



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

FRANCISCO JOSIVAN DE OLIVEIRA LIMA

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM
RESERVATÓRIO DA REGIÃO SEMIÁRIDA**

FORTALEZA

2016

FRANCISCO JOSIVAN DE OLIVEIRA LIMA

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM
RESERVATÓRIO DA REGIÃO SEMIÁRIDA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração em Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.
Coorientadora: Prof.^a Dra. Eunice Maia de Andrade.

Fortaleza

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L698v Lima, Francisco Josivan de Oliveira.
Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas em reservatório da região semiárida /
Francisco Josivan de Oliveira Lima. – 2024.
105 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.

Coorientação: Prof. Dr. Eunice Maia de Andrade.

1. Limnologia. 2. Pluviometria. 3. Cianobactérias. 4. Eutrofização. 5. Análise multivariada. I. Título.

CDD 630

FRANCISCO JOSIVAN DE OLIVEIRA LIMA

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM
RESERVATÓRIO DA REGIÃO SEMIÁRIDA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovado em: 27 / 05 / 2016 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Presidente)
Departamento de Engenharia Agrícola – UFC

Prof^a. Dr^a. Helena Becker (Conselheira)
Departamento de Química – UFC

Prof^a. Dr^a. Ana Célia Maia Meireles (Conselheira)
Universidade Federal do Cariri – UFCA

Prof. Dr. Francisco Cleiton da Rocha (Conselheiro)
Universidade Federal do Piauí – UFPI

A Deus, Pai de graças e misericórdia.

À minha mãe amorosa e guerreira.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, Pai de bondade e misericórdia que sempre me acolheu em seus braços nos momentos de dificuldade, me concedendo força, esperança e sabedoria para prosseguir na caminhada.

Aos meus pais Maria Zilnar e Josiane Bernardo, meu padrasto Reinivaldo, meu irmão Samuel, meus avós maternos José Maria e Maria José e avó paterna Nair (*in merorian*), minha sobrinha Samya, tios e primos por todo aconchego, amor e carinho dedicados a mim.

À Instituição Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de adquirir novos conhecimento através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao meu orientador Professor Dr. Fernando Bezerra Lopes pelo acolhimento no grupo de pesquisa e extensão de Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA), pela orientação e sabedoria repassada.

À minha coorientadora Professora Doutora Eunice Maia de Andrade pela orientação, por todo o conhecimento transferido e pela paciência.

À banca examinadora Helena Becker, Ana Célia Meireles e Cleiton Rocha, que contribuíram com conhecimento técnico-científico para melhoria deste trabalho.

Aos professores do PPGEA: José Carlos, Adunias dos Santos, Marcus Bezerra, Carlos Alexandre e Luiz Alberto pelos ensinamentos transferidos, que foram essenciais no meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Aos professores de outros Programas de Pós-graduação da UFC: Assis Júnior, Mirian Cristina, Julius Blum e Marisete Dantas, pela contribuição de conhecimentos.

Aos amigos do grupo MASSA: Professor Omar Pereira, Luiz Carlos, Andréa Dardes, Ramon Costa, Elinalda Costa, Anthony Rafael, Leilson Carvalho, Rafael Rodrigues, Diego Antunes, Lécio, Kássia Crislayne, Gina Sena, Givanilson Rodrigues, Caroline Bayma, Janaína Castro, Eder Ramon, Clausen Lima, José Brasil, Frédson Lopes, Gilberto Quevedo, Jairo Soares, Júlio Cesar e José Ribeiro Júnior.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Agrícola, Ana Maria Rodrigues, Socorro Peixoto, Maria de Fátima, Maurício, Rejane, Thayslan Renato, Christine Farias, Paulilo Palácio, Emanuel Firmino, Thiago Rocha, Erialdo Oliveira, Adriana Oliveira, Davi Rodrigues

e Mayara Santos. Aos amigos de outros departamentos, Lamartine Soares, Júlia Medeiros, Ítalo Oliveira, Régis Santos e Isabel Cristina.

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.”
(Guimarães Rosa).

RESUMO

A baixa disponibilidade de água na região Nordeste do Brasil está relacionada à condição de semiaridez, onde a escassez hídrica é reflexo da irregularidade da precipitação da chuva no espaço e no tempo, além da alta taxa de evapotranspiração. No entanto, a eutrofização frequente desses mananciais resultante do enriquecimento por nutriente, favoreceu a proliferação excessiva de fitoplânctons que comprometem diversos usos da água. Com isso, objetivou-se avaliar o impacto da precipitação pluviométrica e do volume acumulado sobre os atributos de qualidade de água em reservatório da região semiárida brasileira, bem como, estudar a variação espaço-temporal das cianobactérias. A pesquisa foi desenvolvida no reservatório Orós, onde foram realizadas campanhas sazonais (períodos seco e chuvoso) de coleta de amostras de água no período de 2008 a 2010. Foram realizadas análises dos atributos: Transparência de Secchi, Turbidez, pH, Cor Aparente, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Fósforo total, Ortofosfato Solúvel, NKT, Amônia, Nitrato, Clorofila-*a* e Cianobactérias. Através de bancos de dados históricos foram obtidos dados dos parâmetros pluviométricos e volume d'água do reservatório. Para as análises estatísticas dos dados foram empregados o Teste T, Correlação de Pearson, Análise da Componente Principal (ACP) e Análise de Agrupamento (AA). A partir dos resultados encontrados foi possível observar que os atributos físicos e biológicos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os pontos de coleta e os períodos; já para os atributos químicos só o NKT apresentou diferença significativa entre os pontos (P5 e P7). Verificou-se uma maior correlação dos atributos com a precipitação e o volume d'água no período seco em comparação com o período chuvoso. Em relação às cianobactérias foram identificadas um total de 17 espécies, que após aplicação da ACP foram reduzidas a 10 espécies que apresentaram uma variância acumulada de 72,47%. Com base nas espécies identificadas foi realizada a AA, em que foram formados 4 grupos no período chuvoso e 3 grupos no período seco, mostrando a influência da variabilidade sazonal e espacial do sistema aquático na formação dos grupos. As cianobactérias apresentaram maiores concentrações no período seco com destaque para as espécies *Aphanocapsa spp*, *Cylindrospermopsis sp* e *Geitlerinema sp.*, que mostraram uma maior afinidade aos atributos físicos. Concluiu-se que as fortes correlações entre os atributos da água no período seco em relação ao chuvoso são devido à sua maior estabilidade. A sazonalidade tem forte influência sobre os atributos de qualidade da água, de modo a refletir diretamente na distribuição espacial das cianobactérias.

Palavras-chave: limnologia; pluviometria; cianobactérias; eutrofização; análise multivariada.

ABSTRACT

The low availability of water in the Northeast of Brazil is related to semiarid condition where water scarcity is a result of the irregularity of rain in space and time, in addition to the high evapotranspiration rate. However, frequent eutrophication of those water sources resulting from nutrient enrichment, favored the excessive proliferation of phytoplankton that compromise various uses of water. The main goal of this work was to assess the impact of rainfall and the accumulated volume on the quality attributes of water in the Brazilian semiarid region reservoir, as well as study the spatial and temporal variation of cyanobacteria. The research was developed in Orós reservoir, where were carried out seasonal water sampling (dry and rainy seasons) from 2008 to 2010. Secchi transparency, turbidity, pH, color, Apparent Electrical Conductivity, Total Solids, Total Phosphorus, Orthophosphate Soluble, TKN, Ammonia, Nitrate, Chlorophyll-*a* and Cyanobacteria were the attributes analyzed. Through historical databases were obtained data of rainfall parameters and volume water of the reservoir. The t test, Pearson correlation, Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA) were used to statistical analysis of the data. Results showed that were found that the physical and biological attributes showed significant differences ($p < 0.05$) between the points of collection and periods, as for chemical attributes only NKT significant difference between the points (P5 and P7). A higher correlation of attributes with rainfall and the volume of water in the dry season compared to the wet season was found. Regarding the cyanobacteria were identified a total of 17 species, that after application of the PCA had been reduced to 10 species with a cumulative variance of 72.47%. Based on the identified species was conducted to CA, in which 4 groups were formed in the rainy season and 3 groups in the dry season, showing the influence of seasonal and spatial variability of the water system in the formation of groups. Cyanobacteria showed higher concentrations in the dry season especially species *Aphanocapsa spp*, *Cylindrospermopsis sp* and *Geitlerinema sp*, which showed a higher affinity to the physical attributes. It was concluded that the strong correlations between water attributes in the dry period in comparison to rainy period are due to its greater stability. The seasonality has a strong influence on the attributes of water quality, so as to directly reflect the spatial distribution of cyanobacteria.

key words: limnology; rainfall; cyanobacteria; eutrophication; multivariate analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de abrangência da região semiárida brasileira	17
Figura 2 – Localização do reservatório Orós e os pontos de coleta de água	42
Figura 3 – Dados diários de precipitação pluviométrica do posto de Iguatu e volume do reservatório Orós para o período de abr/2008 a fev/2010	44
Figura 4 – Ocorrência espaço-temporal dos atributos físicos: Turbidez (A) e Transparência (B)	47
Figura 5 – Ocorrência espaço-temporal dos atributos químicos e biológico: NKT (A), Fósforo Total (B) e Clorofila-a (C)	48
Figura 6 – Localização do reservatório Orós e dos pontos de coleta de água	68
Figura 7 – Fluxograma de aplicação da análise dos dados	71
Figura 8 – Dendrogramas dos grupos de cianobactérias formados por ponto de distribuição no período chuvoso (A) e seco (B) no reservatório Orós	77
Figura 9 – Densidade absoluta das espécies que apresentaram maior concentração no período chuvoso (A) e seco (B) Aphano – Aphanocapsa spp, Cyllindro – Cyllindrospermopsis sp, Geitler – Geitlerinema sp)	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Atributos físicos, químicos e biológicos avaliados e suas respectivas metodologias analíticas	43
Tabela 2	– Comparação de média entre os pontos de coleta e os períodos pelo Teste T (Transp. – transparência, PT – Fósforo total, NKT – Nitrogênio total, Cl-a – Clorofila-a)	50
Tabela 3	– Correlação de Pearson entre atributos de qualidade da água e as variáveis: pluviometria e o volume d'água no período chuvoso	54
Tabela 4	– Correlação de Pearson entre atributos de qualidade da água e as variáveis: pluviometria e o volume d'água no período seco	55
Tabela 5	– Atributos físicos e químicos avaliados e suas respectivas metodologias analíticas	70
Tabela 6	– Análise descritiva dos atributos físicos e químicos do período chuvoso por pontos de coleta	73
Tabela 7	– Análise descritiva dos atributos físicos e químicos do período seco por pontos de coleta	74
Tabela 8	– Matriz de cargas fatoriais das variáveis transformadas usando o algoritmo Varimax das principais componentes selecionadas das espécies de cianobactérias do reservatório Orós	76
Tabela 9	– Composição das cianobactérias no período chuvoso	78
Tabela 10	– Composição das cianobactérias no período seco	79
Tabela 11	– Resultados obtidos a partir da análise da correlação de Pearson para o período chuvoso (CE – Condutividade Elétrica, ST – Sólidos Totais, Transp. – Transparência, NKT – Nitrogênio Total, PT – Fósforo Total, Orto S. – Ortofosfato Solúvel, Aphanococcos – Aphan	83
Tabela 12	– Resultados obtidos a partir da análise da correlação de Pearson para o período seco (CE – Condutividade Elétrica, ST – Sólidos Totais, Transp. – Transparência, NKT – Nitrogênio Total, PT – Fósforo Total, Orto S. – Ortofosfato Solúvel, Aphanococcos – Aphanococcos	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Condições climáticas no semiárido brasileiro	17
3.2	Reservatórios artificiais	18
3.3	Qualidade da água	20
3.4	Eutrofização dos reservatórios artificiais	21
3.5	O Fitoplâncton e as Cianofíceas	24
3.6	Análise Multivariada	28
4	A QUALIDADE DA ÁGUA EM FUNÇÃO DOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO	39
4.1	Introdução	41
4.2	Material e Métodos	42
4.2.1	<i>Área de estudo</i>	42
4.2.2	<i>Monitoramento da qualidade da água</i>	43
4.2.3	<i>Monitoramento da precipitação pluviométrica e volume acumulado do reservatório</i>	43
4.2.4	<i>Análise estatística</i>	44
4.3	Resultados e Discussão	45
4.3.1	<i>Distribuição espaço-temporal dos atributos físicos, químicos e biológicos</i>	45
4.3.2	<i>Teste de comparação de média dos atributos qualitativos de água</i>	50
4.3.3	<i>Correlação entre atributos e as variáveis: pluviometria e o volume d'água</i> ...	52
4.4	Conclusão	59
5	VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE CIANOBACTÉRIAS EM UM LAGO ARTIFICIAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	64
5.1	Introdução	66
5.2	Material e Métodos	68
5.2.1	<i>Área de estudo</i>	68
5.2.2	<i>Amostragem dos pontos de coleta</i>	68
5.2.3	<i>Coleta e análise das cianobactérias</i>	69

5.2.4	<i>Atributos físicos e químicos avaliados</i>	69
5.2.5	<i>Análise estatística</i>	70
5.3	Resultados e Discussão	72
5.3.1	<i>Análise descritiva dos atributos físicos e químicos</i>	72
5.3.2	<i>Análise multivariada e descritivas das Cianobactérias</i>	75
5.3.3	<i>Correlação de Pearson das cianobactérias com atributos físicos e químicos ..</i>	81
5.4	Conclusão	87
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	92
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é detentor de 12% da água doce do planeta. No entanto, esse recurso encontra-se distribuído de forma irregular entre suas regiões, no qual cerca de 70% dessa água concentram-se na região Norte onde vivem apenas 8,32% da população, e os 30% dos recursos hídricos restantes estão distribuídos entre as demais regiões para atender 91,68% da população (CAMPOS, 2005; ANEEL, 2001; IBGE, 2016).

A baixa disponibilidade de água na região Nordeste do Brasil se deve ao fato da semiaridez local, condição climática relacionada à irregularidade de precipitações pluviométricas no espaço e no tempo, além da alta taxa de evapotranspiração. Atrelado às condições climáticas locais, existem as características geológicas dominantes com predomínio de solos rasos sobre rochas cristalinas, resultando em densas redes de rios temporários (ANDRADE *et al.*, 2010; CIRILO, 2008).

Os conhecimentos acumulados sobre o clima regional permitiram a criação de políticas públicas voltadas a minimizar os impactos da falta de água, dentre elas a acumulação de água em reservatórios ganhou destaque com a construção de grandes reservatórios com capacidade de regularização plurianual e com capacidade da ordem de bilhões de metros cúbicos (CIRILO, 2008). O intuito da construção desses mananciais é amenizar os problemas oriundos da seca, devido à irregularidade do período chuvoso e baixos índices pluviométricos em ambientes semiáridos, onde os solos são desfavoráveis ao armazenamento de água (DANTAS *et al.*, 2011).

O excedente hídrico gerado na bacia hidrográfica no período chuvoso, que escoar nos eventos pluviométricos capazes de superar as abstrações iniciais do solo, é armazenado nos reservatórios para ser disponibilizado nos períodos secos (ARAÚJO, 2012). Juntamente com o escoamento, uma alta carga de nutrientes, sólidos suspensos e organismos são transportadas através de sistemas fluviais para dentro dos reservatórios havendo poucas saídas dos mesmos (ZHOU, 2015; SILVA, 2013).

Por conta do aporte de altas concentrações destes atributos alóctones, os reservatórios vêm sofrendo com a deterioração da qualidade de suas águas devido ao processo de eutrofização. Segundo Datsenko *et al.* (1999), o que se observa atualmente na região semiárida brasileira é a frequente ocorrência de reservatórios eutrofizados, cujas águas não se aplicam para a maioria dos usos para os quais foram planejados. Em um estudo realizado por Feitosa (2011) no semiárido nordestino foi avaliado o estado trófico de alguns reservatórios de pequeno

porte, chegando o autor à conclusão de que os reservatórios se encontravam eutrofizados ou hipereutrofizados.

De acordo com von Sperling (2005), o processo de eutrofização consiste no enriquecimento dos corpos d'água por nutrientes (principalmente: nitrogênio e fósforo) e favorece a proliferação excessiva de organismos produtores, por exemplo, fitoplâncton. Estes organismos comprometem os diversos usos das águas desses mananciais, tais como, o abastecimento humano, industrial e agrícola.

O aporte excessivo de nutrientes nos ambientes aquáticos faz com que haja uma proliferação de organismos fitoplanctônicos, causando assim o processo de eutrofização das águas, que resulta no predomínio de determinadas classes desses organismos microscópicos. Dentre os grupos de fitoplâncton as cianobactérias são as mais preocupantes, pois se adaptam facilmente às condições ambientais, são ótimas competidoras e produzem uma variedade de toxinas que tem efeitos negativos sobre a saúde humana e para a vida aquática (SILVA, 2013; CHORUS; BARTRAM, 1999). A produção fitoplanctônica é um atributo muito utilizado para avaliar a qualidade da água em ambientes lênticos em razão de sua relevância para a biodiversidade em tais ecossistemas (FIGUEREDO; GIANI, 2001). Como os componentes da comunidade fitoplanctônica afetam a funcionalidade dos ecossistemas hídricos, é essencial conhecer quais fatores regem sua dinâmica (BRASIL; HUSZAR, 2011).

Ainda hoje, mesmo com todo o conhecimento de limnologia sobre o processo de eutrofização, pouco se sabe sobre a influência dos fatores ambientais na produção primária dominante e a distribuição de como ela ocorre em lagos artificiais do semiárido.

É nesta conjuntura que se evidencia a grande importância de se avaliar os fatores influentes sobre a produção primária e de se monitorar estes organismos nos reservatórios, a fim de adotar medidas preventivas e corretivas para melhoria da qualidade desses mananciais, buscando ampliar os usos da água, minimizar os custos com tratamento de água, melhorar a qualidade de vida da população que se serve desse manancial e, por fim, evitar a degradação desses ecossistemas.

Com base no que foi mencionado, foram levantadas as seguintes hipóteses: A pluviosidade e o volume acumulado do reservatório têm influências diferentes sobre atributos de qualidade da água quando avaliado em períodos chuvoso e seco; e, o período seco contribui para a dominância de determinados grupos de cianofíceas em reservatórios da região semiárida.

O trabalho está dividido em três partes, sendo que esta primeira abrange uma introdução geral e o referencial teórico sobre o estado atual da arte do assunto abordado, as outras duas partes estão divididas entre os capítulos 1 e 2 que abordam respectivamente, a qualidade da

água em função dos períodos chuvoso e seco, e a variação espaço-temporal de cianobactérias em um lago artificial no semiárido brasileiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto da precipitação pluviométrica e do volume acumulado sazonalmente sobre os atributos da água do reservatório Orós, bem como, estudar a variação espaço-temporal das cianobactérias deste lago artificial do semiárido brasileiro, visando identificar os atributos físicos e químicos que apresentam maior influência sobre sua dinâmica.

2.2 Objetivos específicos

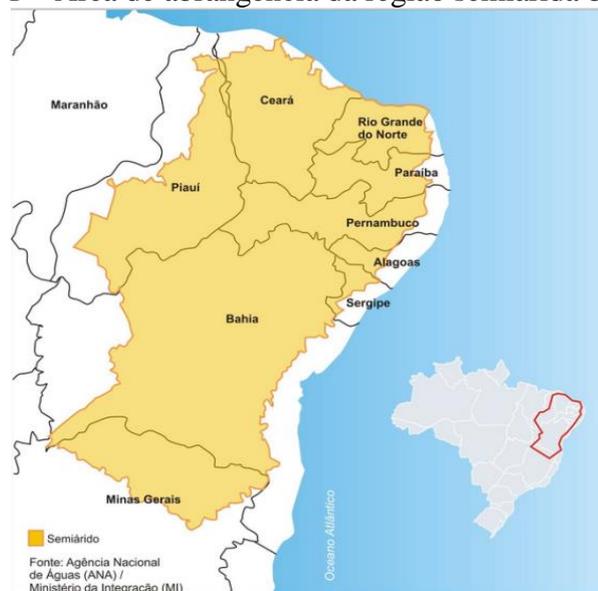
- a) Avaliar a resposta dos atributos físicos, químicos e biológicos em função da precipitação pluviométrica acumulada;
- b) Verificar os principais atributos físicos e químicos determinantes na formação dos grupos similares de cianobactérias e;
- c) Classificar a similaridade espaço-temporal das cianobactérias, identificando as espécies dominantes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Condições climáticas no semiárido brasileiro

Nas regiões semiáridas do mundo todo, a água é um dos principais fatores limitantes de desenvolvimento, no semiárido brasileiro esta situação não é diferente, tornando-se mais evidente em virtude deste estar localizado na zona tropical, englobando a posição norte-oriental do país (Figura 1), entre 1°00' e 18°30' de latitude Sul e 34°30' e 40°20' de longitude Oeste de Greenwich, ocupando uma área total de 969.589,4 km² compreendendo nove estados (Alagoas, Bahia, Ceará, norte de Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) e abrangendo um total de 1.133 municípios (BRASIL, 2007).

Figura 1 – Área de abrangência da região semiárida brasileira



Fonte: ANA/Ministério da Integração

O enquadramento dessa região foi realizado com base nos seguintes critérios: possuir uma precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; ter um índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações pluviométricas e a evapotranspiração potencial, e apresentar um risco de seca maior que 60% (BRASIL, 2007).

O semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar duas estações climáticas bem definidas, sendo uma estação chuvosa e outra estação seca. Todavia, o período de ocorrência da estação chuvosa depende das fontes indutoras de chuvas. Segundo Marengo (2008), as principais fontes indutoras de chuva nessa região são: as frentes frias que incidem concentradas de outubro a fevereiro, as Ondas de Leste que ocorrem de abril a agosto, e a Zona de

Convergência Intertropical (ZCIT) que é a mais importante fonte indutora de chuvas no norte da região Nordeste, ocorrendo entre fevereiro e maio.

Estas regiões apresentam um déficit no balanço hídrico, particularmente no que se refere às perdas de água para atmosfera pela evapotranspiração, e a contínua interrupção na disponibilidade natural de água (ARAÚJO, 2012). Estes ambientes são caracterizados pela irregularidade da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço e apresentam altos índices de evapotranspiração (ANDRADE *et al.*, 2010; ROCHA *et al.*, 2016).

De acordo com Silva *et al.* (2011) a distribuição irregular das pluviosidades está relacionada com as mudanças na frequência e/ou intensidade com as quais as mesmas acontecem. Mudanças na precipitação pluviométrica podem ser atribuídas à Temperatura da Superfície do Mar (TSM), que podem atuar de forma positiva sobre os eventos pluviométricos na região Nordeste, quando as águas do Atlântico estão mais frias ao norte normal do Equador e mais quentes ao sul normal do equador, e de forma negativa quando ocorre o oposto, além disso eventos de secas tendem a coincidir com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que consiste no aquecimento do Pacífico (SUN *et al.*, 2007; VASCONCELOS JUNIOR, 2014).

Alguns estudos têm buscado avaliar a irregularidade pluviométrica do semiárido brasileiro (ALVES *et al.*, 2015) e os seus impactos sobre os recursos hídricos (SALGUEIRO *et al.*, 2014), agricultura (FERNANDES *et al.*, 2015) e meio ambiente (SILVA *et al.*, 2008).

As características do regime hidrológico do semiárido aliadas a solos pouco profundos favorecem a formação de rios temporários. De acordo com Araújo (2012) os rios encontrados nesses ambientes, em sua maioria, são intermitentes, fluindo apenas em períodos chuvosos, e dessa forma, as populações que vivem nessas localidades convivem com a escassez hídrica.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), no semiárido brasileiro vivem 22 milhões de pessoas, que representam 11,8% da população brasileira, sendo assim considerado o semiárido mais populoso do Planeta. Segundo ANDRADE *et al.* (2016), a baixa disponibilidade hídrica nas regiões semiáridas é uma questão crucial para superação dos obstáculos ao desenvolvimento. Desse modo, faz-se necessária a tomada de medidas visando melhorar as condições de vida das populações que habitam nessas regiões.

3.2 Reservatórios artificiais

Os governos de diversas regiões semiáridas vêm atuando com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano

e animal, e viabilizar a irrigação (OLIVEIRA; ARAÚJO; COSTA 2015). Segundo Oliveira (2013), o governo brasileiro, por sua vez, criou ao longo dos anos vários mecanismos ou órgãos que atuassem neste sentido, intervindo nesta região por meio de órgãos responsáveis pela construção de grandes obras hídricas, que se traduziam na construção de reservatórios.

Na deficiência de reservatórios naturais, os reservatórios artificiais têm papel fundamental na potencialização dos recursos hídricos, recebendo o excesso de água escoado nos eventos pluviométricos capazes de superar as abstrações iniciais de sua bacia e os retém para disponibilizar nos períodos de seca (ARAÚJO, 2012).

O semiárido nordestino, estando quase em sua totalidade enquadrado no polígono das secas, apresenta-se como a região com a maior densidade de reservatórios artificiais do país. Dentre os Estados que compõem essa região, o estado do Ceará se destaca devido ao grande número de reservatórios que este possui (FUNCEME, 2016). Segundo a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 2015) neste Estado são monitorados 153 reservatórios (açudes) de grande e médio porte, possuindo uma capacidade total de armazenamento de 18.718,0 hm³. Estes reservatórios destinam-se a atender aos usos múltiplos, estando normalmente associados ao desenvolvimento da bacia hidrográfica onde estão inseridos, exercendo o papel preponderante no balanço de oferta e demanda dos recursos hídricos (MENESCAL *et al.*, 2004).

