proposta por Lobo & Leighton (1986). Observou-se que nenhum gênero foi dominante, enquanto os gêneros Raphidiopsis / Cyindrospermopsis . Planktothrix e Microcystis foram abundantes em pelo menos um dos reservatórios analisados. Raphidiopsis / Cyindrospermopsis foi abundante em todos os ecossistemas, enquanto Planktothrix foi abundante nos reservatórios Pedro Moura Júnior e Carpina, e o gênero Microcystis abundante em Tapacura e Munda,

De acordo com Vieira et al. (2020) a presença do gênero Cyindrospermopsis em um reservatório na região semiárida cearense foi abundante durante o período de monitoramento, ocorrendo durante todo o período amostrado e presente em todos os pontos de estudo. Cyindrospermopsis e Planktothrix também foram relatados em um reservatório no Rio Grande do Norte (Oliveira et al., 2019). No estado da Paraíba Vasconcelos et al. (2011) observaram a frequência dos gêneros Cyindrospermopsis , Planktothrix e Microcystis em reservatórios, enquanto Vanderley et al. (2021), avaliando fatores abióticos em reservatórios na região semiárida do nordeste do Brasil, também encontraram Microcystis como gêneros abundantes e dominantes e Raphidiopsis.

Tabela 1 parâmetros bióticos e bióticos dos reservatórios Tapacurá, Pedro Moura Júnior, Carpina e Mundai, em Pernambuco monitorados no período de 2010 a 2020.

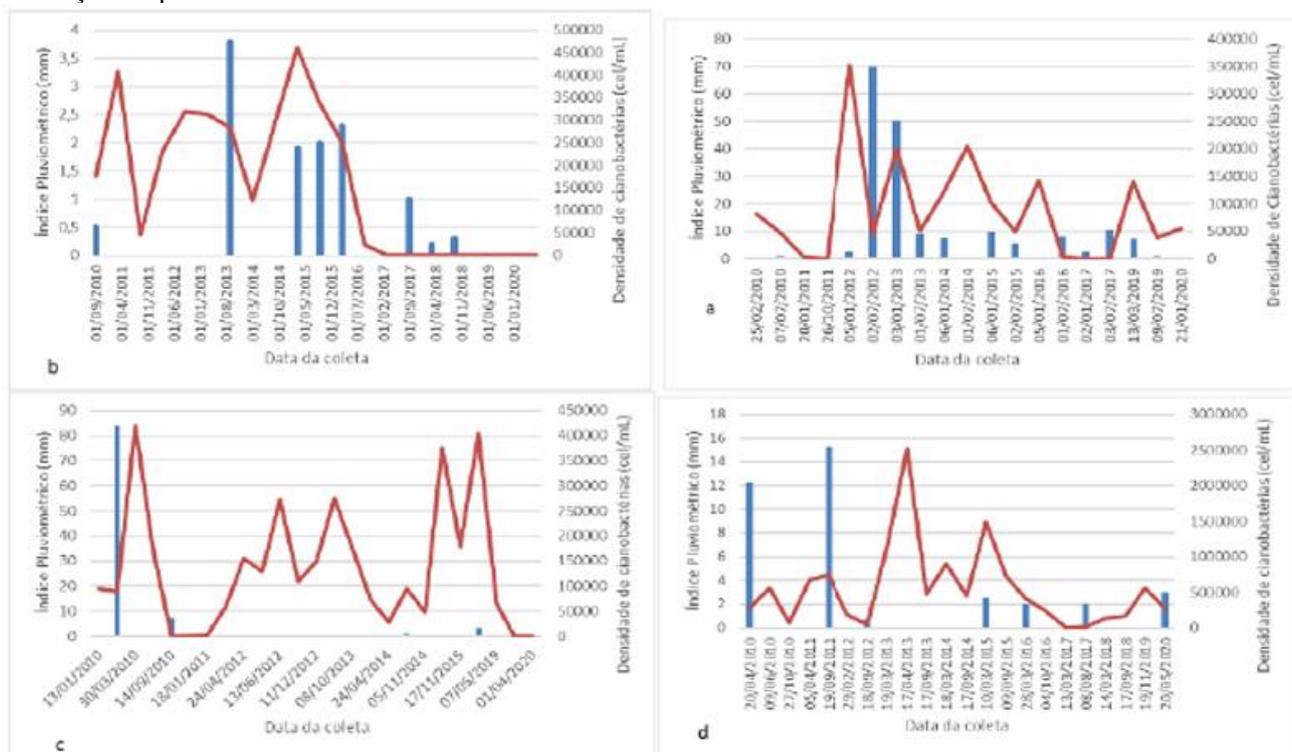
Reservoir	pH	CE	UT	Color (Hz)	Here (mg/L)	mg (mg/L)	CL (mg/L)	OS <sub>4</sub> (mg/L)	N Total (mg/L)	OP <sub>4</sub> (mg/L)	Alkaline (mg/L)	Toughness (mg/L)	Faith (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)	IP	Cyanobacteria Density ( cel / mL )
Tapacurá	7.52	448	15	123	12	8	83	12	1.14	0.47	82	61	0.3	0.1	0.4	10	86188
DP	0.35	65	11	69	3	two	15	10	1.12	0.25	13	12	0.3	0.0	0.3	18	88739
Pedro Moura Júnior	7.40	2086	9	112	62	93	714	42	1.75	0.13	114	536	0.6	0.6	0.4	4	134733
DP	0.72	1637	8	68	44	81	639	51	2.23	0.10	105	430	0.6	1.2	0.6	16	123994
Carpina	8.12	2124	9	116	29	83	715	47	1.61	0.24	204	415	0.2	0.2	0.4	1	114577
DP	0.32	492	5	63	10	18	149	13	0.99	0.10	55	60	0.1	0.1	0.2	1	156690
Mundai	8.38	681	30	260	21	12	134	3	1.80	0.19	137	100	0.4	0.1	0.4	two	546233
DP	0.71	96	15	119	5	3	45	6	1.42	0.10	34	23	0.6	0.0	0.7	4	567709

