

# MONITORAMENTO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA COMO FERRAMENTA PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA EM BACIA INTEGRANTE DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

## MONITORING THE PHYTOPLANKTONIC COMMUNITY AS A TOOL FOR SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT IN THE BASIN PART OF THE SÃO FRANCISCO RIVER INTEGRATION PROJECT

Ariane Silva Cardoso 1  
Érika Alves Tavares Marques 2  
Hidaiane Fayga Matias Caldas 3  
Maria do Carmo Martins Sobral 4

**Resumo:** O estudo avaliou a qualidade da água no Alto Curso do rio Paraíba, inserido no Eixo Leste do Projeto de Integração do rio São Francisco, antes e após a interligação das bacias, no período de 2011 a 2019, considerando o fitoplâncton como bioindicador da qualidade da água. O projeto de transposição de bacias foi desenvolvido para minimizar o déficit hídrico no semiárido nordestino e o monitoramento da qualidade da água é fundamental para uma gestão integrada e sustentável. As Cyanobacteria foram mais expressivas em relação aos demais grupos e dominou o ambiente de estudo, apresentando concentrações acima do limite recomendado pela legislação brasileira e espécies potencialmente produtoras de cianotoxinas. Verificou-se que o pH e os sólidos dissolvidos totais vem influenciando a predominância das Cyanobacteria. A DBO, nitrogênio, fósforo, turbidez e sólidos dissolvidos totais não atenderam às exigências da legislação brasileira vigente, destacando o fósforo acima dos limites durante todo monitoramento.

**Palavras-chave:** Fitoplâncton. Bioindicador. Transposição de Bacias. Qualidade de Água. Semiárido.

**Abstract:** The study evaluated the water quality in the Upper Paraíba River Course, inserted in the East Axis of the São Francisco River Integration Project, before and after the interconnection of the basins, in the period from 2011 to 2019, considering phytoplankton as a bioindicator of the quality of the Water. The basin transposition project was developed to minimize the water deficit in the semi-arid region of the Northeast and water quality monitoring is essential for an integrated and sustainable management. Cyanobacteria were more expressive in relation to the other groups and dominated the study environment, with concentrations above the limit recommended by Brazilian legislation and species potentially producing cyanotoxins. It was found that pH and total dissolved solids have influenced the predominance of Cyanobacteria. BOD, nitrogen, phosphorus, turbidity and total dissolved solids did not meet the requirements of current Brazilian legislation, highlighting phosphorus above limits during all monitoring.

**Keywords:** Phytoplankton. Bioindicator. Basin Transposition. Water Quality. Semiarid.

- 1 Pós-doutoranda na Universidade do Estado da Bahia (UNEB). Doutora em Engenharia Civil (UFPE). Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPE). Mestre em Engenharia Ambiental (UFRPE). Graduada em Ciências Biológicas (UNEB). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5595590568057397>. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6252-6225>. E-mail: [arianecardoso8@gmail.com](mailto:arianecardoso8@gmail.com)
- 2 Pós-doutoranda na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPE). Mestre em Tecnologia Ambiental (ITEP). Graduada em Ciências Biológicas (UFRPE), Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6496402766685784>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6615-3347>. E-mail: [erikatm-bio@gmail.com](mailto:erikatm-bio@gmail.com)
- 3 Doutoranda na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil (UFPE). Graduada em Engenharia Civil (UFCG). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9615099193014979>. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6252-6225>. E-mail: [hidaianecaldas@gmail.com](mailto:hidaianecaldas@gmail.com)
- 4 Doutora em Saneamento Ambiental (TUberlin - Alemanha). Mestre em Engenharia Civil (U. WATERLOO - Canadá). Graduada em Engenharia Civil (UFPE). Professora na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4167833928991356>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8945-1606>. E-mail: [mariadocarmo.sobral@gmail.com](mailto:mariadocarmo.sobral@gmail.com)

## Introdução

O estado da Paraíba sofre com longos períodos de estiagem, que associados às elevadas demandas para os diferentes usos, resultam na diminuição progressiva das águas acumuladas nos reservatórios. Assim, em longos períodos de seca, são comuns problemas relacionados ao abastecimento das cidades, com a adoção de medidas de racionamento das águas; problemas de qualidade das águas em função dos baixos volumes armazenados; ou mesmo o colapso do sistema de abastecimento, quando os reservatórios secam completamente. Diante dessa problemática, o Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) foi uma das alternativas adotadas pelo Governo Federal para minimizar os efeitos da seca no semiárido, aumentando a oferta de água para o Nordeste Setentrional (OLIVEIRA, 2018).

A transposição de água entre bacias é um método de manejo empregado entre diversos países, mas em geral, é norteado por diversos conflitos em relação, principalmente, à manutenção da qualidade da água e dos ecossistemas (ROSSITER *et al.*, 2015). Daga *et al.* (2020) destacam que os riscos ambientais de tais projetos de grande escala, devem causar impactos sobre a biodiversidade ligados à bioinvasão e homogeneização, e recomendam alternativas para resolver conflitos de demanda de água.

Morais *et al.* (2021) destacam que a chegada da água na bacia do rio Paraíba deu início a uma nova etapa da gestão compartilhada das águas na região, entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAPB).

É importante que a qualidade das águas nos reservatórios seja satisfatória, a fim de que se possa atender aos requisitos qualitativos dos diferentes usos. O monitoramento da qualidade da água é importante instrumento de gestão a fim de garantir uso sustentável e a disponibilidade hídrica para os diversos usos da água, em especial, o abastecimento humano. Nesse contexto, o uso da comunidade fitoplanctônica, com destaque para as Cyanobacteria, recomendado pela legislação brasileira como parâmetro indicador da qualidade da água, é capaz de avaliar as condições ambientais e o estado de trofia dos corpos hídrico (CARDOSO *et al.*, 2017).

O objetivo deste estudo é analisar a qualidade da água na bacia do rio Paraíba, antes e após a interligação das bacias no Eixo Leste do Projeto de Integração do rio São Francisco, considerando o fitoplâncton como bioindicador da qualidade da água, com intuito de subsidiar a gestão sustentável da água no Alto Curso do rio Paraíba.