Apesar de sua importância econômica, a construção dos reservatórios ocasiona, diretamente ou indiretamente, grandes alterações na dinâmica dos ecossistemas aquáticos e terrestres (TUNDISI, 2005). O barramento de rios altera toda a estrutura ecológica do local, modificando a diversidade e riqueza do ambiente (AGOSTINHO; JÚLIO JÚNIOR; PETRERE JÚNIOR, 1994; COSTA; BARBOSA; DANTAS, 2016).

Os impactos dos reservatórios sobre mudanças na composição da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos estão relacionadas a fatores como: os longos períodos de residência das águas dos reservatórios (principalmente nas regiões semiáridas), a retenção de nutrientes (MOLISANI *et al.* 2013), a estabilidade da coluna d'água, alterações na profundidade e na velocidade da água (RIGOSI; RUEDA, 2012), variações da temperatura da água (VIEIRA; CARDOSO; COSTA, 2015), e obstrução da migração de peixes devido a barragem (ROSSEL; FUENTE, 2015).

Além dos impactos sobre a composição das espécies desses ambientes, o barramento de rios acarreta um maior aporte de quantidades de nutrientes, sólidos suspensos e organismos, havendo poucas saídas dos mesmos, e alterando assim a qualidade de suas águas (SILVA, 2013). De acordo com Lopes *et al.* (2014), nas últimas décadas a qualidade das águas dos

reservatórios tem sido degradada rapidamente, de modo que tem se reduzido a disponibilidade deste recurso para o abastecimento humano, agrícola e industrial, tendo esse se tornado um dos grandes desafios a ser enfrentado pela sociedade.

3.3 Qualidade da água

É grande a quantidade de poluentes que leva à degradação da qualidade das águas, podendo os mesmos serem classificados pela origem (natural e/ou antrópica) e pela fonte (pontuais e/ou difusas). Quanto às origens das fontes de poluição natural podem ser citadas a topografia (potencial de produção de sedimento), a precipitação pluviométrica, o escoamento superficial e as características do solo (MALMQVIST; RUNDLE, 2002; ÁLVAREZ-CABRIA; BARQUÍN; PEÑAS, 2016). Já os antrópicos vêm das atividades humanas que incluem urbanização, obras de engenharia (sistemas de drenagens, barramentos, dentre outros), exploração dos recursos naturais, e os usos e manejos do solo e as formas de utilização da água na bacia hidrográfica (ARAÚJO, 2012).

No caso da classificação em fontes, as pontuais apresentam localização definida e são de fácil identificação, como a disposição final de efluentes sanitários (saída da Estação de Tratamento de Esgoto), e a geração de efluentes industriais. Já as fontes difusas não possuem uma localização definida, sendo oriunda do processo de escoamento superficial que lava a superfície das zonas urbanas e rurais (em muitos casos com presença de fertilizantes e agrotóxicos) (PRADO, 2004; THOMAS *et al.*, 2016; XIAOYING *et al.*, 2016).

De acordo com Álvarez-Cabria, Barquín e Peñas (2016), todo processo ou atividade ocorrido na bacia hidrográfica, tanto natural (como escoamento superficial e o processo de produção de sedimento) quanto antrópicos (como o uso e manejo inadequado do solo ou da água) refletem sobre o sistema de drenagem, seja assoreando o rio, causando erosão acelerada das margens, poluindo e/ou contaminando as águas. Haja vista que a bacia hidrográfica é uma área geograficamente definida e delimitada a partir da rede pluvial de drenagem, e segundo Chen e Lu (2014) os usos e manejos da bacia refletem diretamente na qualidade das águas superficiais.

De acordo com Silva (2013), em muitos lugares a qualidade das águas é um reflexo do descaso da sociedade para com a falta de tratamento dos resíduos gerados pelas suas atividades, bem como o manejo inadequado deste recurso. Deste modo, diversos pesquisadores em várias partes do Globo têm se voltado a estudar a qualidade das águas, com a finalidade de entender

os processos que estão envolvidos na sua degradação, propondo medidas mitigadoras e visando recuperar sua integridade.

Em estudos desenvolvidos por Paula Filho, Marins e Lacerda (2015), foi investigado o aporte natural e antrópico de nitrogênio e fósforo nas águas do Delta do Rio Parnaíba na região Nordeste do Brasil, no qual foram realizadas estimativas das concentrações de N e P a partir de fatores de emissão, calibrados com dados de campo. Ao final do estudo os autores evidenciaram que as emissões antrópicas de N e P eram superiores às naturais aproximadamente 5 e 10 vezes, respectivamente, mostrando desse modo que embora a bacia do Delta do Parnaíba não fosse muito povoada, a influência das atividades antrópicas (principalmente agricultura e pecuária) era muito sobre a emissão de nutrientes.

Já Xu e Zhang (2016), avaliaram a intensidade e quantidade do uso do solo relacionando-as com a qualidade da água do reservatório Miyun que se localiza na China. Desse modo, os autores desenvolveram um indicador de uso do solo capaz de quantificar a exportação de nutrientes de diferentes áreas e usos de terras, elevando assim o poder de explicação do uso do solo sobre as concentrações de nutrientes da água, ajudando a entender o impacto do uso do solo na qualidade da água e na tomada de decisões na gestão do uso da terra.

Em virtude de os poluentes responsáveis pela degradação da qualidade da água apresentarem uma estreita relação com a eutrofização dos mananciais de água, certifica-se a importância de compreender os fatores relacionados a esse processo, que nos últimos anos tem acometido com maior intensidade os reservatórios artificiais.

3.4 Eutrofização dos reservatórios artificiais

No início da década de 90, fatores como o aumento do uso de fertilizantes nas bacias hidrográficas, aumento da população humana, práticas de criação de peixes em tanques-redes, elevado grau de urbanização e geração de esgotos domésticos sem tratamento e intensificação de algumas atividades industriais, impulsionaram o processo de eutrofização nos reservatórios brasileiros (ARAÚJO; COSTA; CHELLAPPA, 2000; CHELLAPA *et al.* 2003, SILVA, 2011).

A eutrofização é um processo biológico natural proveniente da descarga de nutrientes trazidos pelas chuvas e águas superficiais, que erodem e lavam a superfície da terra para os sistemas aquáticos. No entanto, o resultado de algumas atividades humanas foi responsável por reproduzir esse processo, e assim surgiu a eutrofização artificial ou cultural. Anteriormente às práticas antrópicas o processo de eutrofização levaria uma escala de tempo geológica para que as águas chegassem ao estado de trofia em que se encontram. Esta eutrofização é proveniente

dos despejos de esgotos domésticos e industriais, da descarga de fertilizantes aplicados na agricultura e pecuária (TUNDISI, 2005).

De acordo com Hutchinson (1957), esse processo é provocado pela elevada concentração de nutrientes, sendo utilizado na limnologia para indicar a transformação de mananciais para uma maior produtividade biológica, estando associado ao aumento excessivo da produção de biomassa primária (fitoplâncton e plantas aquáticas).

A proliferação excessiva do fitoplâncton está ligada ao estágio inicial da eutrofização de um ambiente aquático, enquanto que nos estágios avançados há o crescimento indiscriminado de macrófitas aquáticas (TUNDISI, 2003). De acordo com Ferreira (2011), o fitoplâncton possui uma maior sensibilidade às cargas de nutrientes pelo fato de possuírem um ciclo de vida mais curto comparado ao das macrófitas aquáticas e, desse modo, qualquer alteração no ambiente aquático é rapidamente respondido por esses organismos.

Segundo von Sperling (1996) os principais efeitos negativos da eutrofização são: problemas estéticos e recreacionais, condições de anaerobiose devido à decomposição da matéria orgânica oriunda da vegetação aquática, mortandade de peixe por hipóxia (devido às condições de anaerobiose) e intoxicação por amônia, dificuldades e elevação nos custos do tratamento de água para abastecimento humano e industrial, toxicidade de algas cianofíceas, redução na qualidade e quantidade dos pescados de valor comercial, diminuição das condições de navegabilidade, e por fim o desaparecimento gradual do corpo hídrico em decorrência da ação combinada da eutrofização e do assoreamento, resultando em uma condição irreversível.

Desse modo, o processo de eutrofização vem sendo observado em vários países, mostrando ser um problema de abrangência mundial. Em estudos realizados no reservatório Danjiangkou na China, Chen, Yang e Liu (2016) avaliaram o risco de eutrofização das águas deste reservatório através da criação de modelos com ênfase nos efeitos do sedimento sobre o Danjiangkou, e da transposição de suas águas para outro reservatório. Os referidos autores identificaram que a biomassa de algas diminuiu sensivelmente após desvio de água, e que não havia uma relação evidente entre o aumento de 50% do Nitrogênio total com a eutrofização na área de estudo, de modo que a poluição por esse nutriente não apresentava risco da proliferação de fitoplâncton para o nível de água do Reservatório Danjiangkou.

Fernández *et al.* (2014), empregaram o modelo multivariado MARS (*Multivariate Adaptive Regression Splines*) na predição da eutrofização no reservatório Trasona localizado no Principado de Astúrias, Norte da Espanha. No estudo, foram considerados os parâmetros físicos e químicos relacionados ao processo de eutrofização, e o parâmetro biológico expresso

em biovolume de fitoplâncton. O modelo foi capaz de identificar variáveis com alta significância sobre a eutrofização do reservatório.

Em outro estudo, realizado por Doan *et al.* (2015) no reservatório de Cointzio, México, os autores avaliaram a evolução da eutrofização em um reservatório tropical turvo. No estudo, foram simulados cenários para diferentes condições climáticas futuras, entradas de nutrientes e níveis de água, utilizando o modelo físico de mistura Simstrat e BELAMO (*Biogeochemical Advection–diffusion–reaction Model*). Os resultados da pesquisa mostraram que para cenário com um aumento de 4,4 °C na temperatura, seria necessária uma redução de 90% dos nutrientes, no qual 5 anos seria o tempo exigido para depurar os nutrientes do sistema.

No Brasil também têm sido desenvolvidas diversas pesquisas direcionadas a compreender o processo de eutrofização. Desse modo, pode-se citar o trabalho de Batista *et al.* (2014), que estudaram a variação espaço-temporal do Índice de Estado Trófico (IET) do açude Orós. Os autores constataram que o aporte de sedimentos gerado pelo escoamento superficial foi responsável pela redução da transparência da água, de modo que classificou o reservatório em hipereutrófico nos dois períodos avaliados. Foi observado ainda que maiores transparências resultaram no aumento da concentração de clorofila-*a* no período chuvoso e, no período de estiagem os menores valores de clorofila-*a* coincidiram com a menor transparência da água. Por fim, o IET Médio das águas do reservatório foi classificado em mesotrófico e eutrófico, para o período chuvoso e de estiagem, respectivamente.

Em outro estudo também realizado no reservatório Orós, Santos *et al.* (2014) avaliaram a influência dos usos da terra sobre a dinâmica espacial e temporal do IET. Foram elaborados mapas da dinâmica espacial e sazonal da qualidade das águas do reservatório. Os autores observaram a partir dos valores médios do fósforo total que as águas se enquadravam na classe eutrófica. Outro ponto constatado foi que as maiores concentrações de clorofila-*a* ocorreram na estação seca, expressando elevadas variações temporais e espaciais. Os resultados apontam para uma elevada deterioração da qualidade da água, mostrando uma necessidade de intervenções destinadas a reduzir o lançamento de resíduos oriundos da agricultura e da pecuária e, conseqüentemente, melhorar o estado trófico das águas do açude Orós.

Oliveira *et al.* (2014) pesquisaram as mudanças sazonais sobre a qualidade da água no reservatório Apipucos que é considerado raso e eutrófico, e está localizado na região metropolitana de Recife no estado do Pernambuco. Neste estudo, os autores observaram que as maiores concentrações de biomassa fitoplanctônica ocorreram no período seco, composta principalmente de *Agardhii PlaNKTothrix* e *Geitlerinema Amphibium*, ocorrendo em todas as

amostras. Os autores constataram ainda que o índice de estados trófico foi elevado durante todo o período de estudo.

Pode ser citado ainda o estudo realizado no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves localizado no estado do Rio Grande do Norte, por Vieira, Cardoso e Costa (2015), que avaliaram a variação da biomassa e composição dos grupos funcionais de fitoplâncton no gradiente vertical e temporal, relacionando-os com as condições ambientais e empregando o Índice Q. Os autores observaram que houve diferença significativa na variação vertical de algumas variáveis físicas e químicas entre a zona eufótica e afótica. Já para o fitoplâncton que foi representado por um total de 11 grupos funcionais, a variação temporal foi mais notória que a vertical. Por fim, esses pesquisadores constataram que o índice Q foi capaz de indicar que o reservatório apresentava péssima qualidade de água em virtude da eutrofização.

Lima *et al.* (2015) conduziram estudos no reservatório Pereira de Miranda que está localizado no estado do Ceará, tendo como objetivo avaliar a aplicação do Índice de Estado Trófico de Carlson (regiões de clima temperado) e do índice modificado para reservatórios de clima subtropical neste reservatório, cujo clima local é semiárido. Os resultados de estado trófico obtidos no IET de Carlson e adaptações calculados a partir de dados de clorofila-*a* apontaram que o reservatório Pereira de Miranda se encontra em estado mesotrófico, discordando com eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico calculados a partir do Fósforo Total e da transparência da água. Os autores constataram que a falta de informações hidroclimáticas e morfométricas afetam as aplicações desses índices em reservatórios de regiões semiáridas, haja vista que estas variáveis apresentam influência significativa sobre os reservatórios destas regiões.

Atualmente, pesquisas sobre eutrofização têm focado em avaliar a composição da população fitoplanctônica, haja vista que o funcionamento dos ecossistemas aquáticos é afetado por estes organismos (BRASIL; HUSZAR, 2011). Tendo como principal alvo de estudo as espécies de cianobactérias, por apresentarem um potencial risco ambiental e de saúde.

3.5 O Fitoplâncton e as Cianofíceas

Em estudos biológicos de eutrofização tem-se o fitoplâncton como foco principal, devido à resposta rápida ao aumento da disponibilidade de nutrientes e a forte influência que a composição da comunidade de fitoplâncton pode ter sobre a qualidade da água (COTTINGHAM; CARPENTER; AMAND, 1998).

A palavra fitoplâncton é originária do grego, na qual *phyto* significa ‘planta’, e plâncton, proveniente de *plagtos*, ‘vagando’. Esse termo designa um grupo heterogêneo, composto principalmente por algas fotossintetizantes e unicelulares, que se distribui por grande parte dos ambientes marinhos e aquáticos continentais do mundo, podendo ser encontradas isoladas ou em coloniais flutuando preferencialmente na zona fótica, onde utilizam a energia solar e sintetizam matéria orgânica junto aos nutrientes essenciais para o seu metabolismo e desenvolvimento (FERREIRA, 2011; PEREIRA, 2013).

Segundo Pereira (2013), nos ambientes de água doce os grupos de fitoplânctons mais comuns são: Baccillariophyta ou diatomáceas, Chlorophyta ou algas verdes, Chryptophyta, Chrysophyta, Dinophyta, Euglenophyta e Cyanophyta ou cianobactérias, sendo que este último grupo merece uma atenção especial.

De acordo com Ferrão-Filho (2009), uma característica de um ambiente aquático eutrofizado é a predominância de um determinado grupo de algas, e a consequente diminuição da diversidade desse ecossistema. A afloração frequente de cianobactérias é um indicativo da eutrofização de um manancial, pois em determinadas condições ambientais pode ocorrer um ‘bloom’ desses organismos, um fenômeno no qual as cianobactérias se multiplicam descontroladamente e dominam a comunidade fitoplanctônica (KUTSER *et al.*, 2006; CHORUS; BARTRAM, 1999).

Fatores como o aumento da temperatura da superfície das águas, uma coluna de água estável, tempo de residência elevado dos reservatórios, precipitações pluviométricas irregulares e altas taxas de rebaixamento dos reservatórios eutrofizados do nordeste brasileiro têm promovido condições ecológicas determinantes para ocorrência massiva destes organismos nestes ecossistemas (CHELLAPPA; BORBA; ROCHA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2015; MEDEIROS *et al.*, 2015).

As cianobactérias são capazes de aflorar em ambientes com pouco nitrogênio devido a sua capacidade de assimilar o nitrogênio atmosférico implicando que este não é seu nutriente limitante. Com isso, a grande disponibilidade de fósforo no meio pode ocasionar o aumento da biomassa desses organismos resultando em florações (FRANCESCHINI *et al.*, 2010; SILVA, 2013).

De acordo com Franceschini *et al.* (2010), existem cerca de 150 gêneros e 2000 espécies de cianobactérias. Estes organismos possuem clorofila-*a*, pois realizam fotossíntese à base de oxigênio, de modo que a coloração azul, ou às vezes vermelha, é resultado de pigmentos acessórios que mascaram a cor verde da clorofila. Segundo os autores supracitados, estes

indivíduos encontram-se presentes em todos os meios, desde geleiras a desertos, devido à capacidade de formar simbiose com diversos organismos

Segundo Moura *et al.* (2007), a predominância de um grupo vai depender de fatores como: concentrações de nutrientes, localização geográfica, morfologia do ecossistema, temperatura, profundidade, ventos e incidência de luminosidade.

As cianobactérias são conhecidas por produzirem uma variedade de toxinas que possuem efeitos negativos sobre a saúde humana e para a vida aquática (CHORUS; BARTRAM, 1999). As cianotoxinas são classificadas de acordo com os seus efeitos e sintomas nos organismos afetados, existindo 5 classes de toxinas produzidas pelas cianobactérias de água doce: hepatotoxinas (microcistinas e nodularinas), neurotoxinas (anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxina), citotoxinas (cilindrospermopsina), dermatotoxinas e os lipopolissacarídeos (LPS) que possuem efeitos adversos nos organismos afetados (REGUEIRAS, 2009).

A intoxicação por cianotoxinas em humanos pode ocorrer por ingestão, via respiratória, contato direto com a pele e por meio intravenoso (VASCONCELOS, 2001). Em um estudo realizado por Carmichael *et al.* (2001), foi evidenciado um caso comprovado com vítimas fatais por intoxicação via intravenosa por cianotoxinas em uma clínica de hemodiálise em Caruaru-PE no ano de 1996. Segundo Azevedo *et al.* (2002), um total de 116 pessoas apresentaram sintomas de intoxicação por microcistina, dentre estas, 54 apresentaram falência das funções hepáticas que as levaram conseqüentemente a óbito.

Devido à ocorrência de contaminações por cianotoxinas, instrumentos legais foram criados como forma de estabelecer padrões de controle das cianobactérias. A Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde que dispõe sobre o controle e vigilância de qualidade da água para consumo humano, estabelece o valor máximo permitido (VMP) de 1,0 µg/L de cilindrospermopsinas. A referida portaria recomenda as análises de microcistina (somatório das concentrações de todas as variantes dessa cianotoxina) e saxitoxinas, observando os valores limites de 1,0 µg/L e 3,0 µg equivalente de STX/L, respectivamente. De acordo ainda com esta Portaria, o monitoramento de cianobactérias no manancial no ponto de captação deve ser feito mensalmente quando a densidade de indivíduos for ≤ 10.000 cel/mL (células por mL) e semanalmente quando > 10.000 , e quando a densidade de cianobactérias exceder 20.000 cel/mL, deve-se realizar análise de cianotoxinas na água do manancial, no ponto de captação, com frequência semanal.

Já a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente de N° 357/2005 estipulou valores máximos de concentrações para cada classe de água visando reduzir problemas ambientais, e intoxicações provocados por estes organismos relacionadas aos usos das águas

dos mananciais. Para águas de Classe 1 o valor máximo da densidade de cianobactérias deve ser de 20.000 cel/mL ou 2 mm³/L, para as águas de classe 2 de até 50.000 cel/mL ou 5 mm³/L, para as águas de classe 3 de até 100.000 cel/mL ou 10 mm³/L, no entanto os valores de densidade de cianobactérias não deverão exceder 50.000 cel/mL para dessedentação de animais.

Segundo Bortoli e Pinto (2015), assim como o Brasil, outros países no mundo tem adotado o valor provisório de 1,0 µg/L de microcistina-LR no monitoramento de águas superficiais destinadas ao abastecimento humano com base em estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS).

Além do potencial tóxico, as cianobactérias podem se proliferar excessivamente quando as condições ambientais são favoráveis, afetando os usos da água, como a captação e o tratamento para abastecimento humano, a pesca, e as práticas recreativas e esportivas (SILVA *et al.*, 2013).

Em virtude dos diversos impactos provocados pela afloração excessiva de fitoplâncton (principalmente cianobactérias), estudos recentes têm buscado entender a dinâmica destes organismos, bem como, procuram conhecer quais fatores regem o seu processo de dominância e coexistência em ambientes eutrofizados. Em um trabalho desenvolvido por Oliveira *et al.* (2015), foi investigado o efeito da sazonalidade sobre comunidades de cianobactérias em dois reservatórios eutróficos no estado do Pernambuco, Brasil. Foram analisados fatores abióticos (cor aparente, turbidez, fósforo total, fração nitrogênio, entre outros) e bióticos (densidade de cianobactérias). A partir dos resultados obtidos da análise estatística dos dados, empregando Anova (One-way) e Análise de Redundância (RDA), os autores observaram que as espécies *Planktothrix agardhii*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Geitlerinema amphibium* ocorreram em todas as amostras. Os autores constataram também que os atributos nitrito, amônia, condutividade, cálcio, sulfato, cloretos e alcalinidade foram os principais a influenciarem estes organismos.

Pinto e Becker (2014) avaliaram a dinâmica nictemeral e vertical de grupos funcionais de fitoplânctons (*sensu* Reynolds) no lago Extremoz no estado do Rio Grande do Norte, visando investigar a influência de secas severas sobre as comunidades destes organismos. Nesta pesquisa, foram realizadas coletas de variáveis abióticas e de fitoplâncton em ciclos de 24 horas em intervalos de 6 horas no período chuvoso e seco. Os autores constataram que o lago apresentava desestratificação térmica e química, e estratificação da biomassa fitoplanctônica, tais características foram observadas em ambos os períodos. Os grupos funcionais de Reynolds identificados eram compostos S₁, L₀ e K típicos de ambientes rasos e misturados. Por fim, os

autores atribuíram comportamento homogêneo em ambas as amostragens ao período de seca prolongada.

Medeiros *et al.* (2015) estudaram os efeitos de eventos extremos sobre dinâmica fitoplanctônica em um reservatório artificial na cidade de Cruzeta no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. A pesquisa analisou o efeito das características limnológicas provocadas pela sazonalidade, e as consequentes mudanças ocorridas na comunidade do fitoplâncton conduzidas por elas. Os autores constataram que houve alternância na composição do fitoplâncton entre cianobactérias filamentosas (*Cylindrospermopsis raciborskii*) e espécies coloniais (*Microcystis panniformis* e *Sphaerocavum brasiliensis*). No entanto, uma redução da biomassa das cianobactérias e de recursos foi observada no período de seca severa, que favoreceu as diatomáceas e cryptomonas, comportamento considerado incomum segundo os autores.

No lago Ramgarh na Índia, Maheshwari *et al.* (2015) investigaram a sazonalidade da comunidade fitoplanctônica juntamente com vários fatores físicos e químicos. Neste estudo foram realizadas correlações entre grupos e produtividade do fitoplâncton com variáveis físicas e químicas. Maiores valores de produção primária foram registrados no período do verão em relação ao inverno. Os autores constataram que três grandes grupos compuseram a comunidade fitoplanctônica em sua totalidade, ranqueado por *Bacillariophyceae* (43,58%), *Chlorophyceae* (33,41%) e *Cynophyceae* (23%). Altos valores de temperatura, oxigênio dissolvido e nutrientes implicam que estas variáveis foram importantes na produção primária e dinâmica do fitoplâncton no lago estudado.

Podem ser citados ainda os trabalhos de Moura *et al.* (2007), Câmara *et al.* (2009), Cordeiro Araújo *et al.* (2010), Dantas, Bittencourt-Oliveira, Moura, (2012), Moura, Nascimento, Dantas (2012), Carneiro, Pacheco, Azevedo (2013), Jardim *et al.* (2014), e Vieira, Cardoso e Costa (2015), que estudaram o comportamento do fitoplâncton em reservatórios da região Nordeste do Brasil.

Um ponto que pode ser destacado quanto aos estudos supracitados é quanto a área de realização das pesquisas, principalmente nas desenvolvidas no Brasil. Grande parte dos trabalhos têm se concentrado principalmente nos estados do Rio Grande do Norte e do Pernambuco, mostrando assim, um déficit de pesquisas nos demais Estados que fazem parte do semiárido brasileiro, podendo salientar deste modo o estado do Ceará que se apresenta como um dos Estados com maior densidade de reservatórios artificiais do Brasil, mas com poucos trabalhos desenvolvidos nesse sentido.

3.6 Análise Multivariada

Os métodos estatísticos multivariados têm como finalidade a classificação, modelagem e interpretação de grandes conjuntos de dados. Dessa forma, pode permitir a redução do conjunto de dados e análise desta informação, sendo uma ferramenta útil na avaliação da qualidade da água (LOPES *et al.*, 2014).

Dentre os métodos de Análise Multivariada (AM) será dado destaque aos empregados nesta pesquisa, sendo eles a Análise da Componente Principal (ACP) e a Análise de Agrupamento (AA). A ACP projeta pontos de dados em um espaço de baixa dimensão tal que a sua nova representação retém tanto da variância contida dentro das originais, desse modo, os componentes principais são identificados em primeiro lugar a partir do cálculo da matriz covariância dos dados, no qual os auto vetores são correspondentes aos auto valores, que satisfazem aos critérios originais, com maior magnitude (WALKER *et al.*, 2015).