Fonte: Os autores. CE= Condutividade elétrica (uS/Cm a 20°C); UT= Unidade de turbidez; Alcalino. =Alcalinidade; IP= Precipitação pluviométrica média mensal (mm).

As cianobactérias são potencialmente produtoras de toxinas, com alguns gêneros produzindo mais de um tipo de toxina em uma única floração (EPA, 2024). Os gêneros dominantes identificados, Raphidiopsis / Cyindrospermopsis. Planktothrix e Microcystis , estão entre os táxons que produzem diversas toxinas. Raphidiopsis geralmente produz cilindrospermopsina cuja ação tóxica primária ocorre no fígado e nos rins. Também pode causar danos ao DNA e bioacumular em invertebrados e

seres aquáticos vertebrados (EPA, 2024). Os gêneros *Microcystis* e *Planktothrix* estão associados à produção de neurotoxinas como a anatoxina-a, capaz de afetar o sistema nervoso central ligando-se a receptores neuronais.

Figura 2 Densidade de Cianobactérias x Índice de Precipitação em Reservatórios — a) Tapacurá ; b) Carpina; c) Pedro Moura Júnior e d) Mundaí. A linha vermelha indica o índice pluviométrico (mm) na data da coleta e a coluna azul indica a variação temporal da densidade de cianobactérias.



O gênero *Microcystis* também é potencialmente produtor de microcistinas, as toxinas mais comuns, sendo a microcistina -LR hepatotóxica e a forma mais estudada. As microcistinas podem ser encontradas intracelularmente ou dissolvidas em água e podem se bioacumular em invertebrados e vertebrados (EPA, 2024). Vale ressaltar que o caso mais grave de intoxicação humana por cianotoxinas ocorreu na cidade de Caruaru-PE, onde foram encontradas microcistinas e cylindrospermopsina nos materiais utilizados para tratar a água utilizada na hemodiálise (Azevedo et. al., 2002).