## Metodologia

### Área de estudo

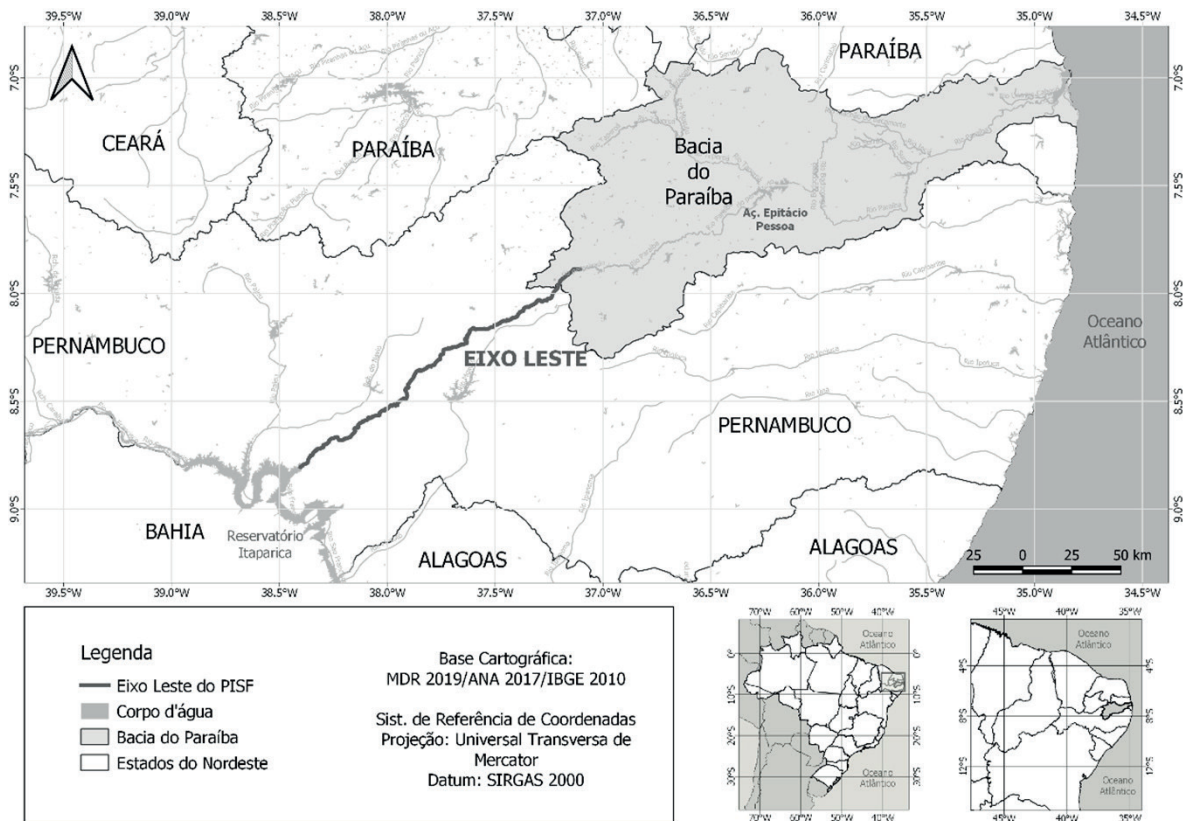
A região do Alto Curso do rio Paraíba, inserida na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, foi escolhida como área de estudo por fazer parte do Eixo Leste do PISF (Figura 1), considerando o ponto inicial de mistura de diferentes bacias no Eixo, e pela importância econômica e ambiental para a região semiárida paraibana, apresentando reservatórios de usos múltiplos, responsáveis pelo abastecimento de água de muitos municípios da Paraíba.

A bacia do rio Paraíba abrange 85 municípios e corresponde a 34% do território paraibano (XAVIER *et al.*, 2012). Ao longo da bacia foram construídos vários reservatórios públicos para abastecimento humano e animal, irrigação, pesca, lazer e turismo. A bacia está dividida nas seguintes regiões fisiográficas: sub-bacia do rio Taperoá, Alto, Médio e Baixo Cursos do rio Paraíba (PARAÍBA, 2001).

A região do Alto Curso do rio Paraíba (Figura 1) está localizada na parte Sudoeste do Planalto da Borborema e drena uma área de aproximadamente 6.717,39 km<sup>2</sup>. Na margem esquerda os afluentes são os rios do Meio e Sucurú, e na margem direita recebe as contribuições dos rios Monteiro e Umbuzeiro (ARAGÃO, 2008). Nesta região os principais reservatórios públicos são o Epitácio Pessoa, também conhecido como Boqueirão, com capacidade de 411 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, Sumé com

capacidade de  $44,86 \times 10^6 \text{ m}^3$ , Cordeiro com capacidade de  $69,96 \times 10^6 \text{ m}^3$ , Poções com capacidade de  $29,86 \times 10^6 \text{ m}^3$  e Camalaú com capacidade de  $46,43 \times 10^6 \text{ m}^3$  (PARAÍBA, 2001).

**Figura 1.** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (PB), no Eixo Leste do Projeto de Integração do rio São Francisco



**Fonte:** Os autores (2021).

Os reservatórios que abrangem a área de estudo são o Poções, Camalaú e Epitácio Pessoa. O reservatório Poções está situado no riacho Mulungu, no município de Monteiro, aproximadamente 15 km da jusante da sede municipal, possui um espelho d'água de 773,41 ha, bacia hidrográfica de 656 km<sup>2</sup>, drena uma área de 6.717,39 km<sup>2</sup> e seu principal uso é para o abastecimento público. O reservatório Camalaú, atualmente, é responsável pelo abastecimento da cidade de Camalaú, mas suas águas são utilizadas também para irrigação e piscicultura (MOURA *et al.*, 2013).

O açude Epitácio Pessoa localiza-se na cidade de Boqueirão (PB) e sua bacia hidráulica ocupa um território de 12.410 km<sup>2</sup> (ANA, 2017). Foi construído na década de 1950 com a finalidade de perenizar o rio Paraíba, gerar energia elétrica, jamais efetivada, e um ano após a inauguração passou a abastecer a cidade de Campina Grande. Ao longo dos anos passou a ter sua água associada a outros usos, além do abastecimento público, como irrigação, pesca artesanal, dessedentação de animais e lazer. O açude Epitácio Pessoa situa-se numa região das mais secas do estado devido aos baixos índices pluviométricos e à má distribuição de chuvas na região. Esta região possui clima semiárido quente, do tipo BSw<sup>h</sup> (classificação climática de Köppen), com a estação seca atingindo um período que compreende de 8 a 10 meses e com precipitação pluvial média anual variando de 400 a 600 mm (XAVIER *et al.*, 2012; MOURA *et al.*, 2013).