A ACP tem sido muito utilizada em dados de qualidade de água, pois reduz os dados de observação e permite a interpretação de vários componentes individualmente, uma vez que pode indicar as associações entre as variáveis, e também permite a identificação de possíveis fatores e fontes que influenciam a qualidade da água (ANDRADE *et al.*, 2007; PALÁCIO *et al.*, 2011; LOPES *et al.*, 2014). Já a Análise de Agrupamento ou Análise de Cluster tem como função aglomerar dados de características semelhantes, baseando-se em um critério de seleção predeterminado. Os grupos formados devem possuir alta homogeneidade interna (entre os dados do grupo) e de alta heterogeneidade externa (entre os grupos). Esse método fornece relações de similaridade entre qualquer amostra e todo um conjunto de dados, sendo representada na forma de um dendrograma (diagrama de árvore) (ANDRADE *et al.*, 2011; JUNG *et al.*, 2016).

Diversos estudos têm empregado tais métodos multivariados na avaliação de dados de qualidade de água, em virtude da grande quantidade de variáveis estudadas, principalmente quando se trata de séries de dados avaliadas no espaço e tempo.

Jardim *et al.* (2015), correlacionaram parâmetros ambientais e de qualidade de água com aflorações de cianobactérias na bacia hidrográfica do Rio Doce, localizada no estado de Minas Gerais, Brasil. Os autores aplicaram a AA para agrupar dados de pontos de coletas (total de 10 pontos de amostragem) e variáveis de qualidade da água (um total de 12) monitorados de 2008 a 2012 trimestralmente, que resultou na formação de dois grupos. Enquanto isso, a ACP foi empregada para determinar o número de componente de qualidade de água que deveria ser considerado, logo, os autores verificaram que as maiores densidades de cianobactérias estiveram associadas a reduções da temperatura da água, da turbidez, da concentração de fósforo total e condições características do período estival.

Em um estudo desenvolvido por Jung *et al.* (2016) na bacia hidrográfica do Rio Nakdong na Coreia do Sul, os autores avaliaram 12 parâmetros de qualidade de água em um total de 20 pontos de coletas distribuídos ao longo do rio e de seus afluentes. Para tal, os mesmos empregaram a ACP para analisar as variações espaço-temporais da qualidade da água. A análise de agrupamento foi realizada para analisar a semelhança de variação da qualidade da água entre os pontos investigados. Como resultado, foram identificados três fatores, obtendo destaque o primeiro que era composto por nutrientes e poluentes orgânicos. Quanto a Análise de Agrupamento foram formados dois grupos. A partir dos resultados os autores foram capazes de observar que os pontos com maiores níveis de poluição passavam nos centros urbanos ou recebiam esgoto.

Por fim, podem ser mencionados ainda outros estudos que empregaram o uso de Análise Multivariada na avaliação de dados de qualidade de água, tais como (PALÁCIO *et al.*, 2011; BATISTA *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2014; WALKER *et al.*, 2015).

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2 ed. Brasília: SIH/ANEEL, 2001. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/introducao_gerenciamento.pdf> Acesso: jan. 2015.
- AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JÚNIOR, H. F.; PETRERE JÚNIOR, M. Itaipu reservoir (Brazil): impacts of the impoundment on the fish fauna and fisheriers. *In: Reabilitation of freshwater fisheries*. London: I.G. Cowx, 1994. 171-184p.
- ÁLVAREZ-CABRIA, M.; BARQUÍN, J.; PEÑAS, F. J. Modelling the spatial and seasonal variability of water quality for entire river networks: Relationships with natural and anthropogenic factors. **Science of The Total Environment**, v. 545, p. 152-162, 2016.
- ALVES, M. F. A.; ALVES, L. R. A.; SARMENTO, E. B.; LIMA, G. A.; CRISPIM, D. L. Análise da precipitação pluvial de Pombal-PB relacionada com sistemas atmosféricos atuantes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p. 169-175, 2015.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; GUERREIRO, M. J.; CHAVES, L. C. G.; RODRIGUES, J. O. Identification of groundwater quality similarity using multivariable analysis. **Revista Caatinga**, v. 24 n. 4, p. 130-136, 2011.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F., DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. M.; PALÁCIO, H. A. P. O semi-árido cearense e suas águas, Imprensa universitária. *In: Semiárido e o manejo de recursos naturais, uma proposta do uso adequado do capital natural*, 2010. 57-408p.
- ANDRADE, E. M.; SENA, M. G. T.; SILVA, A. G. R.; PEREIRA, F. J. S.; LOPES, F. B. Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016.
- ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. Campina Grande. *In: Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações*. PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 282p.
- ARAÚJO, M. F. F.; COSTA, I. A. S; CHELLAPPA, N. T. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais na Lagoa de Extremoz, Natal-RN, Brasil. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 12, p. 127-140, 2000.
- ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – ASA. **O semiárido brasileiro**. Disponível em: <www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=105> Acesso em: 10 jan. 2015.
- AZEVEDO, S.M.F.O.; CARMICHAEL, W.W.; JOCHIMSEN, E.M.; RINEHART, K.L.; LAU, S.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruar-Brazil. **Toxicology**, v. 181, p. 441-446, 2002.

- BATISTA, A. A.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; IZIDIO, N. S. C.; LOPES, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 39-48, 2014.
- BATISTA, A. A.; MEIRELLES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Parâmetros interferentes na eutrofização das águas superficiais do açude Orós, Ceará. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 1-8, 2013.
- BORTOLI, S.; PINTO, E. Cianotoxinas: características gerais, histórico, legislação e métodos de análises. **Ecologia de reservatórios e interfaces**, p. 321-339, 2015.
- BRASIL, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 375, de 17 de março de 2005**.
- BRASIL, J.; HUSZAR, V. L. M. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro: v. 15, n. 4, p. 799-834, 2011.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Câmara dos Deputados. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Estudo. Brasília, DF, nov. 2007.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 12 dez.
- CÂMARA, F. R. A.; LIMA, A. K. A.; ROCHA, O.; CHELLAPPA, N. T. The role of nutrient dynamics on the phytoplankton biomass (chlorophyll-a) of a reservoir-channel continuum in a semi-arid tropical region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, n. 4, p. 431-439, 2009.
- CAMPOS, J. D. **Desafios do gerenciamento dos recursos hídricos nas transferências naturais e artificiais envolvendo mudança de domínio hídrico**. 2005. 438f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- CARMICHAEL, W. W.; LAU, S.; AZEVEDO, S. M. F. O.; RINEHART, K. L.; AN, J. S.; SHAW, G. R.; MOLICA, R. J. R.; EAGLESHAM, G. K.; JOCHIMSEN, E. M. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, n. 7, p. 663-668. 2001.
- CARNEIRO, R. L.; PACHECO, A. B. F.; AZEVEDO, S. M. F.O. Growth and saxitoxin production by *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) correlate with water hardness. **Marine drugs**, v. 11, n. 8, p. 2949-2963, 2013.
- CHELLAPPA, N. T.; BORBA, J. M.; ROCHA, O. Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 3, p. 477-494, 2008.
- CHELLAPPA, N. T.; COSTA, M. A. M. Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a Eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. **Acta Oecologica**, v. 24, p. S3-S10, 2003.
- CHEN, J.; LU, J. Effects of land use, topography and socio-economic factors on river water quality in a mountainous watershed with intensive agricultural production in East China. **PLoS one**, v. 9, n. 8, p. e102714, 2014.

CHEN, L.; YANG, Z.; LIU, H. Assessing the eutrophication risk of the Danjiangkou Reservoir based on the EFDC model. **Ecological Engineering**, 2016.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring, and management**. Taylor & Francis, London. E&FN Spon. 1999 416p.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, São Paulo: v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br> Acesso em: 20 nov. 2015.

COSTA, D. F.; BARBOSA, J. E. L.; DANTAS, Ê. W. Productivity–diversity relationships in reservoir phytoplankton communities in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 129, p. 64-70, 2016.

COTTINGHAM, K. L.; CARPENTER, S. R.; AMAND, A. L. S. Responses of epilimnetic phytoplankton to experimental nutrient enrichment in three small seepage lakes. **Journal of Plankton Research**, v. 20, n. 10, p. 1889-1914. 1998.

DANTAS, Ê. W.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. **Limnologia**, v. 42, n. 1, p. 72-80, 2012.

DANTAS, S. P.; BRANCO, K. G. K.; BARRETO, L. L.; COSTA, L. R. L.; DAMANSCENO, M. F. B.; SALES, M. C. L. Análise da distribuição dos recursos hídricos do açude Orós: bacia hidrográfica do Jaguaribe/Ce - Brasil. **Revista Geográfica da América Central**, volume especial p. 1-11, 2011.

DATSENKO, I. S.; SANTAELLA, S. T.; ARAÚJO, J. C. de. Peculiaridades do processo de eutrofização dos açudes da região semi-árida. *In*: Congresso Brasileiro de Saneamento e Engenharia Ambiental, 20, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. CD Rom.

DOAN, P. T. K.; NÉMERY, J.; SCHMID, M.; GRATIOT, N. Eutrophication of turbid tropical reservoirs: Scenarios of evolution of the reservoir of Cointzio, Mexico. **Ecological Informatics**, v. 29, p. 192-205, 2015.

FEITOSA, L. S. **Aspectos limnológicos da pequena açudagem no semiárido: estudo de caso dos açudes do Assentamento 25 de Maio, Madalena, Ce**. Fortaleza: UFC, 2011. 121p.

FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F. D.; ANDRADE, E. M. D.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. D. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 506-515, 2015.

FERNÁNDEZ, J. R. A.; GARCÍA NIETO, P. J.; MUÑIZ, C. D.; ANTÓN, J. C. Á Modeling eutrophication and risk prevention in a reservoir in the Northwest of Spain by using multivariate adaptive regression splines analysis. **Ecological Engineering**, v. 68, p. 80-89. 2014.

FERRÃO-FILHO, A. S. Bioacumulação de cianotoxinas e seus efeitos em organismos aquáticos. **Oecologia Brasiliensi**, v. 13, n. 2, p. 271-312. 2009.

- FERREIRA, M. S. **Inferência espacial de clorofila a por redes neurais artificiais aplicadas a imagens multiespectrais e medidas tomadas *in situ***. 2011. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.
- FIGUEREDO, C. C.; GIANI, A. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. **Hydrobiologia**, v. 445, p. 165-174. 2001.
- FRANCESCHINI, I. M.; BURLIGA, A. L.; REVIERS, B.; PRADO, J. F.; REZIG, S. H. **Algas: uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica**. Porto Alegre: Artmed, 2010, 332p.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **MAPEAMENTO DOS ESPELHOS D'ÁGUA DO BRASIL**. Disponível em: http://www.funceme.br/documents/Projetos/espelhos_dagua.pdf. Acesso em: 12 jan. 2016.
- HUTCHINSON, G.E. **A Treatise on Limnology: Geography Physics and Chemistry**. v. 1, New York: John Wiley & Sons. 1957. 1015p.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**, Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br> Acesso em: 15 jan. 2016.
- JARDIM, F. A.; SPERLING, E. V.; JARDIM, B. F. M.; ALMEIDA, K. C. B. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 207-218, 2014.
- JUNG, K. Y.; LEE, K. L.; IM, T. H.; LEE, I. J.; KIM, S.; CHEON, S. U.; HAM, K. Y.; AHN, J. M. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. **Environmental Technology & Innovation**, v. 5, p. 67-82, 2016.
- KUTSER, T.; METSAMAA, L.; STROMBECK, N.; VAHTMAE, E. Monitoring cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 67, p. 303–312. 2006.
- LIMA, P. F.; SOUSA, M. S. R.; PORFÍRIO, A. F.; ALMEIDA, B. S.; FREIRE, R. H. F., SANTAELLA, S. T. Preliminary analysis on the use of Trophic State Indexes in a brazilian semiarid reservoir. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 37, n. 3, p. 309-318, 2015.
- LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 4, p. 437–445, 2014.
- MAHESHWARI, K.; VASHISTHA, J.; PAULOSE, P. V.; AGARWAL, T. Seasonal changes in phytoplankton community of lake Ramgarh, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 4, n. 11, p. 318-330, 2015.
- MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. **Environmental Conservation**, v. 29, p. 134-153, 2002.
- MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil, 27 ed., Brasília, In: **Parcerias Estratégicas**. DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008. 361p.

MEDEIROS, L. C.; MATTOS, A.; LÜRLING M.; BECKER, V. Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. **Aquatic Ecology**, v. 49, p. 293-307, 2015.

MENESCAL, R. A.; VIANA, F. L.; FIGUEIREDO, N. N.; GONDIM FILHO, J. G. C. Gestão de recursos hídricos e a garantia do abastecimento humano de grandes aglomerados urbanos no semi-árido – O caso de Fortaleza. **RHBR – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 1, p.217, 2004.

MOLISANI, M. M.; BECKER, H. B.; BARROSO, H. S.; HIJO, C. A. G.; MONTE, T. M.; VASCONCELLOS, G. H.; LACERDA, L. D. The influence of Castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral Jaguaribe river (CE, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v.73, n.1, p.115-123, 2013.

MOURA, A. D. N.; FUENTES, E. V.; ARAGÃO, N. K. V.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N. Dinâmica fitoplanctônica relacionada às condições ambientais em reservatório de abastecimento público do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 592-599, 2010.

MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; DANTAS, Ê. W.; ARRUDA NETO, J. D. T. Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. **Acta Botanica Brasilica**, v.21, n.3, p.641-648, 2007.

MOURA, A. N.; NASCIMENTO, E. C.; DANTAS, Ê. W. Temporal and spatial dynamics of phytoplankton near farm fish in eutrophic reservoir in Pernambuco, Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, n. 2, p. 581-597, 2012.

OLIVEIRA, A. M.; ARAÚJO, W. S.; COSTA, D. F. S. Serviços ecossistêmicos prestados por reservatórios no semiárido do Brasil. **Revista do CERES**, v. 1, n. 2, p. 36-43, 2015.

OLIVEIRA, D. B. S. **O uso das tecnologias sociais hídricas na zona rural do semiárido paraibano: entre o combate a seca e a convivência com o semiárido**. 2013. 186f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

OLIVEIRA, F. H. P. C.; ARA, A. L. S. C.; MOREIRA, C. H. P.; LIRA, O. O.; PADILHA, M. R. F.; SHINOHARA, N. K. S. Seasonal changes of water quality in a tropical shallow and eutrophic reservoir in the metropolitan region of Recife (Pernambuco-Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 4, p. 1863-1872, 2014.

OLIVEIRA, F. H. P. C.; SILVA, J. D. B., COSTA, A. N. S. F.; RAMALHO, W. P.; MOREIRA, C. H. P.; CALAZANS, T. L. S. Cyanobacteria community in two tropical eutrophic reservoirs in northeastern Brazil. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 2, p. 169-176, 2015.

OLIVEIRA, F. H. P. C.; SILVA, J. D. B., COSTA, A. N. S. F.; RAMALHO, W. P.; MOREIRA, C. H. P.; CALAZANS, T. L. S. Cyanobacteria community in two tropical eutrophic reservoirs in northeastern Brazil. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 2, p. 169-176, 2015.

PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.395-402. 2011.

PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das

águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 395-402. 2011.

PAULA FILHO, F. J.; MARINS, R. V.; LACERDA, L. D. Natural and anthropogenic emissions of N and P to the Parnaíba River Delta in NE Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, p. 34-44, 2015.

PEDRALLI, G. Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudo. **Estudos de Biologia**, v. 26, p. 5-24. 1990.

PEREIRA, L. D. A. **Saber ecológico: o fitoplâncton e nossas águas**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2013. 44p. Livro apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática como parte do trabalho de conclusão de curso.

PINTO, T. S.; BECKER, V. Diel dynamic of phytoplankton functional groups in a tropical water supply, Extremoz Lake, northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 4, p. 356-366, 2014.

PRADO, R. B. **Análise espacial e temporal das alterações na qualidade da água do reservatório de Barra Bonita (SP) em função da dinâmica do uso da terra**. 2004. 197f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

REGUEIRAS, A. V. B. **Comparação de métodos de identificação e quantificação de cianobactérias e suas toxinas na Albufeira do Torrão (Rio Tâmega)**. 2009. 127f. Dissertação (Mestrado em Contaminação e Toxicologia Ambientais) - Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar e Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2009.

RIGOSI, A.; RUEDA, F. J. Hydraulic control of short-term successional changes in the phytoplankton assemblage in stratified reservoirs. **Ecological Engineering**, v. 44, p. 216-226, 2012.

ROCHA, F. C.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; PAULA FILHO, F. J.; COSTA FILHO, J. H.; SILVA, M. D. Physical-chemical determinant properties of biological communities in continental semi-arid waters. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, p. 1-15, 2016.

ROSSEL, V.; FUENTE, A. Assessing the link between environmental flow, hydropeaking operation and water quality of reservoirs. **Ecological Engineering**, v. 85, p. 26-38, 2015.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; PINTO, E. J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. S.; SOUZA, W. M., Tendência de índices pluviométricos na bacia do rio Capibaribe-PE e sua influência na gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 1002-1014, 2014.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 35-44, 2014.

SILVA, M. D. **Diagnóstico da comunidade fitoplanctônica de um reservatório no semiárido nordestino**. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

SILVA, T.; KHAC V. T.; VINÇON-LEITE, B.; LEMAIRE, B.; GIANI, A.; FIGUEREDO, C. C.; TOSCANO, R.; VIANA V.; PETRUCCI, G.; SEIDL, M.; TASSIN B.; NASCIMENTO, N. Modelagem da dinâmica de cianobactérias integrada à modelagem hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Pampulha. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.

SUN, L.; LI, H.; WARD, M. N.; MONCUNILL, D. F. Climate variability and corn yields in semiarid Ceará, Brazil. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 46, n. 2, p. 226-240, 2007.

THOMAS, I. A.; JORDAN, P.; MELLANDER, P. E.; FENTON, O.; SHINE, O.; Ó HUALLACHÁIN, D.; CREAMER, R.; MCDONALD, N.T.; DUNLOP, P.; MURPHY, P. N. C. Improving the identification of hydrologically sensitive areas using LiDAR DEMs for the delineation and mitigation of critical source areas of diffuse pollution. **Science of The Total Environment**, v. 556, p. 276-290, 2016.

TUNDISI, J. G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In: TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, IIE, 2003. 247p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa. 2005. 248p.

VASCONCELOS JÚNIOR, F. C. **Pré-estação chuvosa e a estação chuvosa do norte do nordeste brasileiro: aspectos interanuais, intrazonais e extremos**. 2014. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Acesso em: 17 ago. 2023.

VASCONCELOS V. M. Cyanobacteria toxins: Diversity and ecological effects. **Limnetica**, v. 20, n. 1, p. 45-58. 2001.

VIEIRA, P. C. S.; CARDOSO, M. M. L.; COSTA, I. A. S. Vertical and temporal dynamics of phytoplanktonic associations and the application of index assembly in tropical semi-arid eutrophic reservoir, northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 130-144, 2015.

VIEIRA, P. C. S.; CARDOSO, M. M. L.; COSTA, I. A. S. Vertical and temporal dynamics of phytoplanktonic associations and the application of index assembly in tropical semi-arid eutrophic reservoir, northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 130-144, 2015.

VON SPERLING, E. FERREIRA, A. C. S. GOMES, L. N. L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, 226, p. 169-174, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Volume 1: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, v. 2, 1996. 211 p.

WALKER, D.; JAKOVLJEVIC, D.; SAVIC, D.; RADOVANOVIC, M. Multi-criterion water quality analysis of the Danube River in Serbia: A visualisation approach. **Water Research**. v. 79, p. 158–172, 2015.

XU, E.; ZHANG, H. Aggregating land use quantity and intensity to link water quality in upper catchment of Miyun Reservoir. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 329-339, 2016.

YANG, X., LIU, Q., FU, G., HE, Y., LUO, X., ZHENG, Z. Spatiotemporal patterns and source attribution of nitrogen load in a river basin with complex pollution sources. **Water research**, v. 94, p. 187-199, 2016.

4 A QUALIDADE DA ÁGUA EM FUNÇÃO DOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO

RESUMO

Os reservatórios artificiais têm como função acumular o excedente hídrico no período chuvoso para ser disponibilizado no período seco. Sendo a chuva a principal fonte reguladora dos mananciais, fazendo com que ela também seja uma importante variável a ser considerada em estudos de qualidade de água, pois o impacto da chuva sobre o solo deflagra o processo de erosão e conduz os sólidos para os corpos d'água. Com isso, objetivou-se avaliar o comportamento espaço-temporal de atributos de qualidade da água função dos períodos chuvoso e seco. A pesquisa foi desenvolvida no reservatório Orós, onde foram realizadas campanhas sazonais de coleta de amostras de água no período de 2008 a 2010. Foram realizadas análises dos atributos: transparência de secchi, turbidez, fósforo total, Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT), e clorofila-*a*. Através de bancos de dados históricos foram obtidos dados dos parâmetros pluviométricos e volume d'água do reservatório. Para as análises estatísticas dos dados foram empregados o Teste T e Correlação de Pearson. A partir dos resultados encontrados foi possível observar que os atributos físicos e biológicos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os pontos de coleta e os períodos, já para os atributos químicos só o NKT apresentou diferença significativa entre os pontos (P5 e P7). Verificou-se uma maior correlação dos atributos com a precipitação pluviométrica e o volume d'água no período seco em comparação com o período chuvoso. Concluiu-se que as características do atributo turbidez é extremamente variável as mudanças sazonais, sendo que no período seco ela é provocada pelo fitoplâncton e no período chuvoso pelos sólidos sedimentáveis, e que as fortes correlações entre os atributos da água no período seco em relação ao chuvoso são devido a sua maior estabilidade.

Palavras-chave: precipitação pluviométrica antecedente, volume acumulado, atributos da água, nível do reservatório.

4 WATER QUALITY ACCORDING TO RAINY AND DRY PERIODS

ABSTRACT

Artificial reservoirs have as function to accumulate the excess water in the rainy season to be available in the dry season. As the rain is main regulatory source of water bodies, this implies that it is also an important variable to be considered in water quality studies, because the impact of rain on the soil triggers the process of erosion and leads the solids to the water bodies. Thus, It aimed to evaluate the spatio-temporal behavior of water quality attributes due to the rainy periods and dry. The research was developed in Orós reservoir, where were carried out seasonal water sampling in the period from 2008 to 2010. They were analyzed the attributes: secchi transparency, turbidity, total phosphorus, Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), chlorophyll-*a*. Through historical databases were obtained data of rainfall parameters and volume water from the reservoir. For statistical analysis of the data were used the t test and Pearson correlation. From the results found was observed that the physical and biological attributes showed significant differences ($p < 0.05$) between the points of collection and periods, as for chemical attributes only NKT significant difference between the points (P5 and P7). It was found a higher correlation of attributes with rainfall and the volume of water in the dry season compared to the wet season. It was concluded that the the turbidity attribute characteristics is extremante variable seasonal changes, and in the dry season it is caused by phytoplankton and in the rainy season by sedimented solids, and that strong correlations between water attributes in the dry period in comparasion to rainy period are due to its greater stability.

Key words: antecedent rainfall, accumulated volume, water attributes, reservoir level.

4.1 Introdução

O Nordeste brasileiro apresenta-se como a região com maior densidade de reservatórios artificiais do país (MENESCAL *et al.*, 2004). Este é um reflexo da insuficiência de reservatórios naturais de água, uma vez que o Nordeste se encontra quase em sua totalidade dentro da região semiárida, onde há alta variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica e alta taxa de evapotranspiração, com solos rasos embasados sobre o cristalino (BRASIL, 2007; ARAÚJO, 2012).

Os reservatórios acumulam o excedente hídrico gerado na bacia hidrográfica que escoam nos eventos pluviométricos capazes de superar as abstrações iniciais do solo, para disponibilizar a água nos períodos secos (ARAÚJO, 2012). Estes ecossistemas são a transição entre ambientes lóticos e lênticos, cujas propriedades físicas, químicas e biológicas variam com as ações antrópicas e as flutuações do nível da água ocasionada pelas recargas naturais (principalmente precipitação pluviométrica), que podem comprometer a disponibilidade de água (FRANÇA *et al.*, 2013).

Segundo Rocha, Silva e Freitas (2016), a precipitação pluviométrica influencia a vazão que é uma fonte reguladora dos mananciais, fazendo com que ela também seja uma importante variável a ser considerada em estudos de qualidade de água. A precipitação pluviométrica altera os atributos qualitativos, pois o impacto da chuva sobre o solo deflagra o processo de erosão e aumenta a concentração de sólidos em suspensão que implica diretamente no aumento da cor, turbidez e matéria orgânica nos corpos hídricos (ROCHA; PEREIRA, 2016). Além disso, cargas de nutrientes são aportadas nos reservatórios juntamente com o sedimento acarreado através do escoamento superficial gerado pela bacia hidrográfica e pelos tributários. Estes são retidos pelo barramento, favorecendo o processo de eutrofização, e consequente aumento da produtividade primária (MOLISANI *et al.*, 2013).