A contagem de células de cianobactérias é um exemplo claro de valores que apresentam uma lacuna, ou seja, valores de desvio padrão elevados (Tabela 1). No entanto, não devem ser excluídos, uma vez que, tendo em conta a grande variação possível nas análises ambientais, optou-se por manter todos os dados, uma vez que os valores anômalos encontrados podem ser um reflexo da situação real do ambiente. Como esperado, por se tratar de dados ambientais, a distribuição de algumas variáveis não seguiu uma distribuição normal, portanto, foram utilizados testes não paramétricos das variáveis.

Após a análise dos Modelos Lineares Generalizados (GLM), todas as variáveis abióticas apresentaram correlação significativa com a densidade de cianobactérias ( $p < 0,05$ ) em todos os reservatórios estudados. A variável abiótica Nitrogênio Total apresentou correlação indireta em todos

os reservatórios. A influência das variáveis abióticas na densidade dos gêneros de cianobactérias é mostrada na RDA presente na Figura 4. O modelo gerado explicou 24,52% da variação na densidade de gêneros de cianobactérias envolvidos nas florações nos reservatórios estudados. Ambos os eixos foram significativos ( $p < 0,05$ ) e explicaram 56,24% (eixo 1) e 33,75% (eixo 2) do percentual total do modelo.

Figura 3 Classificação da Abundância Relativa de cianobactérias nos reservatórios Tapacurá, Pedro Moura Júnior, Carpina e Mundaú em Pernambuco no período de 2010 a 2020.

Genres/Reservoirs	Tapacurá	Pedro Moura Junior	Carpina	Mundaú
<i>Raphidiopsis / Cyndrospermopsis</i> sp.	Abundant	Abundant	Abundant	Abundant
<i>Planktothrix</i> sp.	Rare	Abundant	Abundant	Rare
<i>Geitlerinema</i> sp.	Rara	Rara	Rara	Rara
<i>Merismopedia</i> sp.	Rara	Rara	Rara	Rara
<i>Planktolingbya</i> sp.	Rara	Rara	Rara	Rara
<i>Anabaenopsis</i> sp.	Rara	Rara	Rara	Rara
<i>Coelomon</i> sp.	Rara	Rara	Rara	Rara
<i>Dolichospermum</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Microcystis</i> sp.	Abundant	Rare	Rare	Abundant
<i>Romeria</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Oscillatoria</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Radiocystis</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Aphanocapsa</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Pseudanabaena</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Cuspidothrix</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Chroococcus</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare
<i>Sphaerospermopsis</i> sp.	Rare	Rare	Rare	Rare

Fonte: Os autores.

O eixo 1 da RDA separou as amostras do reservatório de Mundaú, que foram negativamente correlacionadas com o eixo, enquanto as demais amostras apresentaram relação positiva. Embora presentes no lado positivo do eixo 1, as amostras do reservatório de Carpina foram predominantemente distribuídas no lado negativo do eixo 2, enquanto as amostras de Tapacurá e Pedro Moura Júnior foram plotadas majoritariamente no lado positivo deste. Quanto às variáveis abióticas, 7). turbidez (-0,61) e PH (-0,65) foram negativamente associados a esse eixo. Analisando as variáveis bióticas, a dureza da densidade (0,61) foi positivamente associada ao eixo 1, enquanto a cor (- de *Microcystis* (-2,61) e *Raphidiopsis/Cyndrospermopsis* (-1,18) estão negativamente relacionadas ao eixo 1, enquanto as densidades de *Planktothrix* (-2,41) foram negativamente relacionadas ao eixo 2.