## Procedimentos metodológicos

Os dados físico-químicos e biológicos para análise dos indicadores da qualidade da água foram obtidos a partir de sete estações de amostragem, em 16 campanhas realizadas semestralmente

no período de 2011 a 2019, monitorados pelo PISF para o Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia (PBA-22), que abrange os seguintes trechos lóticos e lênticos no Alto Curso do rio Paraíba: Q68 – Reservatório Poçoões, Q69 – Montante do reservatório Camalaú, Q70 – Reservatório Camalaú, Q71 – Rio do Meio, Q72 – Remanso do reservatório Epitácio Pessoa, Q73 – Reservatório Epitácio Pessoa e Q74 – Jusante do reservatório Epitácio Pessoa. O PBA-22 do PISF é realizado por meio da parceria entre o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e o Grupo de Gestão Ambiental (GGA) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Para o exame da comunidade fitoplanctônica, as amostras foram coletadas na superfície da lâmina d'água (até 30 cm), com garrafas de polipropileno com capacidade de 1 L e preservadas com lugol acético. A identificação dos organismos foi realizada, sempre que possível, até o nível de espécie, a partir de amostras examinadas em microscópio binocular, com até 1.000 vezes de aumento, considerando características morfológicas e morfométricas das fases vegetativas e reprodutivas, com base em bibliografia especializada.

A análise quantitativa foi realizada em microscópio invertido Zeiss (Axiovert 25), de acordo com o método de sedimentação de Utermöhl (1958). A partir dos resultados de densidade foi calculada a abundância relativa (LOBO; LEIGHTON, 1986).

Os resultados obtidos foram relacionados aos padrões indicados na Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005, para águas de classe 2 (BRASIL, 2005), de acordo com enquadramento estabelecido pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba (SUDEMA, 1988) baseado na Resolução CONAMA 20/1986 que trata deste tema (BRASIL, 1986).

A análise multivariada teve como objetivo correlacionar as variáveis físico-químicas com as biológicas. A Análise de Correspondência Canônica (ACC) analisa as relações lineares existentes entre dois conjuntos de variáveis (MINGOTI, 2005). As informações de cada conjunto de variáveis serão sintetizadas em combinações lineares, considerando a maximização da correlação entre as combinações lineares de cada conjunto de variáveis. Para verificar a relação das variáveis ambientais e as comunidades taxonômicas, foi utilizada a ACC, utilizando o programa R Studio 4.1.0. Para tal foram utilizados conjuntos de dados físico-químicos (matrizes de dados ambientais), separados em função das características indicadoras dos parâmetros (variáveis de pressão ou de tipologia) e conjunto de dados biológicos, com as espécies identificadas de cada grupo e sua quantificação, a fim de identificar qual conjunto de variáveis físico-químicas interferem no conjunto biológico. A partir da análise integrada serão realizados prognósticos sobre os possíveis impactos no ecossistema aquático integrante do projeto antes e após a interligação das bacias, considerando indicadores da qualidade da água.

## Resultados e discussão

### Avaliação da comunidade fitoplanctônica

A composição florística da comunidade fitoplanctônica no Alto Curso do rio Paraíba nos reservatórios monitorados na área de estudo apresentou predominância das clorofíceas e cianobactérias, corroborando com trabalhos desenvolvidos em outros reservatórios do Nordeste, como Jucazinho (NASCIMENTO, 2010); Castanhão (MOLISANI *et al.* 2010), Coremas-Mãe d'Água e Armando Ribeiro Gonçalves (CARDOSO *et al.*, 2017), dentre outros.

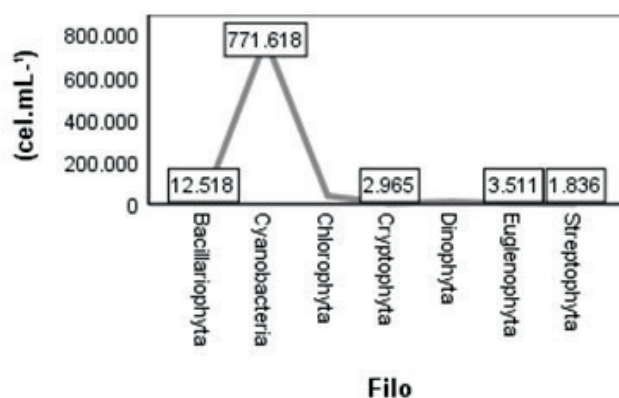
Foram encontrados os filos Chlorophyta, Cyanobacteria, Bacillariophyta, Euglenophyta, Dinophyta, Cryptophyta e Streptophyta (Tabela 1). Cyanobacteria foi mais representativa em relação à densidade (Figura 2).

**Tabela 1.** Riqueza da comunidade fitoplancônica na área de estudo, no período de 2011 a 2019

Filo	Riqueza
Chlorophyta	36
Cyanobacteria	21
Bacillariophyta	13
Euglenophyta	10
Dinophyta	5
Cryptophyta	2
Streptophyta	1

Fonte: Os autores (2021).

**Figura 2.** Densidade da comunidade fitoplancônica na área de estudo, no período de 2011 a 2019



Fonte: Os autores (2021).

Dentre os táxons encontrados, Chlorophyta se destacou com maior riqueza de espécies, com exceção do ponto Q71 (Rio do Meio), apresentando 13% para Chlorophyta e 31% para Cyanobacteria (Tabela 2). Já nos pontos a montante do reservatório Camalaú (Q69), e no remanso do reservatório Epitácio Pessoa (Q72) as Chlorophyta dividiram espaço com as Cyanobacteria. Os pontos citados acima são trechos lóticos da bacia e são intermitentes. Portanto, as condições físico-químicas provenientes do menor volume de água em determinados períodos, podem estar relacionadas à maior riqueza de Cyanobacteria nesses locais.