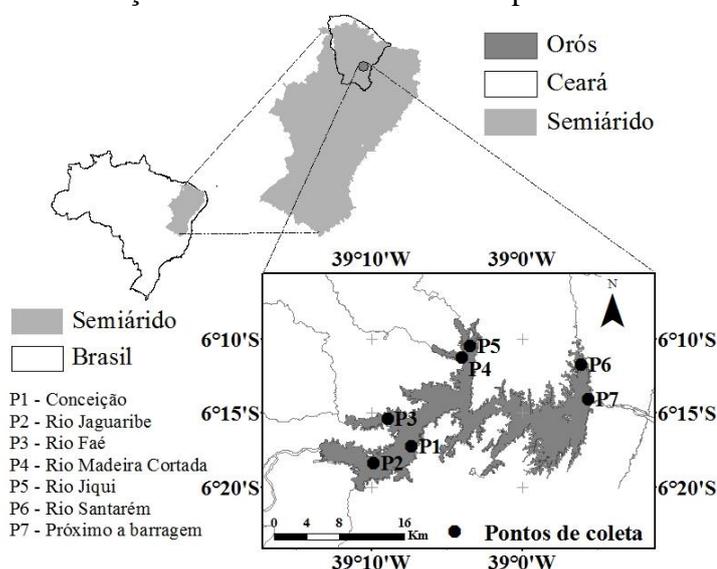
Baseando-se nas informações supracitadas foi levantada a hipótese de que a pluviosidade e o volume acumulado do reservatório têm influências sobre atributos de qualidade da água quando avaliado em períodos chuvoso e seco. Dessa forma, objetivou-se avaliar o impacto da precipitação pluviométrica e do volume acumulado sazonalmente sobre os atributos de água do reservatório Orós.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado no reservatório Juscelino Kubitschek de Oliveira (conhecido como Orós devido a localização da sua barragem), localizado nos limites dos municípios de Orós, Quixelô e Iguatu que está inserido na bacia do Alto Jaguaribe na região centro-sul do estado do Ceará, Brasil (Figura 2).

Figura 2– Localização do reservatório Orós e os pontos de coleta de água.



Esse reservatório possui uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 1,94 bilhão de metros cúbicos de água e uma bacia hidráulica de 35.000 ha. A região encontra-se no clima do tipo BSw'h' segundo a classificação climática de Köppen, de semiárido quente com precipitações máximas de outono e temperatura média mensal do mês mais frio sempre superior a 18 °C. A precipitação pluviométrica anual da região, segundo a série histórica de 1974 a 2010, é 998 mm (FUNCEME, 2016).

De acordo com Silva (2013) são desenvolvidas atividades como pecuária próximos aos pontos P3 e P4, agricultura próximo aos pontos P2, P3, P4, P5 e P6, e atividades de piscicultura nos pontos P1 e P5. O solo da bacia do Alto Jaguaribe onde são desenvolvidas as atividades anteriormente citadas é composto em cerca de 61% por Neossolos e Argissolos, e os 39% restantes são distribuídos entre Latossolos, Luvisolos, Vertissolos e Planossolos (IPECE, 2014).

4.2.2 Monitoramento da qualidade da água

As amostras de água foram coletadas em sete pontos, estando seis pontos localizados nas entradas dos principais tributários e outro próximo à barragem do reservatório (Figura 2). Um total de 10 campanhas de coletas foram realizadas de abril de 2008 até fevereiro de 2010 durante dois períodos: estação chuvosa – aquela com precipitação pluviométrica mensal maior que 50 mm (dezembro a maio) e o período seco (junho a novembro), assim como empregado por Ferreira *et al.* (2015).

Em campo, foi determinada a transparência pelo disco de Secchi, e para os demais atributos (Tabela 1) foram realizadas coletas em garrafas de polietileno de 1,5 litros – adequadamente descontaminadas, à 30 cm de profundidade da superfície da água. As amostras coletadas foram acondicionadas adequadamente em caixa térmica e conduzidas ao laboratório para análise imediata, processamento ou armazenamento adequado. A análise de turbidez foi realizada no Laboratório de Análises de Água, Solo e Tecido Vegetal do IFCE *campus* Iguatu, já as análises de fósforo total, NKT e clorofila-*a* foram realizadas no Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias do IFCE *campus* Fortaleza.

Tabela 1– Atributos físicos, químicos e biológicos avaliados e suas respectivas metodologias analíticas.

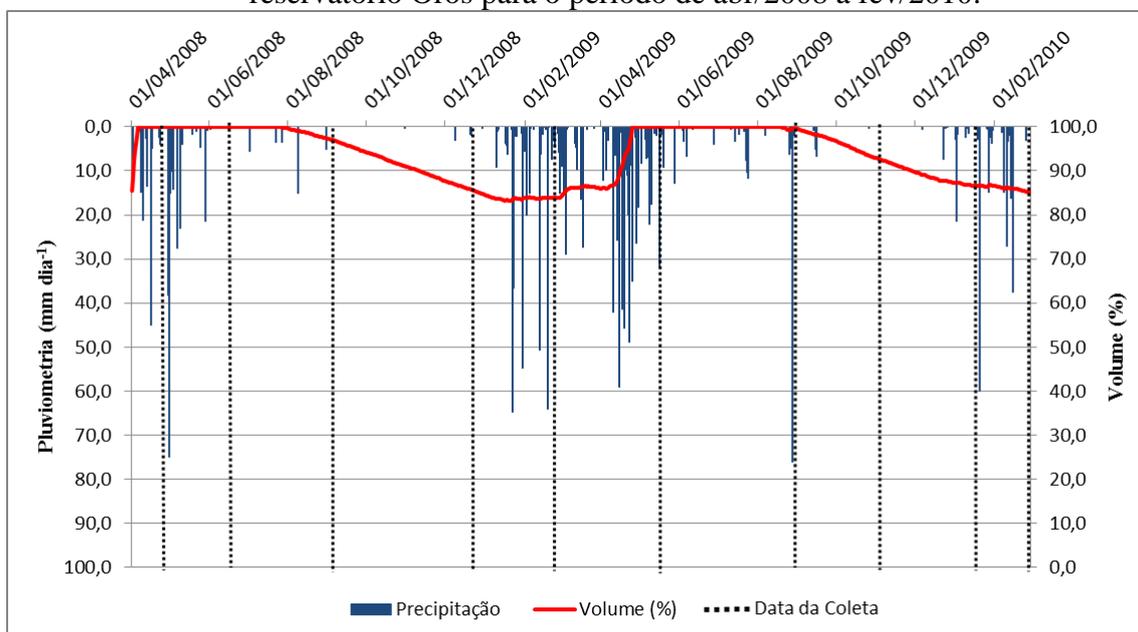
Atributos	Metodologias Analíticas
Transparência de Secchi (m)	Visualização em Disco de Secchi ¹
Turbidez (uT)	Turbidimétrico ¹
Fósforo total (mg L ⁻¹)	Espectrofotométrico – Ácido Ascórbico ¹
NKT (mg L ⁻¹)	Espectrométrico – Destilação em Macro-Kjldahl seguida de Nesslerização Direta ¹
Clorofila- <i>a</i> (µg L ⁻¹)	Espectrofotométrico – Extração à quente com Metanol ²

¹ APHA *et al.*, (2005), ² JONES, (1979).

4.2.3 Monitoramento da precipitação pluviométrica e volume acumulado do reservatório

A série de dados pluviométricos diários (Figura 3) referente à estação meteorológica da cidade de Iguatu, que fica à montante do reservatório Orós, foi obtida através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016) abrangendo o período de primeiro de abril de 2008 a 28 de fevereiro de 2010. Teve como finalidade avaliar a precipitação pluviométrica acumulada de até 30 dias dos períodos de coleta das amostras de água. Já o volume acumulado do reservatório Orós (Figura 3) foi obtido no Portal Hidrológico do Ceará (COGERH, 2016) referente ao mesmo período de coleta dos dados pluviométricos.

Figura 3 – Dados diários de precipitação pluviométrica do posto de Iguatu e volume do reservatório Orós para o período de abr/2008 a fev/2010.



4.2.4 Análise estatística

Foram empregadas a análise descritiva e a comparação das médias dos atributos de qualidade da água através do teste T para um nível de significância de $p < 0,05$. Esse procedimento teve como finalidade comparar os valores médios dos atributos físicos, químicos e biológicos por ponto de coleta e período.

Por fim, foi realizada a correlação de Pearson com a intenção de observar a influência da precipitação pluviométrica acumulada para 1, 5, 10, 20 e 30 dias de antecedência e do volume d'água do reservatório com os atributos da qualidade da água investigado. O procedimento foi adaptado da metodologia empregada por Fraga *et al.* (2012), que adotou os intervalos precipitação acumulada de 1 a 30 dias, no entanto, empregou outra forma de análise dos dados que consistia inicialmente na regressão linear entre atributos e a precipitação acumulada e, posteriormente, avaliou as relações pelo coeficiente de correlação linear resultante. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o software SPSS 16.0.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Distribuição espaço-temporal dos atributos físicos, químicos e biológicos

Os valores de turbidez (Figura 4A) demonstraram uma grande influência do ponto P2 (confluência do rio Jaguaribe) na contribuição de material em suspensão, apresentando os maiores valores de turbidez em quase todo o período de estudo principalmente no período chuvoso (Figura 3). Segundo Batista *et al.* (2013) o Rio Jaguaribe corresponde a uma das principais entradas de água da parte alta da bacia hidráulica, e conseqüentemente, é responsável pelo maior aporte de sedimentos nas águas do reservatório.

Observa-se ainda que a turbidez responde ao nível do reservatório no período seco e início do período chuvoso mostrando uma tendência no aumento dos valores de turbidez com a redução do nível de água, podendo ser observado nas coletas de agosto e dezembro de 2008, outubro de 2009 e janeiro de 2010, cujos volumes eram 97,50, 86,29, 93,22, 86,86 %, respectivamente.

Tal fato é uma consequência do aumento de nutrientes devido ao processo de evaporação da água do reservatório. Conforme Costa *et al.* (2016) o balanço hídrico negativo de regiões semiáridas tem o potencial de diminuir o nível de água de reservatórios e lagos e, conseqüentemente, favorece a concentração de nutrientes em um volume menor e que segundo Moss *et al.* (2011) torna esse ambiente suscetível a eutrofização, que é um fenômeno responsável pelo aumento da produtividade fitoplanctônica. De acordo com Buzelli e Cunha-Santino (2013) material de origem orgânica como fitoplâncton também interfere na turbidez por meio da biogênese.

Outro ponto a ser destacado é quanto ao aumento do atributo turbidez devido à precipitação pluviométrica que promove o processo de erosão do solo, e resulta no aporte deste nos corpos d'água, também elevando os valores de turbidez. Segundo Lee, Lee e Chiang (2016), o aumento da taxa de turbidez em eventos de chuva é alta e positivamente correlacionado com a intensidade da chuva, assim como, está bem correlacionada com a vazão diária.

Quanto ao atributo transparência (Figura 4B) constata-se que os maiores valores observados nos pontos P6 e P7 apontam uma tendência em diminuir com a redução do volume do reservatório, podendo ser observado a partir da comparação com o gráfico de precipitação pluviométrica e volume (Figura 3). Em um estudo realizado em dois reservatórios no Rio Grande do Norte por Braga *et al.* (2015), os autores identificaram a mesma resposta no período seco, que foi atribuído à biomassa fitoplanctônica devido à alta reciclagem de nutrientes.

Contudo, nos demais pontos o volume acumulado do reservatório não teve tanta interferência sobre a transparência, já a precipitação pluviométrica exerceu maior influência sobre estes. Braga *et al.* (2015) observaram estas condições no reservatório estudado e atribuíram o ocorrido às altas concentrações de sólidos suspensos fixos que limitam o crescimento das algas pelo sombreamento. De acordo com Batista *et al.* (2014), fatores como o grande porte da bacia onde está localizado o reservatório Orós, e características de solo e as práticas de manejo empregadas, aliadas ao período chuvoso têm uma agravação dos processos erosivos que geram a remoção de sedimento argiloso, que são aportados nas águas do reservatório e interferem na transparência da água.

Figura 4 – Ocorrência espaço-temporal dos atributos físicos: Turbidez (A) e Transparência (B).

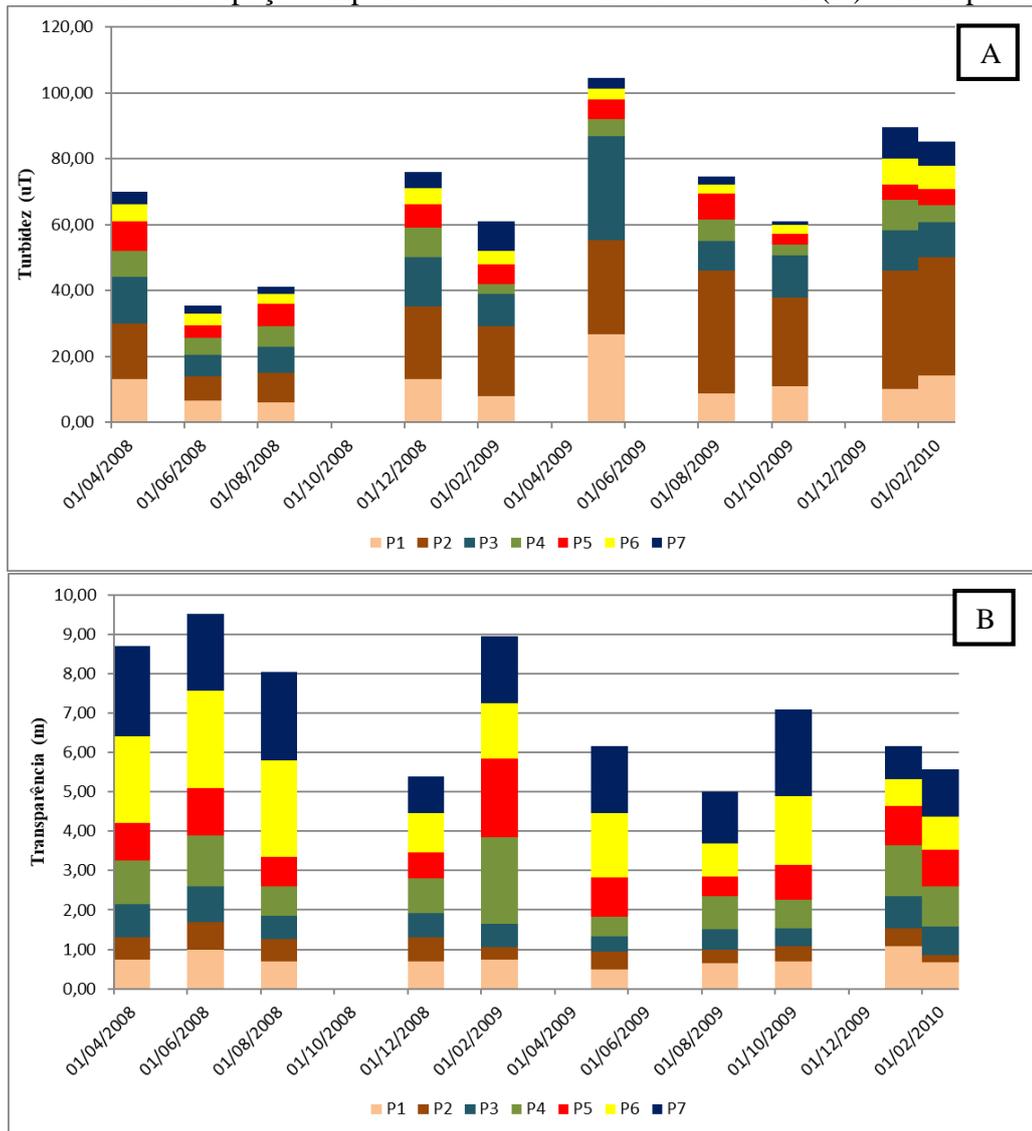
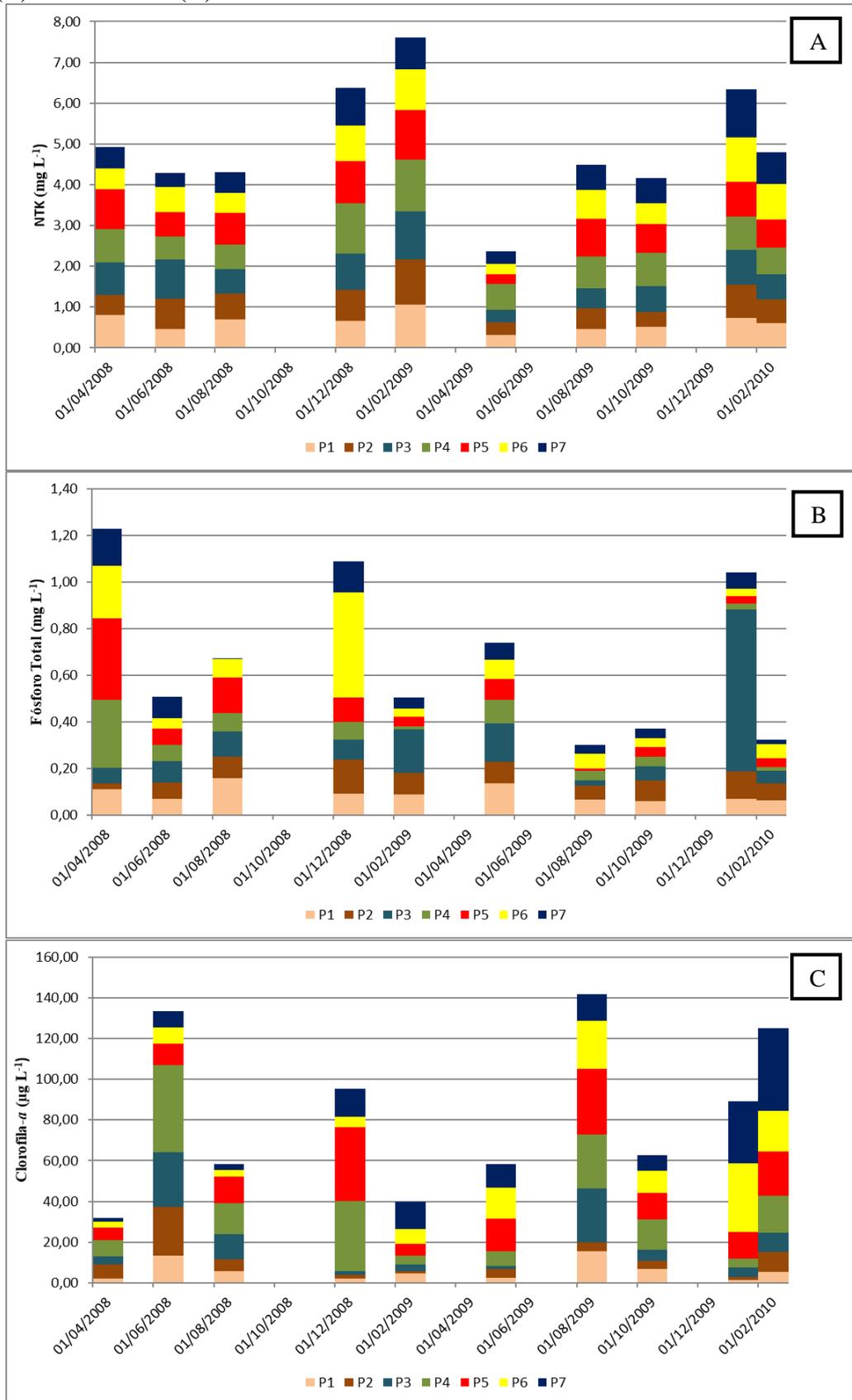


Figura 5 – Ocorrência espaço-temporal dos atributos químicos e biológico: NKT (A), Fósforo Total (B) e Clorofila-a (C).



Já para os atributos químicos e biológico (Figura 5), ao comparar os valores de nitrogênio total (Figura 5A) com dados de precipitação pluviométrica e volume d'água (Figura 3), observa-se que esse atributo não respondeu ao aumento do volume do reservatório, contudo, o oposto foi constatado para a precipitação pluviométrica.

Alguns fatores podem ser atribuídos a esse comportamento, os baixos níveis volumétricos favorecem a proliferação de algumas espécies de cianobactérias capazes de fixar nitrogênio. Outro ponto a ser destacado é que esse atributo não é acumulativo em reservatórios tropicais devido a anoxia do hipolímnio aliada às altas temperaturas que favorecem o processo de desnitrificação, enquanto a precipitação pluviométrica favorece o aporte de nitrogênio através da lavagem de solos rurais e centros urbanos que vertem nos mananciais a partir do escoamento superficial (MOURA; NASCIMENTO; DANTAS, 2012; DALU *et al.*, 2013, SILVA, 2013; SILVA; COSTA, 2015).

Em relação ao fósforo total (Figura 5B), verifica-se que a dinâmica desse atributo é muito variável entre os pontos e períodos de coleta, não mostrando resposta direta com a precipitação pluviométrica e nem com o volume do reservatório.

Tal fato está relacionado com a grande variedade de fontes geradoras que contribuem para aporte do fósforo nos corpos hídricos, como descargas de esgotos domésticos e industriais, uso de fertilizantes, pesticidas e produtos químicos na produção agrícola, e atividades agropecuárias. Aliada a essas fontes está a capacidade do fósforo de ficar retido nos ambientes aquáticos em constante dinâmica entre água, partículas e sedimento, dificultando assim seu monitoramento (PERNET-COUDRIER *et al.*, 2012; VIDAL; CAPELO NETO, 2014a; BARBOSA; CIRILO, 2015).

Quanto ao atributo clorofila-*a* (Figura 5C) observa-se que as maiores concentrações desse atributo se encontram no período seco precedido por períodos chuvosos com elevadas alturas pluviométricas. Já as baixas concentrações observadas na terceira coleta – 15 de agosto de 2008 – podem estar relacionadas ao vertimento ocorrido no ano de 2008.

No ano de 2009 também se constata a mesma tendência, contudo, a ocorrência de sangria do reservatório não afetou a produtividade podendo ser notado a partir das altas concentrações observadas na sétima coleta. Outro ponto a ser destacado é que no começo do período chuvoso do ano de 2010 os pontos P5, P6 e P7 apresentaram um aumento em relação às coletas anteriores. A dinâmica percebida na clorofila-*a* nos anos de 2008 e 2009 está relacionada com o processo de aporte de nutrientes ocorrido no período chuvoso, seguido de uma maior concentração desses nutrientes, menores profundidades e maiores condições de padrão homogêneo de luz encontrado no período seco (PINTO; BECKER, 2014).

De acordo com Silva e Costa (2015), fatores como evaporação intensa e longo tempo de residência da água são relacionadas com o estabelecimento de condições eutróficas, que aliadas aos eventos de precipitação pluviométrica distribuída de forma irregular geram intensas flutuações sazonais no nível da água, resultando no aumento da biomassa de algas. Todavia, a expansão da criação de peixes em tanques-rede ocorrida no ano de 2009 contribuiu para o aumento desse atributo na água do reservatório Orós, segundo afirma Silva (2013).

4.3.2 Teste de comparação de média dos atributos qualitativos de água

Após a análise de comparação de média dos dados qualitativos do reservatório Orós (Tabela 2), pode-se observar que para o atributo turbidez houve a formação de três conjuntos distintos entre os pontos de coleta do período chuvoso. O ponto P2 foi diferente ($p < 0,05$) dos demais pontos, os pontos P1 e P3 não apresentaram diferença significativa entre eles, e os pontos P4, P5, P6 e P7 formaram outro conjunto por apresentarem valores médios que não diferiram significativamente.

Os altos valores de turbidez do P2 são atribuídos ao aporte de sólidos suspensos oriundos do Rio Jaguaribe, e uma conseqüente redução deste atributo nos pontos jusante ocorre devido ao processo de sedimentação deste material, gerando diferenças entre as médias. A deposição do material suspenso e a remobilização pode ser distribuída ao fundo do reservatório, dependendo da velocidade de fluxo do reservatório e do tamanho das partículas de sedimento (BRONSTERT *et al.*, 2014). Em um estudo realizado por Lopes *et al.* (2014), os autores identificaram a mesma tendência de formação de tais grupos.

Já para o período seco o atributo turbidez mostrou uma maior variabilidade entre os pontos, no entanto, nota-se que o ponto P7 apresentou menor valor médio deste atributo exibindo similaridade apenas com o ponto P6; essa resposta está relacionada a fatores como proximidade destes pontos da barragem, à ausência do aporte de materiais em suspensão oriundo do escoamento e o longo período de detenção hidráulica. Deste modo, foi observado ainda que entre os períodos houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para os pontos P6 e P7. De acordo com Batista *et al.* (2013) o aporte de materiais suspensos pelo rio Jaguaribe ocorre principalmente no período chuvoso.

Quanto ao atributo transparência verificou-se que o mesmo não apresentou diferença significativa entre os períodos, e que o mesmo apresentou uma grande dissimilaridade entre os seus pontos de coleta. Contudo, observa-se que este atributo tem sempre a mesma tendência de

apresentar os maiores valores médio nos pontos P6 e P7 (localizados próximos à barragem) e menores valores no ponto P2 (entrada do Rio Jaguaribe).

Esse comportamento demonstra a influência do aporte de material suspenso do Rio Jaguaribe sobre a baixa transparência observada no P2. As altas transparências observadas nos outros pontos é um reflexo da redução da concentração de materiais suspensos que ocorre da entrada até a barragem do reservatório, onde a desaceleração do fluxo do Rio pela barragem induz a deposição do material em suspensão em todo o represamento (MOLISANI et al., 2013).

De acordo com a classificação sugerido por Lamparelli (2004), no período seco as águas variaram entre Hipereutrófico (transparência $< 0,60$) para o ponto P2 e Oligotrófico ($2,4 >$ transparência $\geq 1,7$) para o ponto P7, já para o período chuvoso variaram entre Hipereutrófico para o P2 e Mesotrófico ($1,7 >$ transparência $\geq 1,1$) para o P7.