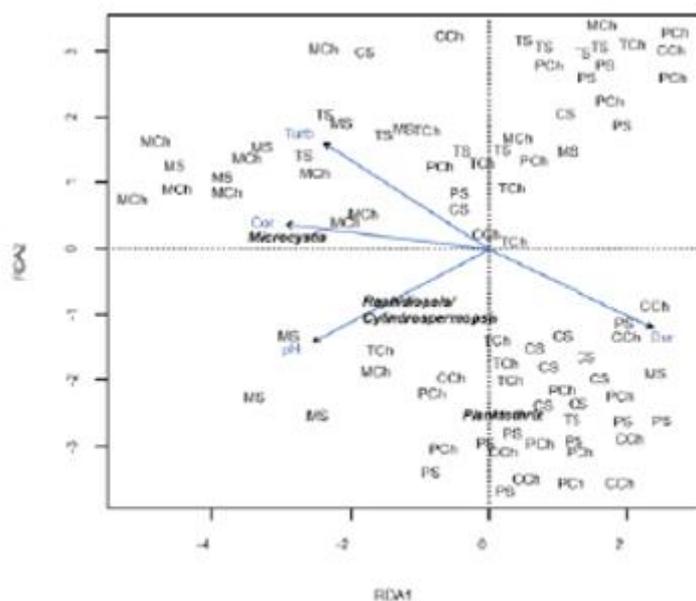
Embora nenhuma variável climática isoladamente tenha apresentado correlação significativa com as amostras, foi possível observar que os conjuntos foram formados dependendo da sazonalidade. Dessa forma, observou-se que maiores valores de cor, turbidez e pH. e menores concentrações de dureza favoreceram o crescimento de *Microcystis* e *Raphidiopsis/Cyndrospermopsis*. Estudos de laboratório ( Patifio et. al. , 2023) mostraram que baixas concentrações de cálcio estimulam o crescimento unicelular de *Microcystis aeruginosa* , bem como a presença de magnésio, atuando interativamente. Efeitos redutores de crescimento de *Cyndrospermopsis raciborskii* em alta

concentração de cálcio foram relatados por Carneiro et. al. (2011), o que pode corroborar parcialmente o efeito da dureza no metabolismo. Por outro lado, o aumento da dureza e do pH favoreceu o crescimento de Planktothrix.

Observou-se que o reservatório de Mundaú teve florações caracterizadas principalmente por espécies do gênero *Microcystis*, enquanto o reservatório de Carpina teve suas florações caracterizadas principalmente pelo gênero *Planktothrix*. Os reservatórios Tapacurá e Pedro Moura Júnior apresentaram alternância temporal nos gêneros que compõem as florações.

O pH nos reservatórios estudados apresentou valores que variaram de neutro-alcalino a alcalino (Tabela 1), o que é corroborado em vários outros estudos (Moura et al., 2004; Câmara et al., 2015; Tardim et al., 2014), em estudos de reservatórios eutróficos nos Estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Minas Gerais. De acordo com Esteves (2011), as algas podem interferir no valor do pH através da assimilação de  $\text{CO}_2$  pois durante o processo fotossintético podem elevar o pH do ambiente, principalmente onde floresce o cianobactérias, o que pode justificar valores de pH acima da neutralidade.

Figura 4 Diagrama de Análise de Redundância (RDA) mostrando a variação na densidade de gêneros de cianobactérias envolvidos em florações em relação às variáveis abióticas nos reservatórios de Carpina, Mundaú, Pedro Moura Júnior e Tapacurá no período de 2010 a 2020, em Pernambuco.