As Cyanobacteria são organismos que conseguem se adaptar facilmente às condições adversas no ambiente, como diminuição do volume hídrico nos corpos hídricos e águas eutrofizadas. Em contrapartida, as Chlorophyta são encontradas em maior número em corpos hídricos tropicais e oligotróficos, sendo consideradas cosmopolitas. Por isso, ambos os grupos são considerados bioindicadores da qualidade da água, Cyanobacteria de águas eutrofizadas e Chlorophyta de águas de boa qualidade (CARDOSO *et al.*, 2017). Vários trabalhos reportam a predominância da riqueza de Chlorophyta e Cyanobacteria em bacias hidrográficas no Nordeste brasileiro (ARAGÃO-TAVARES *et al.*, 2015; RAMOS *et al.*, 2016; CARDOSO *et al.*, 2017; CARDOSO *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

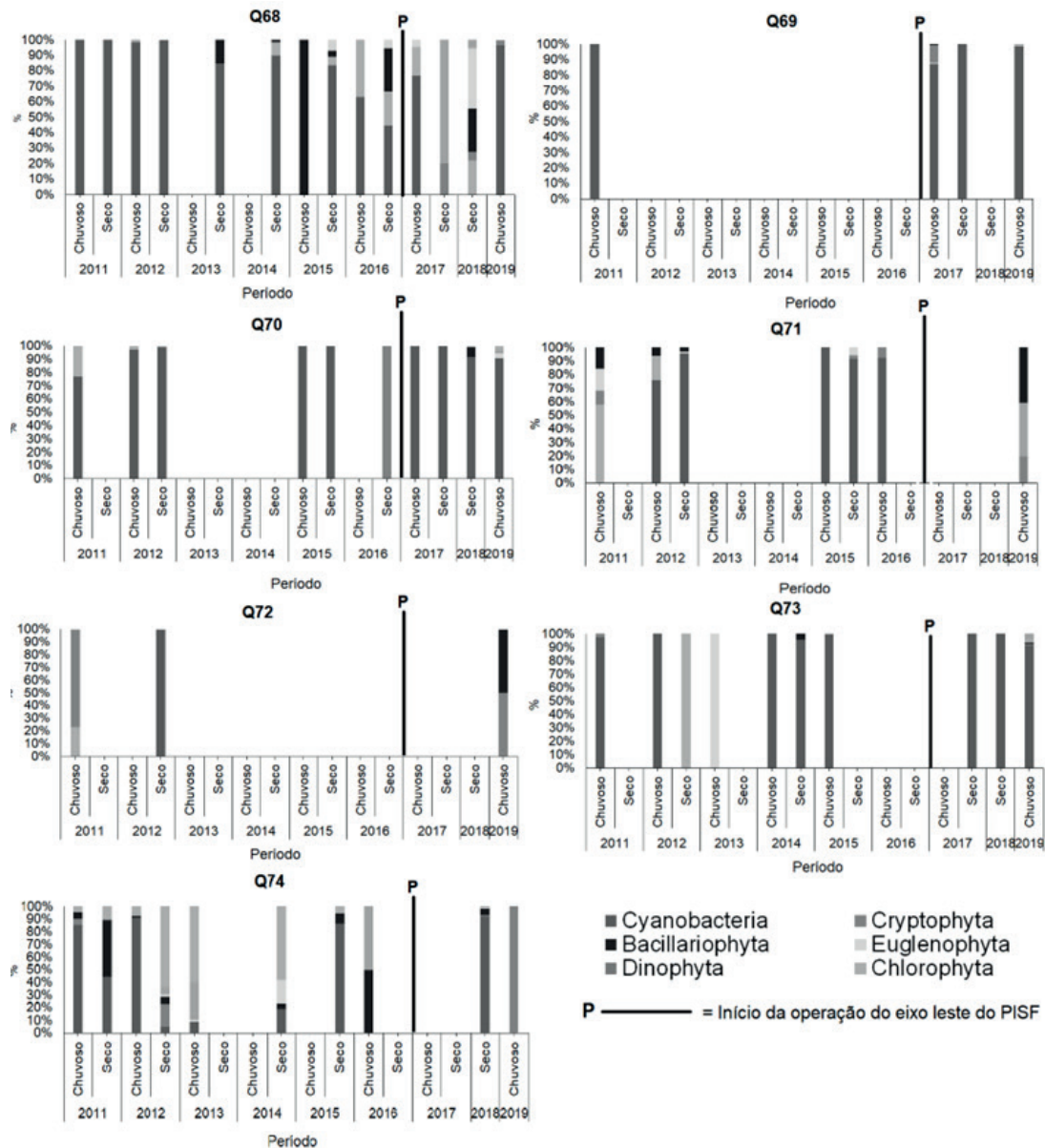
Com relação à alta densidade das Cyanobacteria foi observado que estas foram mais representativas em todos os pontos de amostragem, com exceção do Q72 (remanso do reservatório Epitácio Pessoa), com maior densidade das Euglenophyta. As densidades das cianobactérias variaram de 296.962 célula.mL<sup>-1</sup>, em Q68 (reservatório Poções) no ano de 2012 (período seco), à 32 célula.mL<sup>-1</sup>, em Q71 (rio do Meio), no ano de 2015 (período seco). Chlorophyta foi o segundo grupo registrando as maiores densidades.

Cyanobacteria representou 92% da abundância relativa, dominando o ambiente

sazonalmente e especialmente, sobretudo nos reservatórios Poções (Q68), Camalaú (Q70) e Epitácio Pessoa (Q73) (Figura 3). Os demais filós foram raros. Os primeiros registros de florações de cianobactérias na Paraíba foram reportados no Parque Solón de Lucena (BARBOSA et al., 2001), uma lagoa natural urbana localizada na capital. Dos reservatórios destinados ao abastecimento, os primeiros registros de cianobactérias ocorreram no reservatório Acauã, na região do Médio Curso do rio Paraíba, apresentando de florações de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* (BARBOSA; WATANABE, 2000; MENDES; BARBOSA, 2004).