Em relação ao nitrogênio total não houve diferença significativa entre os pontos no período chuvoso, entretanto, o mesmo não foi observado no período seco no qual o ponto P5 apresentou diferença significativa dos pontos P1 e P7. Tal fato está relacionado a uma consequente redução do nível do reservatório aliada à criação de peixe em tanque-rede que fica localizada próxima ao P5, favorecendo assim o aumento desse nutriente neste ponto.

De acordo com Silva (2013), em ambiente de criação de peixe o enriquecimento por nitrogênio é resultante da adição de fertilizantes, excreção dos peixes e resto de ração não consumido. Constatou-se ainda que apesar de não haver diferença significativa entre o período chuvoso e seco, todavia, os maiores valores médios de nitrogênio foram notados no período chuvoso em relação ao seco. Ainda segundo a autora citada, a lavagem dos solos de áreas agrícolas de cultivo de arroz nas vazantes da parte alta da bacia, acarreta para o reservatório altas cargas de nutrientes.

Tabela 2 – Comparação de média entre os pontos de coleta e os períodos pelo Teste T (Transp. – transparência, PT – Fósforo total, NKT – Nitrogênio total, Cl-a – Clorofila-a).

Atributos	Período	Estatística	Pontos de Coleta						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Turbidez (uT)	Chuvoso	Média	11,66 ± 2,54 b	26,40 ± 8,96 a	12,34 ± 2,16 b	6,92 ± 2,70 c	6,32 ± 1,76 c	5,76 ± 1,57 Ac	6,96 ± 2,44 Ac
		Amplitude	8,00 - 14,20	17,00 - 36,00	10,00 - 15,00	3,00 - 9,30	4,70 - 9,00	4,00 - 7,80	4,00 - 9,60
		C.V (%)	21,78	32,92	17,50	39,02	27,85	27,26	35,06
	Seco	Média	11,72 ± 8,59 ab	21,88 ± 13,05 abc	13,62 ± 10,37 a	5,16 ± 1,20 b	5,60 ± 1,98 abc	3,10 ± 0,38 Bcd	2,28 ± 0,79 Bd
		Amplitude	6,00 - 26,70	7,50 - 37,30	6,50 - 31,70	3,30 - 6,40	3,20 - 7,90	2,70 - 3,50	1,10 - 3,20
		C.V (%)	73,29	59,64	76,13	23,26	35,36	12,26	34,65
Transp. (m)	Chuvoso	Média	0,79 ± 0,16 bc	0,42 ± 0,17 e	0,72 ± 0,11 bd	1,30 ± 0,53 ab	1,11 ± 0,51 acd	1,22 ± 0,61 ac	1,40 ± 0,60 a
		Amplitude	0,68 - 1,08	0,18 - 0,60	0,60 - 0,85	0,88 - 2,20	0,67 - 2,00	0,67 - 2,20	0,85 - 2,30
		C.V (%)	20,25	40,48	15,28	40,77	45,95	50,00	42,86
	Seco	Média	0,70 ± 0,18 bd	0,49 ± 0,14 d	0,57 ± 0,20 bd	0,82 ± 0,30 bc	0,86 ± 0,26 bcd	1,82 ± 0,68 ac	1,88 ± 0,38 a
		Amplitude	0,50 - 1,00	0,35 - 0,70	0,39 - 0,90	0,49 - 1,30	0,5 - 1,19	0,84 - 2,47	1,32 - 2,25
		C.V (%)	25,71	28,57	35,09	36,59	30,23	37,36	20,21
NKT (mg L ⁻¹)	Chuvoso	Média	0,78 ± 0,18	0,75 ± 0,24	0,87 ± 0,21	0,95 ± 0,27	0,96 ± 0,20	0,87 ± 0,23	0,83 ± 0,23
		Amplitude	0,61 - 1,06	0,49 - 1,10	0,62 - 1,19	0,66 - 1,26	0,69 - 1,21	0,50 - 1,10	0,53 - 1,16
		C.V (%)	23,08	32,00	24,14	28,42	20,83	26,43	27,71
	Seco	Média	0,49 ± 0,14 b	0,51 ± 0,19	0,60 ± 0,23	0,68 ± 0,11	0,65 ± 0,26 a	0,51 ± 0,16	0,48 ± 0,14 b
		Amplitude	0,31 - 0,70	0,31 - 0,76	0,31 - 0,95	0,57 - 0,82	0,23 - 0,93	0,26 - 0,70	0,31 - 0,61
		C.V (%)	28,57	37,25	38,33	16,18	40,00	31,37	29,17
PT (mg L ⁻¹)	Chuvoso	Média	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,05	0,22 ± 0,27	0,08 ± 0,12	0,11 ± 0,14	0,16 ± 0,18	0,09 ± 0,06
		Amplitude	0,06 - 0,11	0,03 - 0,15	0,05 - 0,70	0,01 - 0,29	0,03 - 0,35	0,03 - 0,45	0,02 - 0,16
		C.V (%)	25,00	55,56	122,73	150,00	127,27	112,50	66,67
	Seco	Média	0,10 ± 0,05	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,06	0,07 ± 0,03	0,07 ± 0,05	0,06 ± 0,02	0,06 ± 0,03
		Amplitude	0,06 - 0,16	0,06 - 0,09	0,02 - 0,17	0,04 - 0,10	0,01 - 0,15	0,04 - 0,08	0,04 - 0,09
		C.V (%)	50,00	12,50	66,67	42,86	71,43	33,33	50,00
Cl-a (µg L ⁻¹)	Chuvoso	Média	2,95 ± 1,60 Bc	4,33 ± 3,51 bc	4,09 ± 2,88 Bbc	12,73 ± 11,68 ac	16,47 ± 11,52 a	14,08 ± 11,67 ab	18,61 ± 14,14 a
		Amplitude	1,34 - 5,34	1,34 - 9,88	1,30 - 9,35	4,27 - 34,20	5,87 - 36,50	3,00 - 33,91	2,00 - 40,58
		C.V (%)	54,23	81,06	70,42	91,75	69,95	82,88	75,98
	Seco	Média	10,29 ± 4,89 A	9,66 ± 9,60	17,62 ± 10,68 A	24,96 ± 13,01 a	17,30 ± 10,07	11,30 ± 8,74	7,96 ± 4,12 b
		Amplitude	5,60 - 15,49	4,27 - 24,00	5,34 - 26,70	14,95 - 42,70	10,70 - 32,31	3,00 - 23,50	3,00 - 13,08
		C.V (%)	47,52	99,38	60,61	52,12	58,21	77,35	51,76

*Letras minúsculas iguais entre si não difere estatisticamente (p<0,05) entre os pontos de coleta, e letras maiúsculas iguais entre si não difere entre os períodos

Os valores médios de fósforo total (PT) não apresentaram diferença significativa nem entre pontos e nem entre períodos. A estabilidade deste nutriente está relacionada ao fato deste ser adicionado nos reservatórios a partir da lavagem de áreas rurais e centros urbanos através do escoamento superficial, por isso que se observa maiores valores deste atributo no período chuvoso. Entretanto, boa parte do fósforo precipita no fundo do reservatório, de modo que o mesmo pode ser suspenso pelo processo de ressurgência. Conseqüentemente, a dinâmica de fósforo mostra uma menor variação e menor amplitude ao longo do ano, resultante da troca de fósforo entre a água, partículas e sedimentos (PERNET-COUDRIER *et al.*, 2012).

Em relação ao nível trófico avaliado a partir dos valores PT segundo a classificação de Lamparelli (2004), para o período chuvoso os resultados variaram entre Eutrófico ($0,052 < PT \leq 0,120$) para os pontos P1 e P4 e Supereutrófico ($0,120 < PT \leq 0,233$) para o ponto P2, em relação ao período seco todos os pontos foram classificados como Eutrófico.

Por fim, para o atributo clorofila-*a* no período chuvoso houve uma maior dissimilaridade entre os pontos em relação ao período seco que só apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os pontos P4 e P7 que possuem o maior e o menor valor, respectivamente. Foi constatado que os maiores valores de clorofila-*a* ocorreram no período seco, com exceção dos pontos P6 e P7. Segundo Pinto e Becker (2014) nos períodos de seca observa-se uma maior concentração dos nutrientes, menores profundidades e maiores condições de padrão homogêneo de luz. Essas condições são favoráveis ao aumento deste atributo.

A ocorrência dos maiores valores de clorofila-*a* nos pontos P6 e P7 está relacionado às elevadas transparências que é maior no período chuvoso e ao nível de trofia do reservatório, que favorecem a produção fitoplanctônica. É possível observar ainda que este atributo tende a responder principalmente ao atributo nitrogênio total, de modo que os maiores valores de Cl-*a* encontrados correspondem aos mesmos pontos de coleta e período no qual os valores de nitrogênio foram maiores.

Tal fato, demonstra que o reservatório Orós apresenta limitação por nitrogênio, podendo ser confirmado através dos valores da razão N/P, que foram para P1= 7,63, P2= 8,33, P3= 3,95, P4= 11,88, P5= 8,73, P6= 5,44 e P7= 9,22 do período chuvoso, e que foram para P1= 4,90, P2= 6,38, P3= 6,67, P4= 9,71, P5= 9,29, P6= 8,50 e P7= 8,00 para o período seco. De acordo Thomann e Mueller (1987) se o cálculo da razão de nitrogênio total pelo fósforo total obtiver relações < 10 indica limitação por nitrogênio.

Em um estudo realizado por Bezerra *et al.* (2014) no reservatório Sítios Novos no estado do Ceará, os autores identificaram que os níveis de fósforo e clorofila-*a* não estavam diretamente correlacionados, os mesmos sugeriram que o primeiro não era o fator limitante, e

sim o nitrogênio, considerando que a presença de cianobactérias fixadoras de N^2 é comum em ambiente eutróficos.

Baseando-se no nível trófico obtido a partir da clorofila-*a* proposto por Lamparelli (2004), os níveis tróficos variaram entre Oligotrófico ($1,17 < Cl-a \leq 3,24$) para o ponto P1 e Eutrófico ($3,24 < Cl-a \leq 11,03$) para o ponto P2 do período chuvoso, já para o período seco variaram entre Mesotrófico ($11,03 < Cl-a \leq 30,55$) para o ponto P7 e Eutrófico para o ponto P4.

4.3.3 Correlação entre atributos e as variáveis: pluviometria e o volume d'água

A análise da correlação de Pearson foi empregada visando compreender a relação das variáveis pluviometria e volume d'água com a qualidade da água do reservatório Orós para o período chuvoso (Tabela 3) e seco (Tabela 4). De acordo com os resultados obtidos para o atributo turbidez é possível perceber que a alta correlação positiva com o volume nos pontos P1 e P3 no período chuvoso apontam para a forte influência dos sólidos suspensos de origem mineral, e altas correlações negativas no período seco mostram que a turbidez é provocada pelo fitoplâncton.

Segundo Silva e Costa (2015) nos reservatórios do semiárido brasileiro a turbidez é constituída por frações orgânicas e inorgânicas do séston, e que as partículas inorgânicas são transportadas da bacia de drenagem sendo considerada uma importante fonte de turbidez abiogênica em ambientes aquáticos desta região. De acordo com Santos *et al.* (2014), no período chuvoso o aporte de sedimento não favorece a produção fitoplanctônica devido à redução da zona eufótica. Em um estudo realizado por Medeiros *et al.* (2015), no reservatório Cruzeta no estado do Rio Grande do Norte, os autores identificaram maiores valores de turbidez no período seco em que foi atribuída a biomassa fitoplanctônica.

A turbidez do P2 no período chuvoso não apresenta correlação com nenhuma das variáveis devido ao fato desse ponto está localizado próximo à entrada do Rio Jaguaribe que é perene; entretanto, o mesmo apresenta forte correlação com a precipitação pluviométrica no período seco, principalmente para as precipitações pluviométricas acumuladas para uma menor quantidade de dias, sendo este um reflexo da influência da precipitação pluviométrica na geração de escoamento, e consequente aporte de sedimento.

Em relação aos pontos P4, P6 e P7 a turbidez apresentou correlação negativa com volume e/ou precipitação pluviométrica no período chuvoso, tal fato aponta para a diluição das águas do reservatório, contudo, no período seco observa-se o oposto, demonstrando que a água

que entra no reservatório nesse período contribui para o aumento da turbidez, que é consequência da proliferação excessiva de fitoplâncton.

De acordo com Figueiredo (2015) no período chuvoso há um aumento da turbidez devido à movimentação de sedimento, que reduz a atividade fitoplanctônica em função da atenuação da luz, enquanto que no período seco a presença de nutrientes favorece uma elevada atividade planctônica.

Já o P5 demonstrou uma tendência em apresentar correlações positivas da turbidez com o volume no período chuvoso, e altas correlações positivas com a precipitação pluviométrica e o volume no período seco, refletindo a influência da piscicultura desenvolvida nesse ponto sobre esse atributo, que independente das condições da precipitação pluviométrica e o volume d'água os valores de turbidez tendem a se manter constante.

O atributo transparência dos pontos P1 e P3 no período chuvoso mostrou correlação negativa com valores de precipitação pluviométrica acumulada para 20 e 30 dias, tal fato é consequência da irregularidade temporal da pluviometria que é uma característica do clima semiárido. A ocorrência de veranicos seguidos de elevadas alturas pluviométricas favorece maiores lâminas acumuladas para um maior número de dias, sendo que nesse período foi observado precipitação pluviométrica acumulada nesse intervalo de tempo de até 470,40 mm.

Haja vista, a precipitação pluviométrica está diretamente relacionada com a geração de escoamento, e o consequente transporte de sedimento que é responsável pela redução da transparência. Segundo Corazza, Pereira Filho e Basso (2013) baixas precipitações acumuladas resultam em altas transparências, esses autores observaram em estudo que uma pequena lâmina pluviométrica de 37,2 mm acumulada para 30 dias foi responsável por resultar em alto valores de transparência.

Tabela 3- Correlação de Pearson entre atributos de qualidade da água e as variáveis: pluviometria e o volume d'água no período chuvoso.

Pontos	Atributos	Volume	Precipitação Pluviométrica Acumulada				
			1 dia	5 dias	10 dias	20 dias	30 dias
P1	Turbidez	0,685	-0,472	0,119	-0,104	0,415	0,560
	Transparência	-0,426	0,039	-0,341	-0,196	-0,546	-0,607
	NKT	-0,483	0,725	0,303	0,484	-0,027	-0,172
	Fósforo T.	0,842*	-0,113	0,566	0,258	0,586	0,758
	Clorofila-a	-0,457	0,476	0,163	0,417	0,339	0,144
P2	Turbidez	-0,329	-0,340	-0,549	-0,394	-0,261	-0,333
	Transparência	0,452	-0,378	-0,082	-0,378	-0,326	-0,118
	NKT	-0,807	0,757	0,121	0,288	-0,194	-0,375
	Fósforo T.	-0,577	0,034	-0,383	-0,455	-0,510	-0,533
	Clorofila-a	0,300	-0,427	-0,207	-0,084	0,133	0,146
P3	Turbidez	0,707	-0,343	0,265	-0,019	0,446	0,606
	Transparência	-0,171	-0,181	-0,406	-0,223	-0,525	-0,547
	NKT	-0,628	0,695	0,164	0,304	-0,213	-0,350
	Fósforo T.	-0,230	-0,020	-0,194	-0,154	-0,290	-0,317
	Clorofila-a	-0,386	-0,150	-0,464	-0,147	-0,230	-0,361
P4	Turbidez	0,100	-0,690	-0,688	-0,798	-0,813*	-0,662
	Transparência	-0,571	0,891*	0,440	0,646	0,175	-0,020
	NKT	-0,530	0,645	0,215	0,199	-0,170	-0,246
	Fósforo T.	0,804	-0,345	0,211	0,048	0,149	0,328
	Clorofila-a	-0,299	-0,366	-0,624	-0,688	-0,643	-0,592
P5	Turbidez	0,562	-0,078	0,285	0,121	0,093	0,234
	Transparência	-0,303	0,966**	0,771	0,906*	0,624	0,444
	NKT	-0,534	0,536	0,055	0,180	-0,320	-0,421
	Fósforo T.	0,701	-0,282	0,183	0,054	0,086	0,243
	Clorofila-a	-0,307	-0,459	-0,697	-0,785	-0,647	-0,590
P6	Turbidez	-0,448	-0,382	-0,768	-0,546	-0,689	-0,751
	Transparência	0,791	0,090	0,679	0,524	0,625	0,738
	NKT	-0,923**	0,377	-0,358	-0,113	-0,541	-0,720
	Fósforo T.	0,076	-0,343	-0,343	-0,533	-0,522	-0,384
	Clorofila-a	-0,262	-0,271	-0,444	-0,318	-0,277	-0,330
P7	Turbidez	-0,801	0,508	-0,107	0,163	-0,226	-0,431
	Transparência	0,697	0,214	0,738	0,667	0,726	0,784
	NKT	-0,786	0,062	-0,584	-0,424	-0,781	-0,880*
	Fósforo T.	0,524	-0,345	-0,017	-0,259	-0,252	-0,054
	Clorofila-a	-0,610	-0,176	-0,621	-0,365	-0,381	-0,518

* Correlação é significativa ao nível de 0,05

** Correlação é significativa ao nível de 0,01

Tabela 4– Correlação de Pearson entre atributos de qualidade da água e as variáveis: pluviometria e o volume d'água no período seco.

Pontos	Atributos	Volume	Precipitação Pluviométrica Acumulada				
			1 dia	5 dias	10 dias	20 dias	30 dias
P1	Turbidez	-0,725	0,194	0,239	0,152	-0,408	-0,776
	Transparência	0,471	-0,454	-0,475	-0,280	0,910	0,910
	NKT	-0,223	-0,423	-0,435	-0,558	-0,597	-0,134
	Fósforo T.	0,094	-0,310	-0,335	-0,414	-0,383	0,107
	Clorofila-a	0,733	0,709	0,695	0,831	0,667	0,371
P2	Turbidez	-0,224	0,788	0,815	0,730	-0,375	-0,730
	Transparência	0,472	-0,613	-0,645	-0,492	0,700	0,926
	NKT	0,802	-0,225	-0,267	-0,111	0,732	0,961*
	Fósforo T.	-0,719	-0,733	-0,721	-0,850	-0,639	-0,337
	Clorofila-a	0,557	-0,374	-0,398	-0,197	0,939	0,938
P3	Turbidez	-0,909	-0,004	0,041	-0,101	-0,677	-0,893
	Transparência	0,653	-0,372	-0,404	-0,213	0,890	0,990*
	NKT	0,288	-0,593	-0,608	-0,428	0,828	0,826
	Fósforo T.	0,004	-0,873	-0,894	-0,855	0,150	0,539
	Clorofila-a	0,935	0,550	0,521	0,678	0,767	0,640
P4	Turbidez	0,778	0,587	0,552	0,564	0,084	0,268
	Transparência	0,668	-0,144	-0,168	0,043	0,994**	0,910
	NKT	-0,607	0,448	0,489	0,374	-0,526	-0,872
	Fósforo T.	0,404	-0,527	-0,564	-0,515	0,214	0,660
	Clorofila-a	0,759	0,089	0,065	0,274	0,991**	0,845
P5	Turbidez	0,505	0,697	0,674	0,612	-0,265	-0,112
	Transparência	0,029	-0,766	-0,772	-0,628	0,652	0,672
	NKT	0,106	0,824	0,825	0,703	-0,549	-0,571
	Fósforo T.	0,014	-0,638	-0,662	-0,698	-0,193	0,297
	Clorofila-a	0,317	0,994**	0,995**	0,954*	-0,157	-0,375
P6	Turbidez	0,536	-0,511	-0,540	-0,360	0,835	0,962*
	Transparência	0,022	-0,897	-0,917	-0,853	0,267	0,607
	NKT	0,668	0,855	0,845	0,938	0,475	0,176
	Fósforo T.	0,378	0,245	0,216	0,139	-0,355	0,015
	Clorofila-a	0,212	0,931	0,943	0,941	0,023	-0,355
P7	Turbidez	0,985*	0,553	0,516	0,642	0,616	0,622
	Transparência	-0,570	-0,952*	-0,946	-0,993**	-0,260	0,024
	NKT	-0,571	0,498	0,531	0,356	-0,808	-0,972*
	Fósforo T.	0,356	-0,107	-0,111	0,082	0,906	0,632
	Clorofila-a	0,278	0,830	0,841	0,891	0,267	-0,166

* Correlação é significativa ao nível de 0,05

** Correlação é significativa ao nível de 0,01

Já os valores de transparência dos pontos P4, P5, P6 e P7 apresentaram correlação positiva com o volume (com exceção do P4) e a precipitação pluviométrica. A resposta

observada representa a diluição das águas, a redução no tempo de residência e o extravasamento ocorrido nos períodos avaliados que favorecem a renovação das águas. Segundo Lima *et al.* (2015) a diminuição do tempo de residência, a exportação de organismos e nutrientes a jusante durante os períodos de alta descarga podem reduzir a produção primária. Desse modo, implica-se que haverá aumento na transparência da água.

Em relação à resposta da transparência no período seco, observou-se que esse atributo mostrou alta correlação com a precipitação pluviométrica acumulada para 20 e 30 dias para os pontos P1, P2, P3, P4, P5 e P6, tal fato está relacionado à diluição das águas.

Para o P7 do período seco a transparência mostrou correlação negativa com o volume e a precipitação pluviométrica acumulada, essa resposta é consequência do transporte de nutrientes e material suspenso, tais como, sedimento e biomassa algal ocorrido nos pontos à montante ao P7, haja vista que este ponto se localiza próximo à barragem do açude.

De acordo com Vidal e Capelo Neto (2014a) as chuvas podem promover a melhoria na qualidade das águas dos mananciais, mas as cargas de nutrientes recebidos podem vir a agravar a sua qualidade devido à alta retenção de nutrientes que resultam na produção de clorofila-*a* no reservatório, e consequente redução da transparência.

Quanto ao atributo Nitrogênio Kieldahl Total (NKT) é possível observar que todos os pontos do período chuvoso apresentaram correlação negativa para volume e correlação positiva para precipitação pluviométrica de 1 dia. Esse resultado mostra a influência da precipitação pluviométrica na geração de escoamento e no aporte de nitrogênio. Entretanto, como esse nutriente não tende a permanecer no ambiente devido a processos como a nitrificação e desnitrificação, e assimilação pelo fitoplâncton – por conseguinte – não apresenta relação direta com o volume.

De acordo com Dalu *et al.* (2013), altas concentrações de oxigênio dissolvido no hipolímnio reforça o processo de nitrificação da amônia para nitrito e de nitrito para nitrato, sendo que este último é assimilado pelos organismos, enquanto a anoxia do hipolímnio aliada às altas temperaturas das regiões tropicais, favorecem o processo de desnitrificação.

O nitrogênio total no período seco não apresentou um comportamento tão regular como no chuvoso, tal fato está relacionado a fatores como contribuições de fontes difusas e pontuais desse nutriente, podendo ser citadas as áreas irrigadas de plantações em vazantes, a pecuária extensiva às margens do reservatório, a piscicultura intensiva em tanque-rede e o lançamento de efluentes gerado pelas comunidades as margens do reservatório Orós, as condições do reservatório juntamente com as elevadas temperatura do período favorecem a afloração de

algumas espécies de cianobactérias capazes de fixar nitrogênio molecular (SILVA, 2013; LOPES *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Para o atributo fósforo total, os pontos P1, P4, P5 e P7 do período chuvoso apresentaram correlação positiva com volume, e o P1 também apresentou correlação positiva com a precipitação pluviométrica acumulada, essa resposta representa os impactos das atividades desenvolvidas próximo aos pontos de coleta, a piscicultura (P5) e pecuária (P1, P4 e P5), demonstrando a capacidade desses pontos em acumular esse nutriente na coluna d'água.

É importante salientar que o ponto P7 por estar próximo à barragem tende a receber o fósforo oriundo dos pontos a montante, tornando-se um ponto com potencial de acúmulo desse nutriente na ausência de renovação das águas. Já para os pontos P2 e P6, o fósforo apresentou correlação negativa com a precipitação pluviométrica acumulada, comportando-se como pontos de passagem desse nutriente.

Em um estudo realizado por Vidal e Capelo Neto (2014b) no açude Gavião em Fortaleza, os autores identificaram uma tendência no incremento da carga afluente de fósforo juntamente com o aumento da retenção desse nutriente. Os autores atribuíram a esse evento a imobilização dos íons de fosfato por íons de ferro, sulfeto, alumínio, pH, oxirredução, adsorção por partículas de argilas, dentre outros processos que cominavam na precipitação do fósforo.

Enquanto no período seco o atributo fósforo comportou-se de forma esperada, se correlacionando negativamente com a precipitação pluviométrica acumulada para 1, 5 e 10 dias principalmente, há já vista que eventos pluviométricos são mínimos ou inexistentes nesse período, e o aumento desse atributo está relacionado com fontes externas e as poucas saídas desse atributo. De acordo com Barbosa e Cirilo (2015), o fósforo possui afinidade com o material suspenso na massa líquida, de modo que quanto maior for o tempo de residência da água maior será a acumulação desse elemento.

Por fim, para o atributo clorofila-*a* no período chuvoso, o ponto P7 apresentou correlação negativa com o volume, e os pontos P4 e P5 se correlacionaram negativamente com a precipitação pluviométrica acumulada de 5, 10, 20 e 30 dias, estando tal resposta relacionada com a renovação das águas que promove a redução da biomassa nesses pontos.

O contrário foi observado no período seco, no qual, a clorofila-*a* respondeu de forma positiva às variáveis pluviometria e volume d'água formando dois grupos distintos, sendo um grupo formado pelos pontos P1, P2, P3 e P4 que se correlacionaram positivamente com o volume e a precipitação pluviométrica, e outro grupo formado pelos pontos P5, P6 e P7 com correlação positiva para precipitação pluviométrica acumulada para 1, 5 e 10 dias.