TS — Reservatório de Tapacurá, período seco; TCh - Reservatório de Tapacurá, período chuvoso; MS - Reservatório de Mundaú, período seco; MCh - Reservatório de Mundaú, período chuvoso; PS - Reservatório Pedro Moura Júnior, período seco; PCh — Reservatório Pedro Moura Júnior, período chuvoso; CS - Reservatório de Carpina, período seco; Dur = dureza; Turb = turbidez

Em relação à turbidez, estudos têm mostrado uma correlação negativa dessa variável com a densidade de cianobactérias, possivelmente devido à interceptação dos raios solares, comprometendo o processo fotossintético (Dantas et al., 2012; Jardim et al., 2014; Oliveira; Fonseca; Lopes, 2019; Santos Silva et. al., 2020). No entanto, os resultados deste trabalho mostraram que o gênero

Microcystis seu crescimento foi favorecido por águas mais turvas. O comportamento de Tks pode ser justificado pelo fato de que representantes desta espécie possuem aerótopos em suas células, o que lhes permite mover-se verticalmente na coluna d'água. Durante os períodos de maior radiação solar, a espécie migra o epilímnio dos reservatórios para realizar a fotossíntese e isso permite seu crescimento. O desenvolvimento excessivo desses organismos cria um efeito de sombreamento no reservatório, impedindo que os raios solares atinjam as camadas inferiores, onde estão localizados outros gêneros de cianobactérias. Esta competição não mostrou inibição, no entanto, de espécies do gênero Raphidiopsis / Cyndrospermopsis ambientes. Em que, segundo Reynolds et al (2002) tolera pouca luz desta forma, pode-se inferir que o aumento da turbidez não favorece diretamente o crescimento de Microcystis, mas sim que o crescimento dessas bactérias cria uma condição que inibe o crescimento de outras (competição interespecífica) e, como resultado, sua densidade aumenta. Esse mesmo raciocínio pode ser usado para explicar o efeito da cor no crescimento de Microcystis

A presença de cátions divalentes como cálcio e magnésio, medidos pela água A 'dureza, participam de reações fotossintéticas e ajudam na agregação de espécies formadoras de colônias (CARNEIRO et. al., 2013). O cálcio e o magnésio também atuam no equilíbrio entre nitrogênio e carbono em espécies filamentosas. como o gênero Planktothrix (WALTER et al, 2016). Os resultados apresentados na RDA (Figura 4) mostram uma correlação positiva entre a dureza e o aumento da densidade de Planktothrix, apesar do vetor apresentar maior representação no eixo 1.

Embora alguns estudos indiquem que o fósforo e o nitrogênio são os nutrientes limitantes para a produção primária, estes não foram significativamente correlacionados com a densidade de cianobactérias neste estudo, um resultado semelhante também foi observado por Sonobe et al. (2019) ao estudar o crescimento de cianobactérias em reservatórios no estado de São Paulo. Sabe-se o quanto esses elementos são importantes para o desenvolvimento e manutenção de espécies de cianobactérias em ambientes eutróficos, porém, quando o número de parâmetros é ampliado, o peso de outras variáveis é revelado, destacando-se a importância da ação sinérgica entre as diversas variáveis bióticas e abióticas para a ecologia das cianobactérias.

## 5 CONCLUSÃO

A análise dos dados permitiu observar que os reservatórios estudados apresentaram, ao longo de dez anos de história, resultados de densidade de cianobactérias acima de 20.000 células/mL no período estudado de 2010 a 2020. As cianobactérias mais frequentemente identificadas em episódios com densidade acima de 20.000 células/mL pertenciam ao gênero potencialmente toxigênico Raphidiopsis Cyndrospermopsis, que foram encontradas em todos os reservatórios em condições abundantes. Abundância de Planktothrix e Microcystis, potencialmente toxigênico, também foram observados nos reservatórios Pedro Moura/Carpina e Tapacurá/Mundaú, respectivamente,



demonstrando o risco potencial de captação de água para tratamento e consumo humano. De acordo com a Análise de Redundância (RDA), é possível afirmar que o aumento de cor, turbidez e pH foram positivamente correlacionados com a presença dos gêneros *Microcystis* e *Raphidiopsis/Cylindrospermopsis* e negativamente correlacionados com o aumento da dureza; bem como foi observada uma correlação positiva entre a dureza (calcário e magnésio) e o aumento da densidade do gênero *Planktothrix*, embora o vetor tenha uma correlação maior com o eixo 1. A inibição do crescimento (densidade) de muitos gêneros de cianobactérias, observada pela abundância relativa, não pôde ser atribuída à concentração de fósforo total, embora estivesse presente em altas concentrações ao longo do período avaliado, e nem mesmo foi significativamente correlacionada na análise da RDA.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao programa de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Recife e Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA.