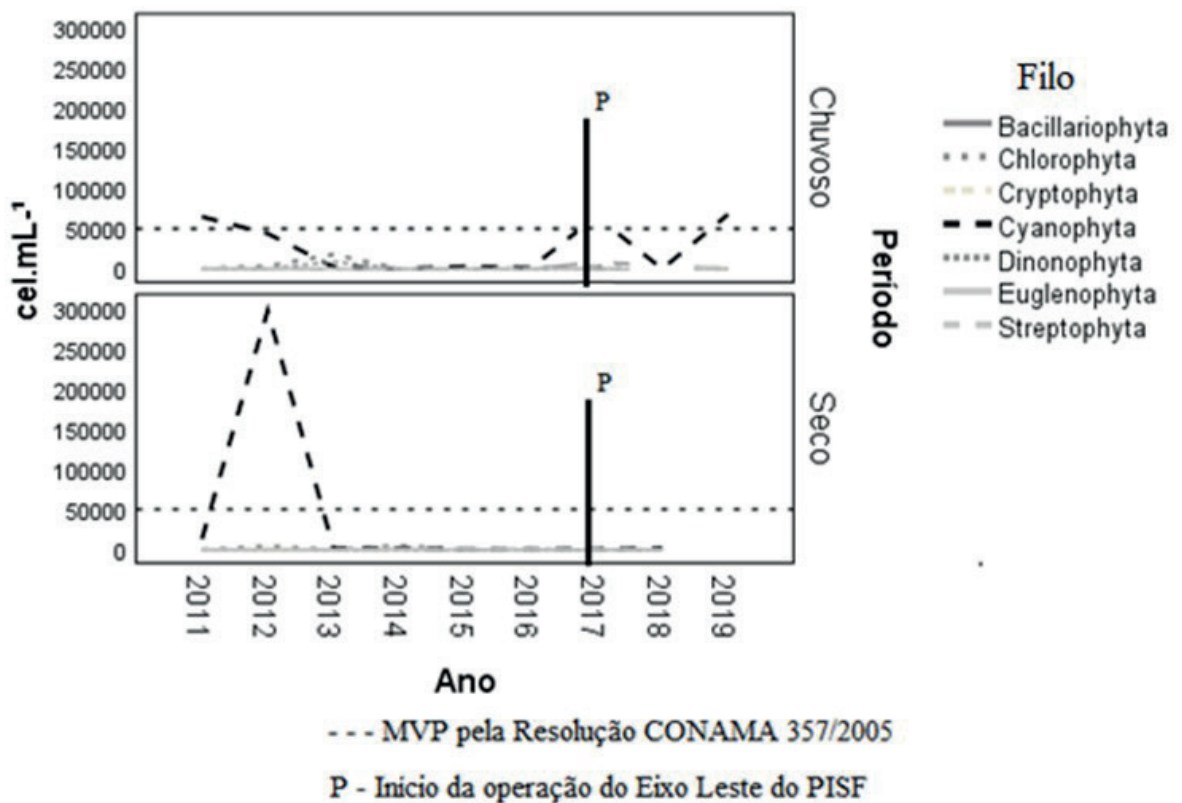
Quando comparados, os períodos seco e chuvoso, foi possível observar que as densidades mais elevadas, sobretudo das cianobactérias, ocorreram na sua maioria durante o período chuvoso, exceto no ponto Q68 (reservatório Poções) em 2012 (Figura 4). No entanto, devemos considerar que entre os anos de 2012 e 2016, ocorreu um longo período de evento crítico de estiagem no semiárido, que atingiu a região de estudo. Ocorrendo nos trechos lóticos insuficiência de água, e nos trechos lânticos, os reservatórios chegaram ao colapso hídrico (AESA, 2020).

**Figura 3.** Abundância relativa da comunidade fitoplanctônica no Alto Curso do rio Paraíba, Eixo Leste do PISF, no período de 2011 a 2019



Fonte: Os autores (2021).

Figura 4. Densidade da comunidade fitoplanctônica nos pontos de amostragem no Alto Curso do rio Paraíba, Eixo Leste do PISF, no período de 2011 a 2019



Fonte: Os autores (2021).

Durante o período de monitoramento foram observados valores de densidades acima do limite recomendado pela legislação brasileira. Estas densidades ultrapassaram o limite máximo de 50.000 célula.mL<sup>-1</sup> preconizado pela Resolução Conama 357/05, para águas de classe 2 (BRASIL, 2005), nos anos de 2011 (em Q68 com 64.828 célula.mL<sup>-1</sup> no período chuvoso), 2012 (Q68 com 296.962 célula.mL<sup>-1</sup> no período seco), 2017 (em Q69, com 65.326 célula.mL<sup>-1</sup> no período chuvoso) e em 2019 (Q68, com 67.501 célula.mL<sup>-1</sup>). Os pontos localizadas no rio do Meio (Q71) e remanso do reservatório Epitácio Pessoa (Q72) não apresentaram densidades acima do limite permitido pela legislação.

Em geral, na comunidade fitoplanctônica, o desenvolvimento de florações em altas densidades é causado pela luminosidade subaquática e de alta disponibilidade de nutrientes na água (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Entre os organismos identificados que são consideradas potencialmente produtoras de cianotoxinas, a *Raphidiopsis raciborskii* (nos pontos Q68 em 2011, 2012 e 2019, Q70 em 2012 e Q73 em 2019), a *Oscillatoria* sp. (nos pontos Q68 em 2011 e 2012 e Q74 em 2012) e a *Sphaerospermopsis torques-reginae* (no ponto Q69 em 2017), registraram ocorrência com valores acima do recomendado pela legislação brasileira.

Apesar das baixas densidades observadas para outros táxons potencialmente produtoras de cianotoxinas, como a *Aphanocapsa delicatissima*, *Chroococcus* sp., *Dolichospermum planctonicum*, *Microcystis* sp., *Geitlerinema* sp., *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena* sp. e *Pseudanabaena limnetica* (SANT'ANNA et al., 2006; RAMOS et al., 2016), a ocorrência delas chama atenção para necessidade contínua de monitoramento das cianobactérias, assim como das cianotoxinas na água, sobretudo por se tratar de águas destinadas ao abastecimento público (Q68, Q70 e Q73). Para estes casos, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do MS, incube ao operador do sistema de abastecimento realizar análise semanal de cianotoxinas no ponto de captação de água no manancial (BRASIL, 2017).

O monitoramento das cianobactérias e cianotoxinas é de extrema importância ambiental, como bioindicadoras de águas eutrofizadas, bem como sanitária, pois já foram registradas ocorrências de florações tóxicas em corpos hídricos no Nordeste brasileiro que ocasionaram danos

à saúde pública. Como o ocorrido em 1988, no reservatório Itaparica (PE-BA), levando 86 pessoas a óbito por gastroenterite pelo consumo de água com floração de cianobactérias tóxicas, e em 1996, quando 76 pacientes renais submetidos à hemodiálise numa clínica no município de Caruaru (PE) foram a óbito após contato com cianotoxinas através da água de abastecimento (CARDOSO et al., 2017).