Segundo Oliveira *et al.* (2014), a redução da biomassa fitoplanctônica durante o período chuvoso pode ser explicada pela desestabilidade da coluna de água devido a turbulência, podendo ser considerada mais importante que outros fatores (como radiação e temperatura), de modo que altas densidades fitoplanctônica (principalmente espécies filamentosas) coincidem com períodos de baixas alturas pluviométricas e elevadas temperaturas. O autor salienta que é possível encontrar resultados contrários devido ao arraste de nutrientes de origem alóctone que contribuem para o enriquecimento do meio e corroboram para florações fitoplanctônicas.

4.4 Conclusão

As características do atributo turbidez são extremamente variáveis às mudanças sazonais, sendo que no período seco ela é provocada pelo fitoplâncton e no período chuvoso pelos sólidos sedimentáveis.

As fortes correlações entre os atributos físicos, químicos e biológicos do período seco ocorreram devido ao fato da água do reservatório Orós apresentar uma maior estabilidade em relação ao período chuvoso, e conseqüentemente, qualquer mudança na precipitação pluviométrica e no volume da água do reservatório nesse período resultará na influência sobre as concentrações destes atributos.

REFERÊNCIAS

- APHA - American Public Health Association, AWWA - American Water Works Association and WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21.ed. Washington: American Public Health Association. 2005. 874p.
- ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. 1.ed. Campina Grande, *In: Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações*. PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 282P.
- BARBOSA, I. B. R.; CIRILO, J. A. Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água-Parte 1. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 20, n. 1, p. 39-46, 2015.
- BATISTA, A. A.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; CALDAS IZIDIO, N. S.; LOPES, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 39-48, 2014.
- BATISTA, A. A.; MEIRELLES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Parâmetros interferentes na eutrofização das águas superficiais do açude Orós, Ceará. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 1-8, 2013.
- BEZERRA, L. A. V.; PAULINO, W. D.; GARCEZ, D. S.; BECKER, H.; SÁNCHEZ-BOTERO, J. I. Limnological characteristics of a reservoir in semiarid Northeastern Brazil subject to intensive tilapia farming (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 1, p. 47-59, 2014.
- BRAGA, G. G.; BECKER, V.; OLIVEIRA, J. N. P.; MENDONÇA JUNIOR, J. R.; BEZERRA, A. F. M.; TORRES, L. M.; GALVÃO, A. M. F.; MATTOS, A. Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2015.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Câmara dos Deputados. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Estudo. Brasília, DF, nov. 2007.
- BRONSTERT, A.; ARAÚJO, J. C.; BATALLA, R. J.; COSTA, A. C.; DELGADO, J. M.; FRANCKE, T.; FOERSTER, S.; GUENTNER, A.; LÓPEZ-TARAZÓN, J. A.; MAMEDE, G. L.; MEDEIROS, P. H.; MUELLER, E.; VERICAT, D. Process-based modelling of erosion, sediment transport and reservoir siltation in mesoscale semi-arid catchments. **Journal Soils Sediments**, v. 14, p. 2001–2018, 2014.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.
- COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em:<<http://www.hidro.ce.gov.br>> Acesso: fev. 2016.

- CORAZZA, R.; PEREIRA FILHO, W.; BASSO, L. A. Influência da precipitação pluviométrica nas características espectrais e limnológicas do reservatório Dona Francisca e do Lago Guaíba, Rio Grande do Sul. **Para onde!?**, v. 7, n. 2, p. 1-11, 2013.
- DALU, T.; THACKERAY, Z.; LEUCI, R.; CLEGG, B.; CHARI, L. D.; NHIWATIWA, T. First results on bathymetry, stratification and physicochemical limnology of a small tropical African reservoir (Malilangwe, Zimbabwe). **Water SA**, v. 39, n. 1, p. 119-130, 2013.
- FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2015.
- FIGUEIREDO, L. C. P.; SILVEIRA, R. S.; MELLO, W. C. DETERMINAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTES LÊNTICOS: relações entre o agente causador e a resposta biológica às alterações ambientais. **Revista Presença**, v. 1, n. 2, p. 78-94, 2015.
- FRAGA, R. S.; TAVARES, V. E. Q.; TIMM, L. C.; ESTRELA, C. C.; BARTELS, G. K. Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçu-RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 1-4, p. 81-94, 2012.
- FRANÇA, J. M. B.; WACHHOLZ, F.; CARNEIRO NETO, J. A.; PAULINO, W. D. Comportamento das variáveis qualitativas do açude Pereira de Miranda – Pentecoste/CE, no período de estiagem. **Geociências**, v. 32, n. 4, p. 586-599, 2013.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Redes de Monitoramento**. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso: Fev. 2016.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP – Dados Históricos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso: fev. 2016.
- JOLLIFE, I. T. **Principal components analysis**. New York: Springer-Verlag, 1986.
- JONES, J. G. **A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in fresh waters**. London: Fresh Waters Biological Association, 1979.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238f. Tese (Doutorado em Ciência na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LEE, C. S.; LEE, Y. C.; CHIANG, H. M. Abrupt state change of river water quality (turbidity): Effect of extreme rainfalls and typhoons. **Science of the Total Environment**, v. 557, p. 91-101, 2016.
- LIMA, P. F.; SOUSA, M. S. R.; PORFÍRIO, A. F.; ALMEIDA, B. S.; FREIRE, R. H. F., SANTAELLA, S. T. Preliminary analysis on the use of Trophic State Indexes in a brazilian semiarid reservoir. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 37, n. 3, p. 309-318, 2015.
- LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 4, p. 437-445, 2014.

MEDEIROS, L. C.; MATTOS, A.; LÜRLING M.; BECKER, V. Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. **Aquatic Ecology**, v. 49, p. 293-307, 2015.

MENESCAL, R. A.; VIANA, F. L.; FIGUEIREDO, N. N.; GONDIM FILHO, J. G. C. Gestão de recursos hídricos e a garantia do abastecimento humano de grandes aglomerados urbanos no semi-árido – O caso de Fortaleza. **RHBR – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 1, p.217, 2004.

MOLISANI, M. M.; BECKER, H. B.; BARROSO, H. S.; HIJO, C. A. G.; MONTE, T. M.; VASCONCELLOS, G. H.; LACERDA, L. D. The influence of castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral jaguaribe river (CE, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 115-123, 2013.

MOURA, A. N.; NASCIMENTO, E. C.; DANTAS, Ê. W Temporal and spatial dynamics of phytoplankton near farm fish in eutrophic reservoir in Pernambuco, Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, n. 2, p. 581-597, 2012.

OLIVEIRA, F. H. P. C.; ARA, A. L. S. C.; MOREIRA, C. H. P.; LIRA, O. O.; PADILHA, M. R. F.; SHINOHARA, N. K. S. Seasonal changes of water quality in a tropical shallow and eutrophic reservoir in the metropolitan region of Recife (Pernambuco-Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 4, p. 1863-1872, 2014.

PERNET-COUDRIER, B.; QI, W.; LIU, H.; MÜLLER, B.; BERG, M. Sources and Pathways of Nutrients in the Semi-Arid Region of Beijing–Tianjin, China. **Environmental, Science & Technology**, n. 46, p. 5294–5301, 2012.

PINTO, T. S.; BECKER, V. Diel dynamic of phytoplankton functional groups in a tropical water supply, Extremoz Lake, northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 4, p. 356-366, 2014.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 176-187, 2016.

ROCHA, C. H. B.; SILVA, T. M.; FREITAS, F. A. Processos condicionantes de alterações em variáveis limnológicas: uma abordagem estatística na Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, p. 131-138, 2016.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M., PALÁCIO, H. A. Q. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 35-44, 2014.

SILVA, A. P. C.; COSTA, I. A. S. Biomonitoring ecological status of two reservoirs of the brazilian semi-arid using phytoplankton assemblages (Q index). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 1-14, 2015.

SILVA, M. D. **Diagnóstico da comunidade fitoplanctônica de um reservatório no semiárido nordestino**. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

THOMANN, R. V. B.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. New York: Harper & Row, 1987.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da região metropolitana de Fortaleza/CE. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 298-312, 2014a.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 402-407, 2014b.

5 VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE CIANOBACTÉRIAS EM UM LAGO ARTIFICIAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

Nas últimas décadas, problemas de qualidade de água têm se intensificado nos reservatórios da região semiárida brasileira, dentre estes, o processo de eutrofização tem se destacado com aumento na intensidade e frequência na ocorrência de florações de cianobactérias. Estes organismos apresentam um potencial risco à saúde de homens e animais devido à sua capacidade de produzir toxinas. Deste modo, objetivou-se estudar a dinâmica espaço-temporal das cianobactérias em um lago artificial no semiárido brasileiro. A pesquisa foi desenvolvida no reservatório Orós, onde foram realizadas campanhas sazonais (períodos seco e chuvoso) de coleta de amostras de água no período de 2008 a 2010. Foram realizadas análises dos atributos: Transparência de Secchi, Turbidez, pH, Cor Aparente, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Fósforo total, Ortofosfato Solúvel, NKT, Amônia, Nitrato e Cianobactérias. Foram empregados para a análises estatísticas dos dados: análise descritiva, Análise da Componente Principal (ACP), Análise de Agrupamento (AA) e Correlação de Pearson. A partir dos resultados foram identificadas um total de 17 espécies cianobactérias, que após aplicação da ACP foram reduzidas a 10 espécies que apresentaram uma variância acumulada de 72,47%. Com base nas espécies identificadas foi realizada a AA, em que foram formados 4 grupos no período chuvoso e 3 grupos no período seco, mostrando a influência da variabilidade sazonal e espacial do sistema aquático na formação dos grupos. As cianobactérias apresentaram maiores concentrações no período seco com destaque para as espécies *Aphanocapsa* spp, *Cylindrospermopsis* sp e *Geitlerinema* sp., que mostraram uma maior afinidade aos atributos físicos. Concluiu-se que a sazonalidade tem forte influência sobre os atributos de qualidade da água, de modo a refletir diretamente na distribuição espacial das cianobactérias, e que os altos valores de transparência limitavam a proliferação excessiva das espécies dominantes.

Palavras-chave: fitoplâncton; qualidade de água; sazonalidade; Análise Multivariada.

5 SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF CYANOBACTERIA IN A ARTIFICIAL LAKE IN BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT

In tribut decades water quality problems have intensified in the reservoirs of the brazilian semiarid region, among them, the eutrophication process has highlighted na increase in the intensity na tributescy in the occurrence of cyanobacteria. These organism tributent a potential risk to the health of humans and animals due to their ability to produce toxins. Thus, It aimed to study the spatial and temporal variation of cyanobacteria in artificial lake in the brazilian semiarid region, The research was carried out in Orós reservoir tribre were carried out seasonal water sampling (dry and rainy season) in the period from 2008 to 2010. They were analyzed the atributes: Secchi transparency, turbidity, pH, color Apparent Electrical Conductivity, Total Solids, Total Phosphorus, Orthophosphate Soluble, TKN, Ammonia, Nitrate and Cyanobacteria. They were used for statistical analysis of data: descriptive analysis, principa tributes nt analysis (PCA), Cluster Analysis (CA) and Pearson correlation. From the results was identified a total of 17 cyanobacteria species, that aPTer application of the PCA had been reduced to 10 species with a cumulative variance of 72.47%. Based on the identified species was conducted to CA, in which 4 groups were formed in the rainy season and 3 groups in the dry season, showing the influence of seasonal and spatial variability of the water system in the formation of groups. Cyanobacteria showed higher concentrations in the dry season especially species *Aphanocapsa spp*, *Cylindrospermopsis sp* and *Geitlerinema sp*, which showed a highe tributety to the physica tributeses. It was concluded that the seasonality has tribung influence on th tributeses of water quality, so as to directly reflect the spatial distribution of cyanobacteria, and that high transparency values limited the excessive proliferation of the dominant species.

Keywords: phytoplankton; water quality; seasonality; Multivariate Analysis.

5.1 Introdução

A baixa disponibilidade hídrica do semiárido brasileiro é caracterizada mais pelas irregularidades pluviométricas, com alta variabilidade espacial e temporal e por apresentar elevada taxa de evapotranspiração do que por registros de baixas alturas pluviométricas anuais (ANDRADE *et al.*, 2010).

Nessas regiões além das características climáticas, os solos são na grande maioria rasos e embasados sobre rocha cristalina, formando assim uma densa rede de rios efêmeros ou intermitentes. Dessa forma, os reservatórios artificiais surgiram como a principal forma de armazenamento e fonte de água para atender aos diversos usos, como abastecimento humano e industrial, irrigação, piscicultura, dentre outros (ANA, 2012). No entanto, nas últimas décadas vem sendo intensificado um sério problema da qualidade das águas, a eutrofização, em diferentes reservatórios do semiárido brasileiro. Diversos estudos têm sido realizados com a intenção de tentar entender esse processo (CHELLAPPA, BORBA; ROCHA, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2010; BATISTA *et al.*, 2014; LOPES *et al.*, 2014; SILVA; COSTA, 2015).

O aumento na intensidade e frequência na ocorrência de florações de cianobactérias em reservatórios eutrofizados, cuja água não atende à maioria dos usos para os quais foi planejada vem sendo identificada por diferentes pesquisadores (MEDEIROS *et al.*, 2015). O estado de eutrofização dos reservatórios aliada ao aumento da temperatura da superfície das águas, em uma coluna de água estável e o tempo de residência elevado dos reservatórios, tem promovido condições ecológicas para o desenvolvimento de cianobactérias (OLIVEIRA *et al.*, 2015; MEDEIROS *et al.*, 2015). As florações massivas desses microrganismos representam sérios problemas de saúde pública (AFFE; BARBONI, 2012).

Os problemas de saúde relacionados às *cyanophyceas* ou cianobactérias são devido à capacidade de algumas espécies em produzir toxinas, que podem afetar a saúde do homem e causar a mortalidade de animais (SILVA, 2013; CARNEIRO *et al.*, 2013). Além do potencial tóxico, quando as condições ambientais são favoráveis, o desenvolvimento excessivo das cianobactérias ainda afeta os usos da água, como a captação e o tratamento de água, a pesca, as atividades recreacionais e as práticas de esportes aquáticos (TUNDISI, 2003).

Por serem organismos que se dispersam facilmente na coluna d'água – dado ao seu pequeno tamanho e elevada abundância, é razoável assumir que as condições locais, disponibilidade de recursos (como nutrientes, luminosidade, altas temperaturas) dentre outros fatores, determinarão quais espécies dominarão em um dado momento e lugar (FINLAY, 2002). Como a composição da comunidade fitoplanctônica afeta o funcionamento dos ecossistemas

aquáticos, é importante conhecer quais fatores governam sua dinâmica (BRASIL; HUSZAR, 2011). Oliveira *et al.* (2015) afirmam que a heterogeneidade espacial (vertical e horizontal do manancial) e temporal (sazonalidade), mesmo que por um curto período afetam a dinâmica biológica e os atributos limnológicos nos reservatórios.

Embasando-se nas informações apontadas anteriormente, foi levantada a hipótese de que o período de estiagem é responsável pela dominância de determinados grupos de cianofíceas em reservatórios da região semiárida.

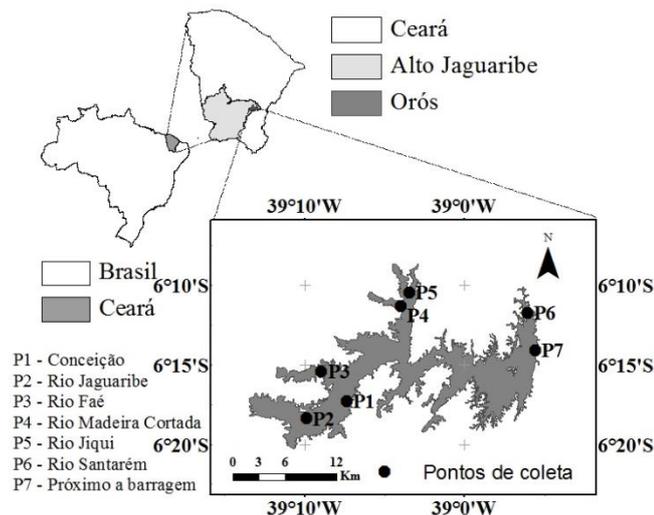
Deste modo, objetivou-se estudar a dinâmica espaço-temporal das cianobactérias em um lago artificial no semiárido brasileiro, visando identificar os atributos físicos e químicos que apresentam maior influência sobre sua dinâmica; tendo como objetivos específicos: verificar os principais atributos físicos e químicos determinantes na formação dos grupos similares de cianobactérias, e classificar a similaridade espaço-temporal das cianobactérias, bem como identificar as espécies dominantes.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na região semiárida do Brasil, especificamente no reservatório Orós, situado entre as coordenadas $6^{\circ}08'03''$ S – $6^{\circ}20'26''$ S e $38^{\circ}54'56''$ WGr. – $39^{\circ}13'28''$ WGr., localizado na bacia do Alto Jaguaribe na região Centro-Sul do estado do Ceará, Brasil (Figura 6). O mesmo possui uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 1,94 bilhão de metros cúbicos de água e uma bacia hidráulica de 35.000 ha. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é BSw'h', semiárido quente com chuvas máximas de outono e temperatura média mensal sempre superior a 18°C .

Figura 6 – Localização do reservatório Orós e dos pontos de coleta de água.



As características do solo da bacia do Alto Jaguaribe apresentam-se distribuídas da seguinte forma: cerca de 61% dos solos da região são Neossolos e Argissolos, e os 39% restantes são distribuídos entre Latossolos, Luvisolos, Vertissolos e Planossolos. Os usos aplicados a esses solos estão relacionados às atividades agrícolas com o cultivo de algodão, feijão, mandioca, milho, banana e arroz (principal cultura atualmente), tendo-se também a pecuária bovina e a avicultura como outras atividades importantes na região (IPECE, 2014).

5.2.2 Amostragem dos pontos de coleta

Para uma melhor observação do panorama relacionado à forma de distribuição e do fitoplâncton no reservatório, os pontos de coleta das amostras de água foram localizados nas entradas de seis tributários (Figura 6), sendo distribuídos da seguinte forma: P1, P2, P3 (localizados no terço superior do reservatório), P4, P5 (localizados no terço médio do reservatório) e, P6 e P7 (localizados no terço inferior), sendo que o ponto P7 localiza-se próximo à barragem. As coletas foram realizadas bimestralmente, de abril de 2008 a fevereiro de 2010, durante dois períodos: estação chuvosa (dezembro a maio) e estação seca (junho a novembro).

5.2.3 Coleta e análise das cianobactérias

Para a análise fitoplanctônica, foram coletados 500 mL de amostras realizadas com o auxílio de uma rede de plâncton de 30 a 50 cm de diâmetro e porosidade de 20 µm. As amostras foram acondicionadas em vidro cor âmbar de 1000 mL contendo 20 mL de formalina tamponada (APHA, 2005).

O material coletado foi analisado no Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias do Instituto Federal do Ceará e no Laboratório de Planctologia da Universidade Federal do Ceará (UFC) para realização das análises fitoplanctônicas. As identificações foram realizadas através de chaves dicotômicas utilizando microscópio óptico binocular equipado com sistema fotográfico, avaliando-se pelo menos três lâminas por amostra.

Com o material sedimentado também foi realizada a análise de quantificação das cianobactérias à partir da análise do sedimento com a câmara de Sedgewick-RaPter pelo método de Utermöhl, permitindo contagem de organismos presentes em um volume conhecido.

5.2.4 Atributos físicos e químicos avaliados

De modo a se avaliar a interferência abiótica sobre a sucessão das espécies de fitoplânctons foram avaliados atributos físicos e químicos (Tabela 5). *In loco*, foram determinados os atributos pH, temperatura e transparência de Secchi. Para os demais atributos foram realizadas coletas em garrafas de 1,5 L de capacidade – adequadamente descontaminadas – a 30 cm de profundidade da superfície da água. As amostras coletadas foram armazenadas em caixas térmicas, em seguida encaminhadas ao Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias do Instituto Federal do Ceará-Campus Fortaleza e ao Laboratório de Química Analítica (Universidade Federal do Ceará – UFC).

Tabela 5- Atributos físicos e químicos avaliados e suas respectivas metodologias analíticas.

Atributos	Metodologias Analíticas
Transparência de Secchi (m)	Visualização em Disco de Secchi ¹
Turbidez (uT)	Turbidimétrico ¹
pH	Potenciométrico ¹
Cor Aparente (uH)	Colorimétrico ¹
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	Condutivimétrico ¹
Sólidos Totais – ST (mg L ⁻¹)	Secagem a 103 – 105°C ¹
Fósforo total (mg L ⁻¹)	Espectrofotométrico – Ácido Ascórbico ¹
Ortofosfato Solúvel (mg L ⁻¹)	
NKT (mg L ⁻¹)	Espectrométrico – Destilação em Macro-
Amônia (mg L ⁻¹)	Kjldahl seguida de Nesslerização Direta ¹
Nitrato (mg L ⁻¹)	Espectrofotométrico – Salicilato de sódio ²

¹ APHA *et al.*, (2005), ² RODIER, (1975).

5.2.5 Análise estatística

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva dos dados com o objetivo de identificar a distribuição dos atributos físicos e químicos no espaço e no tempo.

A Análise de Componente Principal (ACP) foi empregada com o objetivo de determinar as principais espécies de cianobactérias que apresentavam o maior grau de explicabilidade da variância total. De acordo com Andrade *et al.* (2007) esse método consiste em projetar variáveis originais em novas variáveis, por meio da transformação de coordenadas. O modelo matemático empregado pode ser observado na Equação 1. A partir dos indivíduos identificados na ACP foi realizada uma análise descritiva das espécies de cianobactérias.

$$Xsi = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + \dots + A_{il}Fl_{ki} \dots A_{il}F_l + \xi \quad (1)$$

em que: F – Fatores comuns, isto é, uma nova variável; A_i – Constantes de ajuste do modelo ($i = 1, \dots, L$); ξ – Erro experimental; L – Total de fatores.

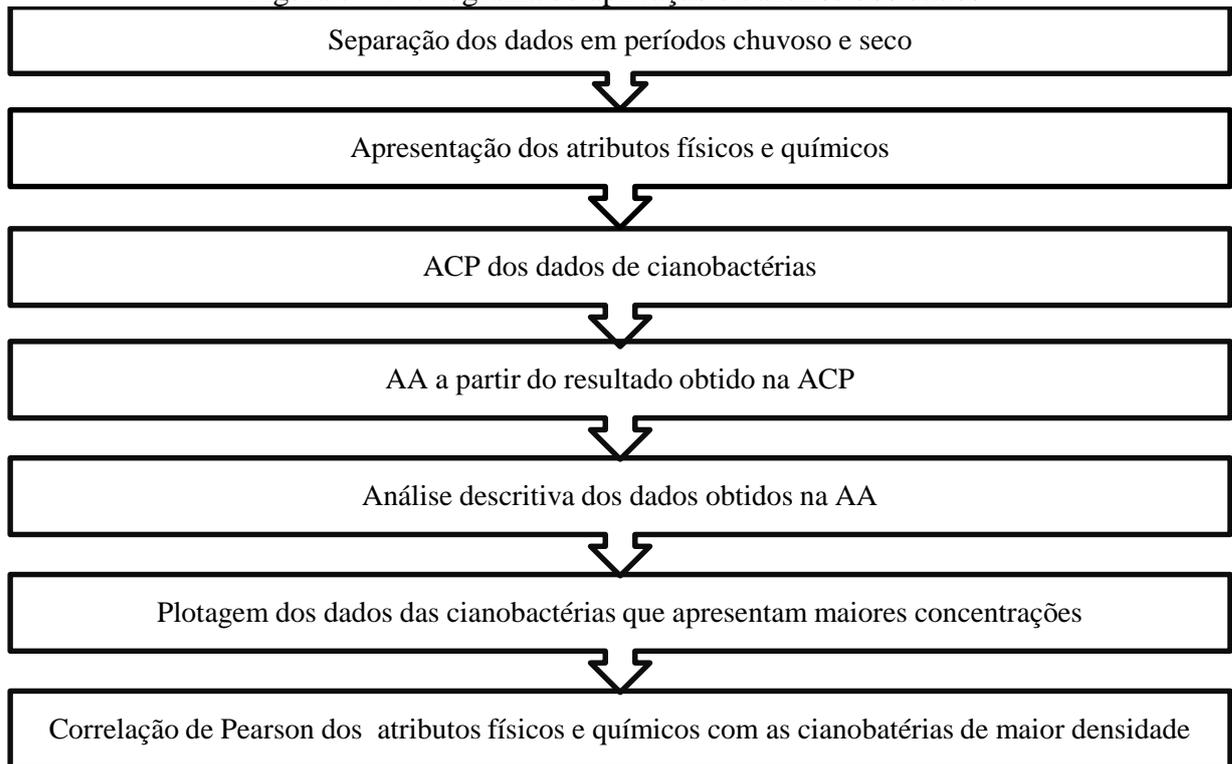
A Análise de Agrupamento (AA) foi empregada para classificar os grupos similares de cianobactérias. Segundo Jung *et al.* (2016) esse método de análise multivariada divide os dados em vários aglomerados baseando-se nas distâncias ou semelhanças entre os valores observados para os grupos com certa similaridade. A similaridade foi estimada pela distância Euclidiana ao quadrado, e o algoritmo dos agregados empregado foi o método de Ward. Desse modo, o número de agrupamentos foi calculado a partir da Equação 2.

$$CA = \sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left(\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} \right)^2 \right] \quad (2)$$

em que: CA – Coeficiente de Aglomeração; X_{ij} – Valor da amostra individual i em cada grupo j ; k – Número total de amostras de cada estágio; n_j – Número de amostras no grupo

Foi realizada a correlação de Pearson com finalidade de observar a influência dos atributos físicos e químicos investigados nas espécies de cianobactérias com maiores densidades. O fluxograma de aplicação dos métodos utilizados pode ser verificado na Figura 7. Para tais aplicações foi utilizado o software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), v.16.0.