## REFERÊNCIAS

- Azevedo, M. F. O., Carmichael, W. W., Jochimsen, E. M., et al. (2002). Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru, Brazil. *\*Toxicology\**, 181/182.
- Bittencourt-Oliveira, M., & Molica, R. (2003). Cianobactéria invasora. *\*Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento\**, (30).
- Brasil, Ministério da Saúde. (2017). Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017.
- Brasil, Ministério da Saúde, Gabinete do Ministro. (2021). Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021.
- Brasil, J., Attayde, J. L., Vasconcelos, F. R., et al. (2016). Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. *\*Hydrobiologia\**, 770(1). <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2578-5>
- Câmara, F. R. A., Rocha, O., & Pessoa, E. K. R., et al. (2015). Alterações morfofuncionais da comunidade fitoplancônica durante anomalia pluvial em um reservatório tropical. *\*Brazilian Journal of Biology\**, 75(3). <https://doi.org/10.1590/1519-6984.19513>
- Carmichael, W. W., Azevedo, S. M. F. O., An, J. S., Molica, R. J. R., et al. (2001). Human fatalities from cyanobacteria. *\*Chemical Perspectives\**, 109(7).
- Carneiro, R. L., Alípio, A. C. N., & Bisch, P. M. (2011). Evidence for cyanotoxins: The inhibitory effect of calcium on *\*Cylindrospermopsis raciborskii\** (cyanobacteria) metabolism. *\*Brazilian Journal of Microbiology\**, 42(4).
- Chaves, F. L. B., Lima, P. F., Leitão, R. C., et al. (2013). Influence of rainfall on the trophic status of a Brazilian semiarid reservoir. *\*Acta Scientiarum - Biological Sciences\**, 35(4). <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v35i4.18261>
- Dantas, E. W., Bittencourt-Oliveira, M. do C., & Moura, A. do N. (2012). Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. *\*Limnologia\**, 42(1). <https://doi.org/10.1016/j.limno.2011.09.002>
- EPA - United States Environmental Protection Agency. (2024). Species of cyanobacteria that produce. Retrieved from <https://www.epa.gov/habs/learn-about-harmful-algae-cyanobacteria-and-cyanotoxins-overview>
- Esteves, F. A. (2011). *\*Fundamentos de limnologia\** (3rd ed.). Interciência.
- Fernandes, V. de O., Cavati, B., & de Oliveira, L. B., et al. (2009). Ecologia de cianobactérias: Fatores promotores e consequências das florações. *\*Oecologia Brasiliensis\**, 13(2). <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1302.03>
- Glibert, P. M., & Burkholder, J. A. M. (2011). Harmful algal blooms and eutrophication: Strategies for nutrient uptake and growth outside the Redfield comfort zone. *\*Chinese Journal of Oceanology and Limnology\**, 29(4). <https://doi.org/10.1007/s00343-011-0502-z>
- Hemamalini, J., Mudgal, B., & Sophia, I. D. (2017). Effects of domestic and industrial effluent discharges into the lake and their impact on the drinking water in Pandravedu village, Tamil Nadu, India. *\*Global NEST Journal\**, 19(2).