Em relação à chegada das águas do rio São Francisco a bacia do rio Paraíba, em 2017, pode-se observar que mesmo com o aumento do aporte de água no Alto Curso do rio Paraíba, as cianobactérias foram mais expressivas, dominando esses ambientes. Além disso, apresentou valores acima do limite recomendado pela Resolução Conama 357/05 (BRASIL, 2005) em dois pontos: no reservatório Poções (Q68), com 67.501 célula.mL<sup>-1</sup> em 2019; e, a montante do reservatório Camalaú (Q69), com 65.362 célula.mL<sup>-1</sup> em 2017 (período chuvoso).

Enfatizamos que são necessários estudos complementares nos próximos anos para observar as flutuações na comunidade fitoplanctônica, e ocorrendo melhorias na qualidade da água do rio Paraíba, quais impactos interferiram na dinâmica do fitoplâncton no corpo hídrico estudado. Ainda, por apresentar altas densidades de cianobactérias, indicando risco à qualidade da água com liberação de compostos de propriedades organolépticas que conferem gosto e odor às águas (RAMOS et al., 2016), e risco à saúde pública, pela ocorrência de espécies potencialmente produtoras de cianotoxinas em reservatórios de abastecimento humano.

## Avaliação dos parâmetros físico-químicos

No período estudado o oxigênio dissolvido variou entre 1,72 mg.L<sup>-1</sup> e 13,4 mg.L<sup>-1</sup>, o pH variou entre 6,44 mg.L<sup>-1</sup> e 8,99 mg.L<sup>-1</sup>, a DBO variou entre 1,0 mg.L<sup>-1</sup> e 152,0 mg.L<sup>-1</sup>, o nitrogênio total variou entre 0,05 mg.L<sup>-1</sup> e 10,7 mg.L<sup>-1</sup>, o fósforo total variou entre 0,01 mg.L<sup>-1</sup> e 16,2 mg.L<sup>-1</sup>, a turbidez variou entre 0,1 mg.L<sup>-1</sup> e 934,9 mg.L<sup>-1</sup>, os sólidos totais variaram entre 0,25 mg.L<sup>-1</sup> e 24.143 mg.L<sup>-1</sup>. A Tabela 2 apresenta os valores medianos das concentrações dos parâmetros físico-químicos, destacando em negrito os que não atenderam às exigências da Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, com destaque para o fósforo total que permaneceu todo o período de estudo acima dos máximos valores permitidos para rios classe 2.

**Tabela 2.** Variação mediana dos parâmetros físico-químicos nas estações amostrais (Q69 a Q74) no Alto Curso do rio Paraíba, no período de 2011 a 2019

Ano / Semestre	OD (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (mg.L <sup>-1</sup> )	Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )
2011 - 1º	10,8	8,1	1,9	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>	4,3	414,5
2011 - 2º	8,6	7,3	1,9	0,9	<b>0,2</b>	24,0	462,0
2012 - 1º	7,7	7,9	<b>19,4</b>	1,8	<b>0,6</b>	11,7	488,0
2012 - 2º	7,5	7,8	<b>25,4</b>	2,5	<b>0,6</b>	12,2	<b>553,0</b>
2013 - 1º	6,6	8,3	<b>64,4</b>	<b>4,1</b>	<b>1,8</b>	35,3	10,0
2013 - 2º	10,2	7,5	<b>52,2</b>	<b>2,1</b>	<b>0,4</b>	45,1	<b>1197,0</b>
2014 - 1º	7,9	8,1	<b>33,8</b>	<b>1,8</b>	<b>1,0</b>	23,2	<b>590,5</b>
2014 - 2º	9,8	8,5	<b>21,6</b>	<b>2,1</b>	<b>0,2</b>	14,8	<b>769,5</b>
2015 - 1º	9,4	7,9	<b>36,5</b>	2,0	<b>0,3</b>	35,3	<b>521,0</b>
2015 - 2º	8,2	8,5	<b>14,0</b>	<b>1,2</b>	<b>0,2</b>	27,3	<b>626,0</b>
2016 - 1º	8,8	7,8	<b>21,2</b>	1,3	<b>0,9</b>	5,8	<b>880,0</b>
2016 - 2º	10,4	8,7	<b>21,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,2</b>	3,8	<b>531,0</b>
2017 - 1º	9,5	8,2	<b>11,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	59,3	101,0



2017 - 2º	8,6	8,2	4,4	0,7	<b>0,2</b>	42,2	11,5
2018 - 2º	9,3	8,0	<b>11,3</b>	<b>1,3</b>	<b>0,0</b>	<b>111,2</b>	0,3
2019 - 1º	6,8	7,8	<b>5,2</b>	1,0	<b>0,2</b>	31,1	167,0

Fonte: Os autores (2021).

Quando observamos os parâmetros físico-químicos após o início da operação do PISF, nota-se que ocorreu uma diminuição nas concentrações da DBO, nitrogênio total, fósforo e sólidos dissolvidos totais, contudo ainda apresentando valores fora do recomendado pela legislação brasileira. Oliveira (2018) observou outros resultados em seu estudo, apontando que a transposição das águas do rio São Francisco para o rio Paraíba tem alterado a qualidade da água nos reservatórios. Foi observado aumento na concentração de nutrientes, principalmente fósforo total, fosfato e amônia nos açudes Poções, Camalaú e Epitácio Pessoa, intensificando os processos de eutrofização dos açudes.

Destaque-se que, esta é uma pesquisa preliminar, e que são necessários novos estudos nos próximos anos para observar as variações das concentrações dos nutrientes e se estas são significativas e representam alterações na qualidade da água do rio Paraíba com a chegada da água da bacia do rio São Francisco.