Figura 7 – Fluxograma de aplicação da análise dos dados.



5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Análise descritiva dos atributos físicos e químicos

De acordo com a análise descritiva dos atributos físicos e químicos (Tabelas 6 e 7), pode-se verificar que os valores de pH foram superiores no período chuvoso em relação ao período seco. Acredita-se que este fato pode estar relacionado à dissolução de carbonatos e bicarbonatos ocorridos por processos de escoamento em solos alcalinos; no entanto, os valores em ambos os períodos permaneceram dentro da faixa, 6,0 a 9,0, estipulada pela Resolução CONAMA N° 357 de 2005 para todas as classes de água doce.

A Condutividade Elétrica (CE), também apresentou maiores valores no período chuvoso, sendo os valores extremos registrados nas principais entradas do reservatório Orós. Tal fato está relacionado ao aumento das concentrações dos íons de sais oriundos da intemperização de rochas que são acarretados através do escoamento, conforme também fora constatado por Silva *et al.* (2008), Fraga *et al.* (2012) e França *et al.* (2013). Em estudo realizado por Sales *et al.* (2014), em sete reservatórios do estado do Ceará, foram encontrados valores variando entre 0,51 e 2,15 dS m⁻¹, enquanto os valores médios obtidos para o reservatório Orós não ultrapassaram a 0,32 e 0,34 dS m⁻¹ para os períodos chuvoso e seco, respectivamente.

Quanto aos atributos Turbidez, Cor Aparente e Sólidos Totais os valores sempre se apresentaram superiores no período chuvoso, sendo o oposto observado na transparência, podendo-se verificar que estes atributos físicos expressam a influência do escoamento em áreas com grande potencial de erosão e geração de sedimentos. Rocha, Andrade e Lopes (2014) ao avaliarem a qualidade da água do reservatório Orós observaram que estes atributos apresentavam 21,42% da variabilidade dos dados, e que basicamente refletiam o aporte de sólidos devido ao escoamento superficial de solos antropizados.

Em um estudo desenvolvido por Maia (2015), foi observado que cerca de 32,5% do total do uso e cobertura do solo na área da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe consistiam em áreas antropizadas, sendo este um dos fatores que muito tem contribuído para um maior aporte de sólidos. O ponto P2 apresentou os maiores valores destes atributos em ambos os períodos, mostrando a influência do Rio Jaguaribe que é o seu principal tributário, estando tal fato relacionado à dinâmica sedimentar que é induzida pelo escoamento da superfície do solo, que é transportado pelo sistema fluvial e aportado no reservatório (BRONSTERT *et al.*, 2014).

Tabela 6- Análise descritiva dos atributos físicos e químicos do período chuvoso por pontos de coleta.

Atributos	Estatística	Pontos de Coleta						
		1	2	3	4	5	6	7
pH	Média	8,20 ± 0,30	8,16 ± 0,32	8,20 ± 0,40	8,44 ± 0,60	8,40 ± 0,42	8,50 ± 0,37	8,67 ± 0,20
	Amplitude	7,70 - 8,47	7,70 - 8,60	7,50 - 8,50	7,90 - 9,40	7,70 - 8,80	8,20 - 9,10	8,45 - 9,00
	C.V (%)	3,66	3,92	4,88	7,11	5,00	4,35	2,31
CE (dS m ⁻¹)	Média	0,32 ± 0,09	0,30 ± 0,06	0,28 ± 0,06	0,28 ± 0,03	0,29 ± 0,03	0,28 ± 0,04	0,27 ± 0,04
	Amplitude	0,19 - 0,43	0,21 - 0,35	0,19 - 0,33	0,26 - 0,32	0,26 - 0,33	0,23 - 0,34	0,23 - 0,33
	C.V (%)	27,78	19,87	21,66	10,56	10,49	14,18	14,65
Turbidez (uT)	Média	11,66 ± 2,54	26,40 ± 8,96	12,34 ± 2,16	6,92 ± 2,70	6,32 ± 1,76	5,76 ± 1,57	6,96 ± 2,44
	Amplitude	8,00 - 14,20	17,00 - 36,00	10,00 - 15,00	3,00 - 9,30	4,70 - 9,00	4,00 - 7,80	4,00 - 9,60
	C.V (%)	21,78	32,92	17,50	39,02	27,85	27,26	35,06
Cor Aparente (uH)	Média	62,60 ± 22,26	114,40 ± 15,06	65,80 ± 17,12	34,60 ± 14,15	33,40 ± 10,36	28,60 ± 12,72	40,60 ± 10,50
	Amplitude	39,00 - 95,00	94,00 - 136,00	46,00 - 92,00	19,00 - 56,00	17,00 - 45,00	12,00 - 40,00	33,00 - 59,00
	C.V (%)	35,56	13,16	26,02	40,90	31,02	44,48	25,86
Sólidos T. (mg L ⁻¹)	Média	203,40 ± 56,42	211,60 ± 20,70	193,40 ± 34,46	177,40 ± 25,40	182,0 ± 14,88	185,60 ± 50,19	183,80 ± 19,21
	Amplitude	155,00 - 298,00	180,00 - 228,00	138,00 - 223,00	133,00 - 195,00	159,00 - 199,00	151,00 - 274,00	164,00 - 210,00
	C.V (%)	27,74	9,78	17,82	14,32	8,18	27,04	10,45
Transparência (m)	Média	0,79 ± 0,16	0,42 ± 0,17	0,72 ± 0,11	1,30 ± 0,53	1,11 ± 0,51	1,22 ± 0,61	1,40 ± 0,60
	Amplitude	0,68 - 1,08	0,18 - 0,60	0,60 - 0,85	0,88 - 2,20	0,67 - 2,00	0,67 - 2,20	0,85 - 2,30
	C.V (%)	20,25	40,48	15,28	40,77	45,95	50,00	42,86
NKT (mg L ⁻¹)	Média	0,78 ± 0,18	0,75 ± 0,24	0,87 ± 0,21	0,95 ± 0,27	0,96 ± 0,20	0,87 ± 0,23	0,83 ± 0,23
	Amplitude	0,61 - 1,06	0,49 - 1,10	0,62 - 1,19	0,66 - 1,26	0,69 - 1,21	0,50 - 1,10	0,53 - 1,16
	C.V (%)	23,08	32,00	24,14	28,42	20,83	26,43	27,71
Amônia Total (mg L ⁻¹)	Média	0,11 ± 0,05	0,09 ± 0,06	0,14 ± 0,09	0,17 ± 0,08	0,19 ± 0,12	0,15 ± 0,09	0,17 ± 0,10
	Amplitude	0,05 - 0,17	0,03 - 0,18	0,07 - 0,24	0,08 - 0,29	0,06 - 0,35	0,05 - 0,23	0,07 - 0,28
	C.V (%)	45,45	66,67	64,29	47,06	63,16	60,00	58,82
Nitrato (mg L ⁻¹)	Média	0,08 ± 0,05	0,11 ± 0,08	0,07 ± 0,03	0,12 ± 0,07	0,12 ± 0,13	0,10 ± 0,06	0,09 ± 0,10
	Amplitude	0,02 - 0,13	0,01 - 0,19	0,05 - 0,11	0,08 - 0,22	0,03 - 0,3	0,04 - 0,15	0,01 - 0,24
	C.V (%)	62,50	72,73	42,86	58,33	108,33	60,00	111,11
Fósforo T. (mg L ⁻¹)	Média	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,05	0,22 ± 0,27	0,08 ± 0,12	0,11 ± 0,14	0,16 ± 0,18	0,09 ± 0,06
	Amplitude	0,06 - 0,11	0,03 - 0,15	0,05 - 0,70	0,01 - 0,29	0,03 - 0,35	0,03 - 0,45	0,02 - 0,16
	C.V (%)	25,00	55,56	122,73	150,00	127,27	112,50	66,67
Ortofosfato S. (mg L ⁻¹)	Média	0,05 ± 0,05	0,07 ± 0,05	0,06 ± 0,06	0,06 ± 0,08	0,04 ± 0,05	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,01
	Amplitude	0,01 - 0,13	0,04 - 0,15	0,01 - 0,17	0,01 - 0,15	0,01 - 0,12	0,00 - 0,05	0,01 - 0,04
	C.V (%)	100,00	71,43	100,00	133,33	125,00	100,00	33,33

Tabela 7- Análise descritiva dos atributos físicos e químicos do período seco por pontos de coleta.

Atributos	Estatística	Pontos de Coleta						
		1	2	3	4	5	6	7
pH	Média	8,09 ± 0,36	8,11 ± 0,42	8,22 ± 0,52	8,39 ± 0,46	8,44 ± 0,46	7,88 ± 0,31	7,95 ± 0,09
	Amplitude	7,58 - 8,44	7,44 - 8,57	7,37 - 8,76	7,70 - 8,92	7,76 - 9,01	8,40 - 8,15	7,81 - 8,03
	C.V (%)	4,45	5,18	6,33	5,48	5,45	3,93	1,13
CE (dS m ⁻¹)	Média	0,28 ± 0,14	0,30 ± 0,08	0,22 ± 0,02	0,25 ± 0,05	0,32 ± 0,17	0,35 ± 0,19	0,25 ± 0,06
	Amplitude	0,20 - 0,53	0,25 - 0,43	0,20 - 0,26	0,19 - 0,30	0,19 - 0,62	0,19 - 0,69	0,18 - 0,29
	C.V (%)	49,30	27,02	9,05	19,84	53,97	54,76	24,39
Turbidez (uT)	Média	11,72 ± 8,59	21,88 ± 13,05	13,62 ± 10,37	5,16 ± 1,20	5,60 ± 1,98	3,10 ± 0,38	2,28 ± 0,79
	Amplitude	6,00 - 26,70	7,50 - 37,30	6,50 - 31,70	3,30 - 6,40	3,20 - 7,90	2,70 - 3,50	1,10 - 3,20
	C.V (%)	73,29	59,64	76,13	23,26	35,36	12,26	34,65
Cor Aparente (uH)	Média	58,20 ± 28,71	67,50 ± 26,39	59,60 ± 28,41	35,10 ± 8,40	33,90 ± 5,46	25,70 ± 9,08	17,80 ± 5,69
	Amplitude	34,50 - 107,00	45,50 - 106,00	40,00 - 109,00	27,50 - 48,00	26,00 - 39,00	14,50 - 38,00	11,00 - 26,00
	C.V (%)	49,33	39,10	47,67	23,93	16,11	35,33	31,97
Sólidos T. (mg L ⁻¹)	Média	171,60 ± 17,26	190,20 ± 38,02	176,00 ± 26,02	161,60 ± 12,74	158,40 ± 26,88	182,20 ± 38,94	154,80 ± 13,50
	Amplitude	149,00 - 194,00	145,00 - 240,00	135,00 - 203,00	147,00 - 176,00	132,00 - 189,00	151,00 - 249,00	133,00 - 167,00
	C.V (%)	10,06	19,99	14,78	7,88	16,97	21,37	8,72
Transparência (m)	Média	0,70 ± 0,18	0,49 ± 0,14	0,57 ± 0,20	0,82 ± 0,30	0,86 ± 0,26	1,82 ± 0,68	1,88 ± 0,38
	Amplitude	0,50 - 1,00	0,35 - 0,70	0,39 - 0,90	0,49 - 1,30	0,5 - 1,19	0,84 - 2,47	1,32 - 2,25
	C.V (%)	25,71	28,57	35,09	36,59	30,23	37,36	20,21
NKT (mg L ⁻¹)	Média	0,49 ± 0,14	0,51 ± 0,19	0,60 ± 0,23	0,68 ± 0,11	0,65 ± 0,26	0,51 ± 0,16	0,48 ± 0,14
	Amplitude	0,31 - 0,70	0,31 - 0,76	0,31 - 0,95	0,57 - 0,82	0,23 - 0,93	0,26 - 0,70	0,31 - 0,61
	C.V (%)	28,57	37,25	38,33	16,18	40,00	31,37	29,17
Amônia Total (mg L ⁻¹)	Média	0,08 ± 0,05	0,07 ± 0,04	0,07 ± 0,07	0,12 ± 0,10	0,05 ± 0,03	0,06 ± 0,04	0,07 ± 0,04
	Amplitude	0,01 - 0,15	0,02 - 0,12	0,01 - 0,17	0,01 - 0,29	0,01 - 0,08	0,02 - 0,10	0,01 - 0,12
	C.V (%)	62,50	57,14	100,00	83,33	60,00	66,67	57,14
Nitrato (mg L ⁻¹)	Média	0,19 ± 0,11	0,08 ± 0,04	0,27 ± 0,46	0,20 ± 0,16	0,13 ± 0,09	0,17 ± 0,10	0,12 ± 0,06
	Amplitude	0,08 - 0,35	0,03 - 0,11	0,01 - 1,06	0,05 - 0,45	0,03 - 0,24	0,08 - 0,32	0,08 - 0,22
	C.V (%)	57,89	50,00	170,37	80,00	69,23	58,82	50,00
Fósforo T. (mg L ⁻¹)	Média	0,10 ± 0,05	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,06	0,07 ± 0,03	0,07 ± 0,05	0,06 ± 0,02	0,06 ± 0,03
	Amplitude	0,06 - 0,16	0,06 - 0,09	0,02 - 0,17	0,04 - 0,10	0,01 - 0,15	0,04 - 0,08	0,04 - 0,09
	C.V (%)	50,00	12,50	66,67	42,86	71,43	33,33	50,00
Ortofosfato S. (mg L ⁻¹)	Média	0,05 ± 0,05	0,04 ± 0,04	0,05 ± 0,04	0,02 ± 0,009	0,02 ± 0,02	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,03
	Amplitude	0,01 - 0,13	0,01 - 0,10	0,01 - 0,10	0,01 - 0,03	0,01 - 0,05	0,01 - 0,04	0,01 - 0,07
	C.V (%)	100,00	100,00	80,00	45,00	100,00	100,00	100,00

Em relação às frações nitrogenadas (Tabelas 6 e 7), constatou-se que, com exceção do P2 para o atributo nitrato, os valores médios apresentaram-se superiores no período chuvoso, possivelmente em virtude do maior aporte de nitrogênio oriundo das áreas cultivadas com uso de fertilizantes nitrogenados e áreas de atividades pecuárias. Além das atividades agropecuárias Lopes *et al.* (2014) atribuem o aporte de nitrogênio à baixa percentagem (11,22%) de domicílios ligadas ao sistema de esgotamento sanitário na bacia hidrográfica do Orós.

Em um estudo realizado por Pernet-Coudrier *et al.* (2012) em águas superficiais no semiárido da China foi identificada a mesma tendência. Os autores afirmam que tal fato está relacionado ao lançamento de efluentes sem tratamentos e aos resíduos gerados da criação de animais (principalmente avicultura). Ainda segundo os mesmos autores, no período seco, há redução do nitrogênio devido ao processo de nitrificação/desnitrificação, volatilização da amônia e a captação biológica do nitrogênio. Apesar do aporte difuso de nitrogênio nas águas do reservatório Orós, os valores médios de Amônia total e Nitrato ficaram abaixo dos padrões de águas doces de classe I, estipulados pela Resolução CONAMA N° 357 de 2005, tanto no período seco quanto no chuvoso.

Os valores de fósforo total e o ortofosfato solúvel foram superiores no período chuvoso, com exceção do P1 para o fósforo total. Os maiores valores estão relacionados ao aporte de nutrientes através do escoamento superficial. Em um estudo de transporte de nutrientes realizado por Molisani *et al.* (2013) no açude Castanhão, os autores observaram que no período seco o reservatório não apresentou nenhuma entrada de fósforo total a partir da bacia efêmera à montante, entretanto, no período chuvoso foi identificado um aporte de 189 toneladas de fósforo total. Os autores afirmaram ainda que a distribuição espacial das concentrações de nutriente da entrada para a represa é altamente variável, pois a desaceleração do fluxo do rio pela barragem de induz deposição do material em suspensão (consequentemente de fósforo total) em todo o represamento.

Ferreira (2014) atribui ainda os altos valores de fósforo no reservatório Orós ao cultivo de arroz na área de preservação permanente no entorno do mesmo. Maiores valores de fósforo total durante o período chuvoso também foram encontrados por Vidal e Capelo Neto (2014), em estudos desenvolvidos no açude Gavião, localizado na região metropolitana de Fortaleza, Ceará. Os valores médios de fósforo total nos dois períodos apresentaram-se acima dos valores estipulado pela Resolução CONAMA 357 que é de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ para águas de classe II.

5.3.2 Análise multivariada e descritivas das Cianobactérias

Um total de 17 espécies de cianobactérias foi avaliado, no entanto, a partir da Análise da Componente Principal (Tabela 8) foi identificado que somente dez das espécies apresentavam uma maior significância na explicação total dos dados, de modo que foram distribuídas em cinco componentes que apresentaram uma variância acumulada de 72,47%. O teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) apresentou valor de 0,535 e o teste de esfericidade de Bartlett foi significativa ($p < 0,05$), indicando que a redução no número total de dados foi satisfatória.

Tabela 8– Matriz de cargas fatoriais das variáveis transformadas usando o algoritmo Varimax das principais componentes selecionadas das espécies de cianobactérias do reservatório Orós.

N°	Variáveis	Componentes					C*
		VF1	VF2	VF3	VF4	VF5	
1	<i>PlaNKTothrix sp</i>	0,892	0,071	-0,014	0,048	-0,027	0,804
2	<i>Gloeotheca spp</i>	0,883	-0,062	0,037	-0,016	0,006	0,786
3	<i>Cylindrospermopsis spp</i>	-0,101	0,890	-0,096	0,010	-0,042	0,814
4	<i>Geitlerinema spp</i>	0,151	0,830	0,303	-0,028	-0,007	0,805
5	<i>Microcystis sp</i>	-0,127	0,010	0,891	-0,089	-0,006	0,818
6	<i>Aphanocapsa spp</i>	0,429	0,243	0,643	0,158	-0,175	0,712
7	<i>Phormidium sp</i>	-0,148	0,088	-0,012	0,746	0,198	0,626
8	<i>Coelomoron sp</i>	0,267	-0,125	0,013	0,681	-0,193	0,588
9	<i>Aphanizomenon spp</i>	0,024	-0,082	0,007	-0,161	0,832	0,725
10	<i>Microcystis aeruginosa</i>	-0,070	0,042	-0,133	0,366	0,641	0,570
	Total	1,908	1,582	1,328	1,217	1,212	
	variância (%)	19,079	15,819	13,280	12,171	12,121	
	variância acumulada (%)	19,079	34,898	48,178	60,349	72,470	

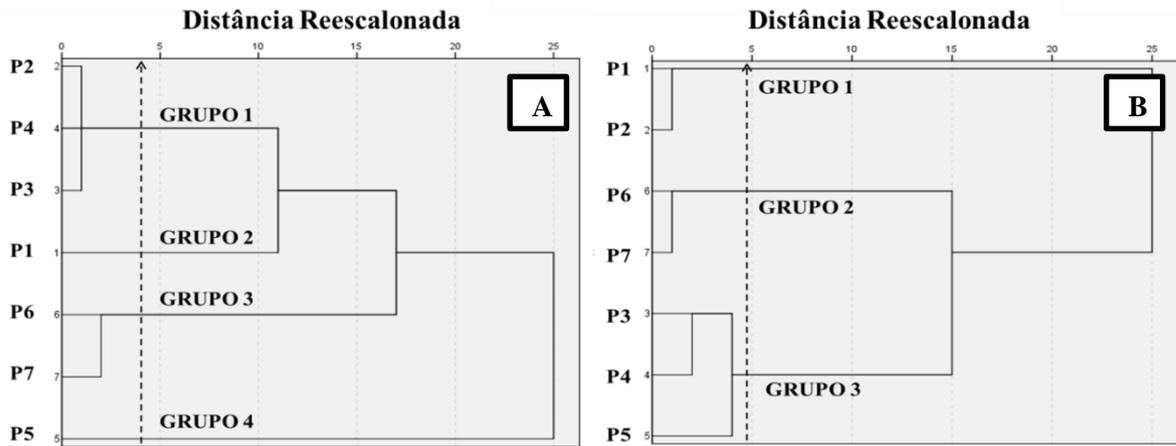
*C: Comunalidade – Quando maior que 0,5 significa que o fator correspondente reproduz mais que metade da variância da variável correspondente.

Segundo Corrar, Paulo e Dias Filho (2009), são considerados satisfatórios os valores com um grau de explicação superior a 0,50 no teste KMO, e que possua uma esfericidade com valores de $p > 0,05$ no qual é impossível a aplicação de uma Análise Fatorial (AF). Esses autores também afirmam que quanto mais próximo de 1 estiverem as comunalidades (Tabela 8), maior é o poder de explicação dos fatores. Lopes *et al.* (2014), ao avaliarem os atributos físicos, químicos e biológico da água do reservatório Orós, também obtiveram um total de cinco componentes com uma variância acumulada de 84,39%.

Com base nas espécies obtidas a partir da Análise da Componente Principal, foi realizada a Análise de Agrupamento dos dados para o período chuvoso e período seco, (Figura 8). Para o período chuvoso foram formados 4 grupos (Figura 8A), e no período seco foram formados 3 grupos (Figura 8B). O ponto de corte que definiu o número de grupos foi calculado

com base no primeiro grande salto entre as diferenças de coeficiente de agrupamentos consecutivos. A distância-valor do ponto de corte do período chuvoso foi de aproximadamente 3,17, já para o período seco essa distância foi de aproximadamente 4,68.

Figura 8 – Dendrogramas dos grupos de cianobactérias formados por ponto de distribuição no período chuvoso (A) e seco (B) no reservatório Orós.



Baseando-se na distribuição espaço-temporal das espécies de cianobactérias é possível notar que a formação dos grupos foi influenciada pela sazonalidade, haja vista que a formação dos grupos foi diferente nos dois períodos, com exceção dos pontos P6 e P7, podendo tal fato estar relacionado à estabilidade desses pontos devido à sua proximidade à barragem. Segundo Reynolds *et al.* (2002) a separação das algas (dentre estas as cianobactérias) ocorre em função das suas morfologias e coincide substancialmente com sua distribuição entre diferentes tipos de *habitats*, distinguindo-se com base na acessibilidade à luz e todos os recursos de nutrientes. De acordo com Rangel *et al.* (2016) a distribuição de grupos funcionais reflete diferenças físicas, químicas e hidrológicas relacionadas à variabilidade sazonal e espacial do sistema. Os autores afirmam ainda que ambientes lênticos formados pelo represamento de águas promovem diferenças na turbulência, disponibilidade de luz e nutrientes, e uma consequente distribuição heterogêneas de suas comunidades biológicas.

Observando os dados descritivos da composição dos grupos de cianobactérias (Tabelas 9 e 10), é possível observar que as concentrações de cianobactérias foram maiores no período seco em relação ao período chuvoso. Lopes (2013) afirma que concentrações de clorofila-*a* são independentes da estação chuvosa e seca, no entanto, o referido autor afirma que as maiores concentrações ocorrem na estação seca, devido à maior transparência da coluna d'água e assim aumenta a disponibilidade de energia que favorece a atividade fotossintética. Em estudos desenvolvidos por Câmara *et al.* (2009), os autores identificaram que cerca de 90% da

composição fitoplanctônica eram formados por cianobactérias que contribuíam fortemente para a biomassa total (clorofila-*a*).

Silva (2013) ao avaliar a composição fitoplanctônica do reservatório Orós, observou a existência de uma competição entre *Chlorophyceae* e *Cyanophyceae* pela dominância das águas do manancial, entretanto, foi constatado que a *Cyanophyceae* passou a ser dominante. Assim, como há a competição entre grupos, o mesmo pode ser observado intraespécies de um mesmo grupo.

Tabela 9– Composição das cianobactérias no período chuvoso.

Variável	Estatística	Grupos			
		1	2	3	4
<i>Aphanizomenon sp</i>	Média	70,2 ± 136,9	12,2 ± 29,8	190,2 ± 428,0	22,0 ± 53,9
	Range	0 - 344	0 - 73	0 - 1062	0 - 132
	C.V (%)	195,0	244,3	225,0	245,0
<i>Aphanocapsa spp</i>	Média	3039,2 ± 2402,2	3964,5 ± 2739,3	2421,0 ± 2685,4	1502 ± 1185,2
	Range	489 - 7512	1749 - 8832	172 - 7396	318 - 3754
	C.V (%)	79,04	69,1	110,9	78,9
<i>Coelomoron sp</i>	Média	4,8 ± 9,2	2,8 ± 6,9	1,5 ± 3,7	1,83 ± 4,5
	Range	0 - 23	0 - 17	0 - 9	0 - 11
	C.V (%)	191,7	246,4	246,6	245,9
<i>Cylindrospermopsis sp</i>	Média	36,3 ± 41,1	35,8 ± 66,4	1021,7 ± 1492,2	383,2 ± 745,7
	Range	0 - 101	0 - 165	0 - 3993	0 - 1863
	C.V (%)	113,2	185,5	146,1	194,6
<i>Geitlerinema sp</i>	Média	80,3 ± 88,6	249,8 ± 439,9	443,7 ± 591,3	31,3 ± 76,8
	Range	0 - 216	0 - 1104	0 - 1573	0 - 188
	C.V (%)	110,3	176,1	133,3	245,4
<i>Gloeothece sp</i>	Média	3,2 ± 7,8	2,8 ± 7,0	2,5 ± 4,0	ND
	Máxima	0 - 19	0 - 17	0 - 9	ND
	C.V (%)	243,8	250,0	160,0	ND
<i>Microcystis sp</i>	Média	20,0 ± 36,1	205,0 ± 482,2	23,3 ± 48,5	5,8 ± 9,9
	Range	0 - 93	0 - 1189	0 - 122	0 - 24
	C.V (%)	180,5	235,2	208,2	170,7
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Média	8,8 ± 12,3	9,67 ± 16,8	3,5 ± 8,6	5,3 ± 9,4
	Range	0 - 29	0 - 41	0 - 21	0 - 23
	C.V (%)	139,8	173,7	245,7	177,4
<i>Phormidium sp</i>	Média	2,0 ± 4,9	ND	1,5 ± 3,7	ND
	Range	0 - 12	ND	0 - 9	ND
	C.V (%)	245,0	ND	246,7	ND
<i>PlaNKTothrix sp</i>	Média	ND	ND	ND	ND
	Range	ND	ND	ND	ND
	C.V (%)	ND	ND	ND	ND

ND – Não detectado.