Igwaran, A., Kayode, A. J., Moloantoa, K. M., et al. (2024). Cyanobacteria harmful algae blooms: Causes, impacts, and risk management. *\*Water, Air, Soil Pollution\**, 235(71). <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06782-y>

IPA. (2024). Sessão de índices pluviométricos. Recuperado de [https://www.ipa.br/indice\\_pluv.php](https://www.ipa.br/indice_pluv.php)

Jardim, A., Sperling, E. V., & Jardim, B. F. M., et al. (2014). Fatores determinantes das florações. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001026>

Lira, G., Moura, A., Vilar, M., et al. (2014). Vertical and temporal variation in phytoplankton assemblages correlated with environmental conditions in the Mundaú reservoir, semi-arid northeastern Brazil. *\*Brazilian Journal of Biology\**, 74(3 Suppl 1). <https://doi.org/10.1590/1519-6984.27612>

Lobo, E., & Leighton, G. (1986). Estructuras comunitarias de la fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la Zona Central de Chile. *\*Revista de Biología Marina\**.

Lucena, R. T. L. (2023). Projeto de Lei do Plano Plurianual do Estado de Pernambuco - período 2024-2027. Recuperado de <https://www.alepe.pe.gov.br/wp-content/uploads/2023/PL/PPA-2024-2027.pdf>

Meng, P.-J., Tew, K. S., Hsieh, H.-L. Y., et al. (2017). Relationship between magnitude of phytoplankton blooms and rainfall in a hyper-eutrophic lagoon: A continuous monitoring approach. *\*Marine Pollution Bulletin\**, 124(2). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.040>

Paerl, H. W., & Paul, V. J. (2012). Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *\*Water Research\**, 46.

Patiño, R., Christensen, V. G., Graham, J. L., et al. (2023). Toxic algae in inland waters of conterminous United States. *\*Water\**, 15(15). <https://doi.org/10.3390/w15152808>

Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., et al. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *\*Journal of Plankton Research\**, 24(5). <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>

Santos Silva, R. D., Severiano, I. S., Oliveira, D. A., et al. (2020). Spatio-temporal variation of cyanobacteria and cyanotoxins in public supply reservoirs of the semi-arid region of Brazil. *\*Journal of Limnology\**, 79(1).

Sonobe, H. G., Lamparelli, M. C., Cunha, D. G. F. (2019). Spatial and temporal assessment of sanitary aspects of public water supply reservoirs in São Paulo, Brazil, with emphasis on cyanobacteria and cyanotoxins. *\*Engenharia Sanitária e Ambiental\**, 24(5). <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019193351>

Teixeira de Oliveira, M., Rocha, O., & Peret, A. (2011). Structure of the phytoplankton community in the Cachoeira Dourada reservoir (GO/MG), Brazil. *\*Brazilian Journal of Biology\**, 71(3). <https://doi.org/10.1590/1519-69842011000400003>

Vanderley, R. F., Kemal, A. G., & Becker, V., et al. (2021). Abiotic factors driving cyanobacterial biomass and composition under perennial bloom conditions in tropical latitudes. *\*Hydrobiologia\**, 848. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04504-7>



Vasconcelos, J. F., Barbosa, J. E. L., & Diniz, C. R., et al. (2011). Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: Ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. *\*Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia\**, 39.

Vieira, R. de S., Oliveira, E. C. C., & Ricarte, E. M. F., et al. (2020). Dominância de cianobactérias na composição do fitoplâncton em reservatório de abastecimento no semiárido cearense. *\*Research, Society and Development\**, 9(11). <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9476>

Walter, J., Lynch, F., & Battchikova, N., et al. (2016). Calcium impacts carbon and nitrogen balance in the filamentous cyanobacterium *\*Anabaena\** sp. PCC 7120. *\*Journal of Experimental Botany\**, 67(13). <https://doi.org/10.1093/jxb/erw112>

Yuan, Z., & Yoon, K. (2021). Overview of PCR methods applied for the identification of freshwater toxigenic cyanobacteria. In *\*Cyanobacteria: Advances in taxonomy and applications\** (pp. 1–27). IntechOpen.

Zhou, J., Qin, B., & Casenave, C., et al. (2016). Effects of turbulence on alkaline phosphatase activity of phytoplankton and bacterioplankton in Lake Taihu. *\*Hydrobiologia\**, 765(1). <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2413-2>