### Influência da composição físico-química da água no fitoplâncton

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) das variáveis ambientais e a comunidade fitoplanctônica (Tabela 3) mostrou que o Eixo 1 e o Eixo 2 da ACC tiveram autovalores de 0,522 e 0,045, respectivamente. A taxa de explicação biaxial da ACC para as mudanças nos fatores abióticos (físico-químicos) atingiu 44,0%, e explicou um total de 90,3% da relação entre o fitoplâncton e as variáveis ambientais. Esses resultados indicaram que os Eixos 1 e 2 refletiram bem a relação entre os dois grupos de dados, e que o uso das duas matrizes para realizar a ACC e a ordenação foi eficaz. Além disso, os coeficientes de correlação entre o fitoplâncton e os dados físico-químicos foram de 0,649 e 0,498 para os eixos 1 e 2, respectivamente, refletindo ainda mais a relação entre as partes. Os parâmetros físico-químicos em áreas representadas pelo eixo 1 e por todos os eixos canônicos foram ambos significativamente correlacionados com a comunidade fitoplanctônica ( $p < 0,01$ ).

**Tabela 3.** Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as comunidades fitoplanctônicas e as variáveis ambientais dos dois primeiros eixos da ACC

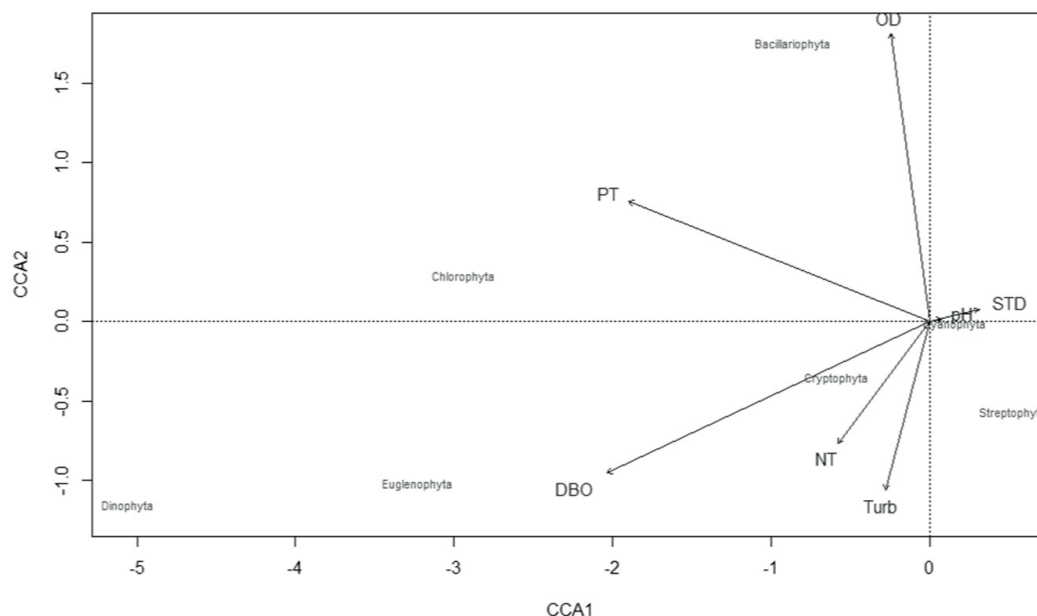
Parâmetros	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	0,522	0,045
Correlação fitoplâncton-ambiente	0,649	0,498
Porcentagem acumulada da variação dos fatores abióticos	40,5%	44,0%
Porcentagem acumulada da variação da relação fitoplâncton-ambiente	83,2%	90,3%
p-value (teste de Monte Carlo do eixo canônico 1)	0,001	
p-value (teste de Monte Carlo de todos os eixos canônicos)	0,001	
OD	-0,0907	0,6728
pH	0,0283	0,0059
DBO	-0,7542	-0,3538
NT	-0,2146	-0,2838
PT	-0,7032	0,2813

Turb	-0,1035	-0,3932
STD	0,1165	0,0285

Fonte: Os autores (2021).

Os biplots da ACC (Figura 5) mostram que os ângulos entre as Cryptophyta e as variáveis Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Nitrogênio Total (NT) são pequenos, indicando uma correlação positiva clara entre esses fatores. A DBO também apresentou correlação positiva com Euglenophyta e Dinophyta. Chlorophyta demonstrou correlação positiva significativa com o Fósforo Total (PT), enquanto o grupo Bacillariophyta se correlacionou significativamente com o Oxigênio Dissolvido (OD). O pH e os Sólidos Dissolvidos Totais (STD) apresentaram correlação positiva direta com Cyanobacteria e Streptophyta.

**Figura 5.** Diagrama de ordenação da ACC entre as comunidades fitoplanctônicas e as variáveis ambientais nos pontos monitorados, no período de 2011 a 2019



Fonte: Os autores (2021).

## Conclusões

A análise do fitoplâncton demonstrou que antes e após início da operação PISF, acarretando maior volume de água no Alto Curso do rio Paraíba, as cianobactérias dominaram o ambiente, indicando possível eutrofização das águas, apresentando espécies potencialmente produtoras de cianotoxinas, representando risco a saúde pública. Foi observado que os parâmetros pH e sólidos totais dissolvidos vêm influenciando a predominância das cianobactérias na região de estudo. Pesquisas futuras acerca do comportamento desses parâmetros bioindicadores, ao longo dos próximos anos de operação do PISF, são recomendadas para analisar se suas variações são significativas e representam alterações na qualidade da água do rio Paraíba.

Entre os parâmetros físico-químicos estudados foi observado que a DBO, o nitrogênio, o fósforo, a turbidez e os sólidos dissolvidos totais, não atenderam às exigências da Resolução CONAMA 357/2005, com destaque para o fósforo total que permaneceu na maior parte do tempo e ao longo do Alto Curso do rio Paraíba com concentrações acima do recomendado. Uma diminuição nas concentrações de parâmetros como DBO, nitrogênio, fósforo e sólidos dissolvidos totais foi verificada após o início da operação do Eixo Leste, porém os valores ainda ultrapassam a recomendação da legislação.

Este estudo contribui para o entendimento da dinâmica fitoplanctônica e sua relação com a qualidade da água na área de estudo, servindo como base para futuros estudos sobre os impactos da transferência de água do rio São Francisco para o rio Paraíba e a qualidade da água. Fica evidente a importância do monitoramento ambiental como um passo essencial para gestão sustentável dos recursos hídricos, num esforço de proteger o ecossistema aquático e garantir de forma segura seus usos múltiplos, sobretudo seu uso primordial, o abastecimento humano.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) pela disponibilização dos dados, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo à primeira autora e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte a pesquisa (CNPq, 434872/2018-0).

## Referências

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESAs). Governo do Estado da Paraíba. **Volume diário dos principais açudes. Evolução diária em 01/2020**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-mensal/?tipo=anterior> Acesso em: 02 jan. 2020

ARAGÃO-TAVARES, N. K. C. A.; SEVERIANO, JS. A. M., AN. Phytoplankton composition of the Itaparica and Xingó reservoirs, São Francisco river, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, p. 145-154, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Reservatórios do semiárido brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação: Anexo A**. Brasília: ANA, 2017. 103 p.

ARAGÃO, T. G. **Transposição das águas do rio São Francisco para a Bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet**. 2008, 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2008.

BARBOSA, J. E. L.; WATANABE, T. O fitoplâncton como discriminador ambiental no diagnóstico das bacias hidrográficas envolvidas no projeto de transposição do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. *In: V SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS: CONSERVAÇÃO*, 2000, Vitória-ES. **Anais [...]** Vitória-ES: Universidade Federal do Espírito Santo, v. 4., 2000. p. 449-456.

BARBOSA, J. E. L.; WATANABE, T.; MOREDJO, A.; ABÍLIO, F.J.P. A hipereutrofização e suas implicações na biocenose de um ecossistema aquático urbano de João Pessoa-PB, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 15, n. 1, p. 1-13, 2001.

BRASIL. Leis, Decretos, etc. Resolução conama Nº 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 de junho de 1986.

BRASIL. Leis, Decretos, etc. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: Seção 1**, Brasília, DF, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: Seção 1**, Brasília, DF, p. 1-444, 2017.

CARDOSO, A.S. et al. Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 261 – 269, 2017.

CARDOSO, A.S. et al. SOBRAL, Maria do Carmo Martins. Toxic degree evaluation for fish farming in Pernambuco (Brasil). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 24934-24961, 2019.

DAGA, V.S., AZEVEDO-SANTOS, V.M., PELICICE, F.M. et al. Water diversion in Brazil threatens biodiversity. **Ambio**, v. 49, p. 165–172, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01189-8>.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista Biología Marina y oceanografía**, v.22, n.1, p. 1-29, 1986.

MENDES, J.S.; BARBOSA, J.E.L. O índice de estado trófico como ferramenta no monitoramento da qualidade de água da Barragem de Acauã: sistema recém construído sobre o rio Paraíba – PB. In: XI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2004. Natal: Sociedade de Engenharia Sanitária, 2004. p. 54-64.

MINGOTI, S. A. **Análises de dados através de métodos de estatística multivariada – uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005. 297 p.

MOLISANI, M. M.; BARROSO, H. S.; BECKER, H.; MOREIRA, M. O. P.; HIJO, C. A. G.; MONTE, T. M.; VASCONCELLOS, G. H. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão Reservoir, CE, Brazil. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2010.

MORAIS, E. A.; CARVALHO, J. S. F.; SILVA, J. I. A. **O. Governança das águas na Bacia do Rio Paraíba no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco: conflitos de apropriação e uso das águas**. In: GESTÃO E GOVERNANÇA SOB MÚLTIPLAS VISÕES E CASOS. José Irisvaldo Alves O. Silva et al. (Org.) Campina Grande: EDUEPB, 2021. 222p.

MOURA, H. P. de et al. Avaliação da Qualidade da Água do Reservatório Poção, Monteiro/PB. SEABRA, G. (Org.). Terra: **Qualidade de Vida, Mobilidade e Segurança nas Cidades**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2013. p. 1119-1129. ISBN 978-85-237-0630-2.

NASCIMENTO, E. C. **Varição espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica em um reservatório eutrófico do semi-árido do Nordeste (Pernambuco - Brasil)**. 2009. 92p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2010.

OLIVEIRA, A. G. **Impactos ambientais e sociais na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba decorrentes do uso do solo e da Transposição do Rio São Francisco**. 2018. 215 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

OLIVEIRA, C. Y. B.; OLIVEIRA, C. D. L.; ALMEIDA, J. G. A.; DANTAS, D. M. Phytoplankton responses to an extreme drought season: A case study at two reservoirs from a semiarid region, Northeastern Brazil. **Journal of Limnology**, v. 78, n. 2, 176-184, 2019.

PARAÍBA. Governo do Estado. **Proágua semiárido. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba**. Relatório Final. Volume I. Paraíba: Secretária Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais (SEMARH), 2001.

RAMOS, C. P. S.; LIRA, O. O.; LIRA, G. A. S. T. Cianobactérias em mananciais utilizados por sistemas autônomos de abastecimento de água e esgoto (SAAE) de municípios da Zona Mata Sul de

Pernambuco. **Revista Vigil. Sanit. Debate**, v. 4, n.1, 20-26, 2016. DOI: 10.3395/2317-269x.00628.

ROSSITER, K.W.L.; BENACHOUR, M. ; MATTA, E. ; MORAES, M.M. ; CALADO, S. C. S. ; GUNKEL, G. Diagnosis along a concrete canal: a case study of the Sertão Alagoano Canal- Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 36, p. 157-167, 2015.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P.; AGUJARO, L. ; CARVALHO, L. R.; SOUZA, R. C. **Identificação e Contagem de Cianobactérias Planctônicas de Águas Continentais Brasileiras**. Sociedade Brasileira de Ficologia: Ed. Interciência, 2006. 55p.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (SUDEMA). **DZS 205 – Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Paraíba**. Paraíba: Sistema estadual de licenciamento de atividades poluidoras (SELAP),1988. 7 p.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Limnologia**. 1ª ed. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2008. 632 p.

UTERMÖHL, H. Zurvervollkommer der quantitativen phytoplankton methodic. Mitteilungen InternationaleVereinigung fürTheorestiche und Angewandte. **Limnologie**, v.9, p.1-38, 1958.

XAVIER, Rafael Alburquerque; DORNELLAS, Patricia da Conceição; MACIEL, Jadson dos Santos; BÚ, José Cícero do. Caracterização do regime fluvial da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB. **Rev. Tamoios**, São Gonçalo, RJ, ano 08, n. 2, p. 15-28, 2012.

Recebido em 10 de dezembro de 2023.  
Aceito em 20 de outubro de 2023.