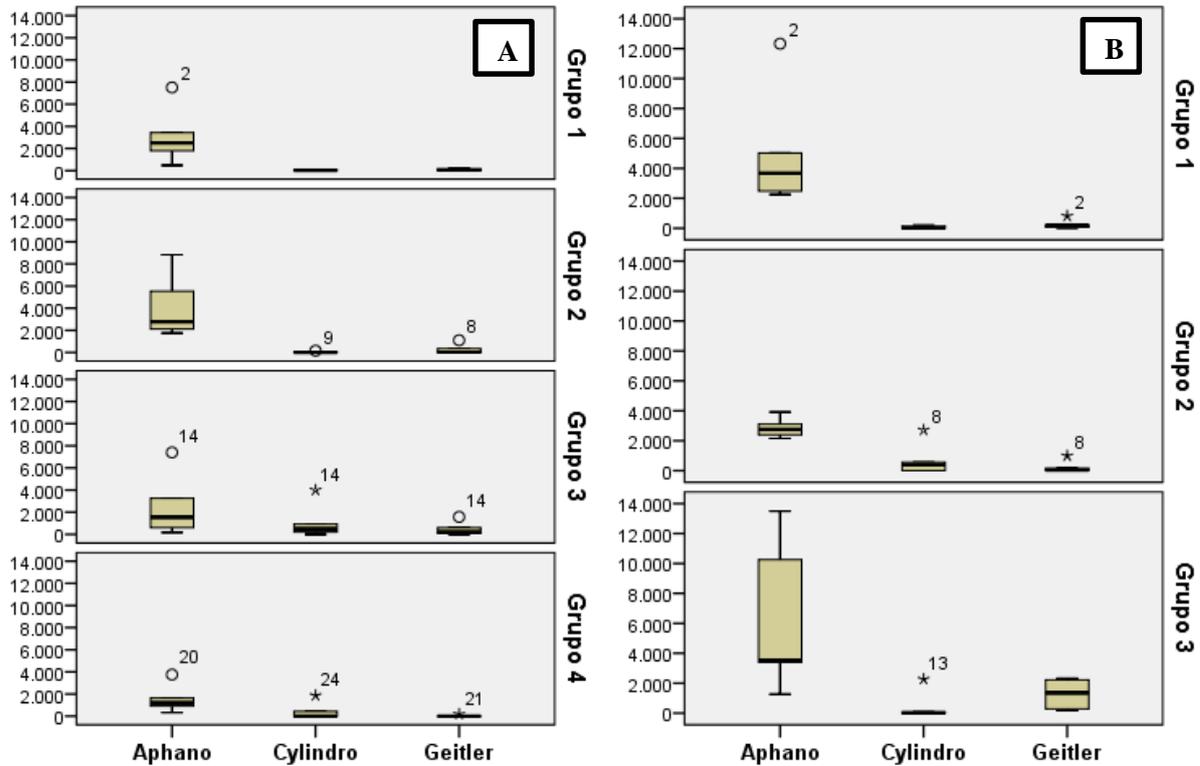
Tabela 10– Composição das cianobactérias no período seco.

Variável	Estatística	Grupos		
		1	2	3
<i>Aphanizomenon sp</i>	Média	ND	ND	ND
	Range	ND	ND	ND
	C.V (%)	ND	ND	ND
<i>Aphanocapsa spp</i>	Média	5154,0 ± 4161,2	2867,4 ± 691,9	6385,8 ± 5218,2
	Range	2252 – 12331	2149 - 3916	1261 - 13493
	C.V (%)	80,7	24,1	81,7
<i>Coelomoron sp</i>	Média	37,0 ± 33,68	19,8 ± 26,23	37,4 ± 60,6
	Range	0 – 81	0 - 64	0 - 144
	C.V (%)	91,0	132,5	162,0
<i>Cylindrospermopsis sp</i>	Média	67,6 ± 95,1	732,4 ± 1135,8	471,4 ± 1004,8
	Range	0 – 200	0 - 2716	0 - 2268
	C.V (%)	140,7	155,1	213,2
<i>Geitlerinema sp</i>	Média	258,6 ± 319,2	246,0 ± 418,89	1273,6 ± 1022,0
	Range	19 – 813	0 - 987	189 - 2325
	C.V (%)	123,5	170,3	80,2
<i>Gloeothece sp</i>	Média	18,2 ± 26,2	ND	11,8 ± 13,9
	Range	0 – 63	ND	0 - 34
	C.V (%)	144,0	ND	117,8
<i>Microcystis sp</i>	Média	17,2 ± 30,3	12,8 ± 9,2	51,2 ± 31,3
	Range	0 – 70	0 - 25	24 - 87
	C.V (%)	176,2	71,9	61,1
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Média	16,8 ± 17,4	11,2 ± 18,7	7,6 ± 11,0
	Range	0 – 41	0 - 43	0 - 24
	C.V (%)	103,6	167,0	144,7
<i>Phormidium sp</i>	Média	9,8 ± 21,9	3,3 ± 7,2	ND
	Range	0 – 49	0 - 16	ND
	C.V (%)	223,5	218,2	ND
<i>PlaNKTothrix sp</i>	Média	77,8 ± 160,4	23,2 ± 23,4	4,8 ± 10,7
	Range	0 – 364	0 - 53	0 - 24
	C.V (%)	206,2	100,9	223,0

ND – Não detectado.

Dentre as espécies que contribuíram para a formação dos grupos e que apresentaram maior densidade populacional absoluta, foram as espécies *Aphanocapsa spp*, *Cylindrospermopsis sp* e *Geitlerinema sp* no período chuvoso e seco, podendo ser observado nas Figuras 9 (A) e (B), respectivamente. As maiores concentrações de cianobactérias ocorrem no grupo 2 (P1-enseada da localidade de Conceição) do período chuvoso e no grupo 3 (P3-Rio Faé, P4-Rio Madeira Cortada e P5-Giqui) do período seco. De acordo com a classificação de grupos funcionais, segundo Reynolds *et al.* (2002), os gêneros que apresentaram maior abundância são representados por três típicos grupos funcionais de ambientes eutróficos, de águas rasas e/ou zonas mescladas e de águas mornas: K (*Aphanocapsa spp*), S1(*Cylindrospermopsis sp*) e SN (*Geitlerinema sp*).

Figura 9 – Densidade absoluta das espécies que apresentaram maior concentração no período chuvoso (A) e seco (B) Aphano – *Aphanocapsa* spp, Cylindro – *Cylindrospermopsis* sp, Geitler – *Geitlerinema* sp).



Em estudos de sazonalidade de cianobactérias realizado por Oliveira *et al.* (2015) em dois reservatórios no estado do Pernambuco também pertencente à região semiárida brasileira, o autores encontraram os seguintes gêneros e espécies também identificados nesta pesquisa: *Geitlerinema* sp, *PlaNKTothrix* sp, *Merismopedia* sp, *Microcystis aeruginosa*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon* sp, ambos – gêneros e espécies – se fizeram presentes tanto no período seco quanto no chuvoso; no entanto, a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* e o gênero *Aphanizomenon* sp apresentaram maior concentração.

Câmara *et al.* (2009) identificaram os gêneros *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Coelomoron*, *Cylindrospermopsis*, *Merismopedia*, *Microcystis*, *Phormidium*, *PlaNKTothrix*, *Pseudanabaena* e *Synecocystis* em um reservatório localizado no Rio Grande do Norte, apresentando uma maior abundância de cerca de 68% dos gêneros *Microcystis*, *PlaNKTothrix* e *Coelomoron*.

Comparando as espécies encontradas nos reservatórios dos estudos supracitados, observa-se que mesmo em regiões de características climáticas similares, características intrínsecas a cada reservatório podem ser responsáveis por reger a dinâmica das cianobactérias, bem como determinar as espécies dominantes.

5.3.3 Correlação de Pearson das cianobactérias com atributos físicos e químicos

De acordo com os resultados obtidos a partir da Correlação de Pearson entre os grupos de cianobactérias e os atributos da água para o período chuvoso (Tabela 11), a espécie *Aphanocapsa spp* foi a única que apresentou correlação positiva com pH, CE e correlação negativa com ortofosfato solúvel com significância $p < 0,05$. Em um estudo realizado por Ferraz (2012) em corpos hídricos de quatro bacias hidrográficas de Minas Gerais, o autor também identificou forte correlação positiva das cianobactérias com pH, atribuindo a correlação à alcalinidade que aumentou em virtude dos sais, fator que também está relacionado à Condutividade Elétrica.

Quanto à correlação negativa com o Ortofosfato, pode estar relacionado ao aparecimento de outras espécies de fitoplânctons concorrentes ao gênero *Aphanocapsa spp*, limitando assim o seu crescimento. Em um estudo realizado por Gomes (2008) no reservatório de Vargem em Minas Gerais, o autor também identificou a mesma resposta de cianobactérias ao Ortofosfato; no entanto atribuiu-se o padrão de correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de ortofosfato ao consumo desse nutriente pelo gênero *Aphanocapsa spp*.

Outro ponto que se pode observar é quanto a ocorrência no decréscimo da correlação dos atributos físicos e químicos com os gêneros *Geitlerinema sp* e *Cylindrospermopsis sp*, todavia ocorre uma maior correlação entre elas ($p < 0,05$). Tais condições não foram favoráveis à proliferação destas. Possivelmente, altas concentrações de sólidos advindas dos pontos P2, P3 e P4 formadores do grupo 1 do período chuvoso, limitaram o desenvolvimento destas espécies, podendo ser verificado através dos valores médios de Sólidos Suspensos que foram muito elevados (Tabela 6). Segundo Dantas, Bittencourt-Oliveira e Moura (2012), é comum a ocorrência de cianobactérias do grupo funcional S1 (*Cylindrospermopsis sp*) de Reynolds que é típica de camadas turvas mistas e luz consideravelmente deficiente, associadas frequentemente ao grupo funcional Sn (*Geitlerinema sp*).

Avaliando a correlação de Pearson para o grupo 2 do período chuvoso é possível inferir que os gêneros *Aphanocapsa spp* e *Geitlerinema sp* responderam positivamente aos atributos físicos Cor aparente e ST, podendo tal fato estar relacionado às concentrações de biomassa destas, sendo que o mesmo não é observado para a espécie *Cylindrospermopsis sp*. Quanto a resposta positiva de *Cylindrospermopsis sp* para nitrogênio total ($p < 0,05$) se deve ao fato desse nutriente ser o limitante da eutrofização no reservatório Orós, pois a partir do cálculo da razão de nitrogênio total pelo fósforo total obtém-se relações de $N/P < 10$ indicando limitação por

nitrogênio, visto que o fósforo total estando sempre presente, não seria um fator muito influente no crescimento das cianobactérias, (THOMANN; MUELLER, 1987; FERRAZ, 2012).

Para o grupo 3 do período chuvoso nota-se que as espécies de cianobactérias não apresentaram altas correlações com a maioria dos atributos. Tal fato pode estar relacionado às características do ambiente desse grupo que possuem maiores profundidades e transparências. O não favorecimento ao desenvolvimento destas espécies de cianobactérias é devido ao fato de as mesmas serem características de camadas mistas turvas, rasas, com presença de nutriente em toda a coluna, e/ou em águas profundas com colunas de água com zona eufótica menor que a zona de mistura (REYNOLDS, 2002; DANTAS; BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOURA, 2012).

Tabela 11– Resultados obtidos a partir da análise da correlação de Pearson para o período chuvoso (CE – Condutividade Elétrica, ST – Sólidos Totais, Transp. – Transparência, NKT – Nitrogênio Total, PT – Fósforo Total, Orto S. – Ortofosfato Solúvel, Aphan. – Aphan.

	Espécies	pH	CE	Turbidez	Cor Aparente	ST	Transp.	NKT	Amônia Total	Nitrato	PT	Orto S.	Aphano	Cylindro	Geitler
Grupo 1	Aphano	0,502	0,569*	-0,035	0,256	0,318	-0,007	0,401	0,104	0,014	-0,224	-0,606*	1	-0,174	-0,208
	Cylindro	0,191	0,072	-0,255	-0,282	-0,092	-0,040	0,151	-0,287	0,142	-0,056	-0,216	-0,174	1	0,548*
	Geitler	0,052	0,043	-0,251	-0,208	-0,023	-0,045	-0,030	-0,189	0,460	0,029	-0,032	-0,208	0,548*	1
Grupo 2	Aphano	-0,324	0,305	0,525	0,966**	0,713	-0,523	-0,352	0,077	0,150	0,500	-0,066	1	-0,364	0,779
	Cylindro	0,492	-0,256	-0,804	-0,593	-0,351	-0,143	0,901*	-0,695	-0,511	0,172	-0,298	-0,364	1	0,063
	Geitler	0,241	0,604	0,039	0,648	0,852	-0,359	-0,086	-0,035	-0,108	0,237	-0,568	0,779	0,063	1
Grupo 3	Aphano	-0,140	0,147	-0,486	-0,184	-0,168	-0,039	0,038	0,271	-0,427	0,680*	0,464	1	-0,647*	-0,196
	Cylindro	0,119	-0,100	0,272	0,170	-0,172	-0,442	0,161	-0,459	0,076	-0,474	^c	-0,647*	1	0,031
	Geitler	0,280	-0,609	0,540	0,177	-0,237	-0,063	0,161	-0,113	-0,278	-0,332	0,017	-0,196	0,031	1
Grupo 4	Aphano	0,629	0,538	0,100	0,277	-0,624	-0,134	0,421	-0,038	-0,532	-0,208	-0,225	1	0,937*	0,923*
	Cylindro	0,537	0,461	0,213	0,581	-0,837	-0,427	0,296	0,260	-0,466	-0,034	-0,030	0,937*	1	0,931*
	Geitler	0,698	0,751	0,003	0,509	-0,762	-0,446	0,051	0,004	-0,518	-0,214	-0,236	0,923*	0,931*	1

* Correlação é significativa ao nível de 0,05.

** Correlação é significativa ao nível de 0,01.

^c Não pode ser calculado porque pelo menos uma das variáveis é constante.

Tabela 12- Resultados obtidos a partir da análise da correlação de Pearson para o período seco (CE – Condutividade Elétrica, ST – Sólidos Totais, Transp. – Transparência, NKT – Nitrogênio Total, PT – Fósforo Total, Orto S. – Ortofosfato Solúvel, Aphano – Aphanoca.

	Espécies	pH	CE	Cor			Amônia			Orto			Aphano	Cilindro	Geitler
				Turbidez	Aparente	ST	Transp.	NKT	Total	Nitrato	PT	S.			
Grupo 1	Aphano	0,516*	0,038	-0,231	-0,132	-0,129	-0,035	0,328	-0,051	0,437	0,589*	-0,156	1	-0,198	0,252
	Cilindro	-0,358	-0,088	-0,170	-0,150	-0,451	0,392	-0,495	-0,215	0,353	0,034	0,121	-0,198	1	0,623*
	Geitler	0,015	0,262	-0,383	-0,335	-0,211	0,399	-0,109	-0,010	0,623*	0,144	-0,005	0,252	0,623*	1
Grupo 2	Aphano	-0,083	0,392	-0,249	-0,184	0,038	0,479	-0,116	-0,462	-0,231	-0,482	0,080	1	-0,264	-0,074
	Cilindro	0,020	0,071	0,514	0,712*	0,024	-0,437	-0,621	-0,113	-0,081	0,436	-0,249	-0,264	1	0,895**
	Geitler	-0,325	-0,014	0,520	0,592	-0,129	-0,142	-0,748*	-0,334	-0,293	0,468	-0,335	-0,074	0,895**	1
Grupo 3	Aphano	0,474	0,178	0,020	0,011	0,302	-0,259	0,237	0,430	-0,133	0,194	0,197	1	-0,243	0,226
	Cilindro	-0,555*	0,021	-0,125	0,063	-0,403	-0,113	-0,325	-0,354	0,015	0,208	0,110	-0,243	1	0,559*
	Geitler	-0,098	0,205	-0,034	0,054	0,042	-0,270	-0,311	-0,053	0,078	0,189	0,119	0,226	0,559*	1

* Correlação é significativa ao nível de 0,05.

** Correlação é significativa ao nível de 0,01.

Os resultados obtidos para o grupo 4 do período chuvoso mostram que apesar das correlações positivas para pH, CE e Cor aparente, o oposto foi observado para o atributo Sólidos Totais, indicando que as condições desse grupo são favoráveis ao desenvolvimento mais equilibrado das cianobactérias. A hipótese levantada é que outras espécies fitoplanctônicas tenham se estabelecido neste ambiente. As mesmas condições foram encontradas por Maheshwari *et al.* (2015) em um lago da região semiárida da Índia, ou seja, o pico de produtividade de fitoplâncton estava relacionado ao pH, alcalinidade, CE, TS, nutrientes e densidade planctônica, sendo que tais condições foram favoráveis à dominância de clorofíceas em relação às cianofíceas.

Um ponto importante que foi observado no período chuvoso é quanto à influência do aporte de sedimento que reflete nos altos valores dos atributos físicos (Turbidez, Cor aparente, Sólidos totais, Condutividade Elétrica), que aliada a limitação por nitrogênio existente no reservatório, mostrou ser as características limnológicas essenciais a predominância das espécies de cianobactérias com maior densidade absoluta.

A partir das correlações obtidas para o grupo 1 do período seco, é possível observar que a espécie *Aphanocapsa spp* apresentou correlação positiva para pH e Fósforo total ($p < 0,05$). Correlação positiva entre cianobactérias e pH já foram identificados em vários estudos (MOURA; NASCIMENTO; DANTAS, 2012; ASECIO, 2013; CARNEIRO; PACHECO; OLIVEIRA E AZEVEDO, 2013). Já a correlação com PT é característica do grupo funcional K ao qual esse gênero pertence, pois o mesmo apresenta afinidade para ambientes ricos em nutrientes (REYNOLDS *et al.* 2002). Quanto a correlação positiva do gênero *Geitlerinema sp* com o nitrato ($p < 0,05$), está relacionada à limitação por nitrogênio. Ferraz (2012) também identificou correlação positiva de cianobactérias com nitrato; o autor afirma que tal fato pode estar relacionado à carga de fósforo, sempre presente no manancial estudado.

No grupo 2 do período seco é possível inferir que a resposta positiva à cor aparente e à turbidez, está relacionado a biomassa das espécies *Cylindrospermopsis sp* e *Geitlerinema sp*, que se apresentaram superior em relação à *Aphanocapsa spp* (Figura 9 B), que mostrou correlação negativa com estes atributos. No entanto, as baixas concentrações das cianobactérias nesse grupo podem estar relacionadas ao mesmo fato observado para o grupo 3 do período chuvoso, ou seja, as características de ambientes profundos e com elevadas transparências (REYNOLDS, 2002; DANTAS; BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOURA, 2012).

Por fim, para os valores de correlação obtidos para o grupo 3 do período seco, é possível inferir que dentre os atributos da qualidade da água avaliados, estes fatores apresentaram fraca

influência na proliferação excessiva de cianobactérias nesse grupo, visto que as correlações entre as variáveis foram em sua maioria baixas.

5.3 Conclusão

O fator sazonalidade teve forte influência sobre os atributos físicos e químicos da água, formando diferentes condições ambientais em um mesmo reservatório, de modo a refletir diretamente na distribuição espacial das cianobactérias, agrupando-as de acordo com suas características similares.

Os altos valores de transparência limitavam a proliferação excessiva dos gêneros dominantes, levando a refletir sobre a necessidade de aplicação de medidas protetivas das áreas marginais do reservatório Orós, com a finalidade de reduzir o aporte de sedimento gerado pelo escoamento superficial.

Por fim, é necessário que haja um estudo abrangendo maior número de atributos físicos e químicos da água, a fim de identificar quais fatores que governam a dinâmica das cianobactérias no período de seca, haja vista que este foi o período que apresentou maiores concentrações das espécies dominantes e que este estudo não foi capaz de determiná-los.

REFERÊNCIAS

- AFFE, H. M. J.; BARBONI, S. A. V. Cianobactérias potencialmente tóxicas de importância em saúde pública. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 5, n. 3, p. 42-59, 2012.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **A questão da água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE, 2012. p. 436.
- ANDRADE, E. M., LOPES, F. B., PALÁCIO, H. A. Q., AQUINO, D. N., & ALEXANDRE, D. M. B. Land use and groundwater quality: the case of Baixo Acaraú irrigated perimeter, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 208–215, 2010.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F., DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.
- APHA - American Public Health Association, AWWA - American Water Works Association and WEF - Water Environment Federation, Standard methods for the examination of water and wastewater. 21.ed. Washington: American Public Health Association. 2005. 874p.
- ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. 1.ed. Campina Grande, *In: Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações*. PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 282P.
- ARAÚJO, M. K. C.; FUENTES, E. V.; ARAGÃO, N. K. V.; OLIVEIRA, M. C. B.; MOURA, A. N. Dinâmica fitoplanctônica relacionada às condições ambientais em reservatório de abastecimento público do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 592-599, 2010.
- ASENCIO, A. D. Determination of microcystins in reservoirs of diferente basins in a semiarid area. **Journal of Applied Phycology**, v. 25, p. 1753–1762, 2013.
- BRASIL, J.; HUSZAR, V. L. M. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro: v. 15, n. 4, p.799-834, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre 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. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- BRONSTERT, A.; ARAÚJO, J. C.; BATALLA, R. J.; COSTA, A. C.; DELGADO, J. M.; FRANCKE, T.; FOERSTER, S.; GUENTNER, A.; LÓPEZ-TARAZÓN, J. A.; MAMEDE, G. L.; MEDEIROS, P. H.; MUELLER, E.; VERICAT, D. Process-based modelling of erosion, sediment transport and reservoir siltation in mesoscale semi-arid catchments. **Journal Soils Sediments**, v. 14, p. 2001–2018, 2014.
- CÂMARA, F.R.A.; LIMA, A.K.A.; ROCHA, O.; CHELLAPPA, N.T. The role of nutrient dynamics on the phytoplankton biomass (chlorophyll-a) of a reservoir-channel continuum in a semi-arid tropical region. **Acta Limnol. Bras.**, v. 21, n. 4, p. 431-439. 2009.

CARNEIRO, R. L.; PACHECO, A. B. F.; AZEVEDO, S. M. F. O. Growth and Saxitoxin Production by *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) Correlate with Water Hardness. **Marine Drugs**, v. 11, p. 2949-2963, 2013.

CHELLAPPA, N. T.; BORBA, J. M.; ROCHA, O. Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 3, p. 477-494, 2008.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada para cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. 1 ed. 2 reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada para cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. 1 ed. 2 reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.

DANTAS, Ê. W.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N. Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. **Limnologica**, v. 42, p. 72– 80, 2012.

FERRAZ, H. D. A. **Associação da ocorrência de cianobactérias às variações de parâmetros de qualidade da água em quatro bacias hidrográficas de minas gerais**. 2012, 95f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FERREIRA, K. C. D. **Qualidade de água em um reservatório da região semiárida**. 2014. 64f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FINLAY, B. J. Global Dispersal of Free-Living Microbial Eukaryote Species. **Science**, v. 296, p. 1061-1063, 2002.

FRAGA, R. S.; TAVARES, V. E. Q.; TIMM, L. C.; ESTRELA, C. C.; BARTELS, G. K. Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçu-RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 1-4, p. 81-94, 2012.

FRANÇA, J. M. B.; WACHHOLZ, F.; CARNEIRO NETO, J. A.; PAULINO, W. D. Comportamento das variáveis qualitativas do açude Pereira de Miranda – Pentecoste/CE, no período de estiagem. **Geociências**, v. 32, n. 4, p. 586-599, 2013.

GOMES, L. N. L. **Estudo da associação entre parâmetros bióticos e abióticos e a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores – MG**. 2008, 403f. Tese (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Anuário Estatístico do Ceará 2014**. <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2014/index.htm>. 14 out. 2015.

JUNG, K. Y.; LEE, K. L.; IM, T. H.; LEE, I. J.; KIM, S.; CHEON, S. U.; HAM, K. Y.; AHN, J. M. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. **Environmental Technology & Innovation**, v. 5, p. 67-82, 2016.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 437–445, 2014.

LOPES, F.B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013, 202f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MAHESHWARI, K.; VASHISTHA, J.; PAULOSE, P. V.; AGARWAL, T. Seasonal changes in phytoplankton community of lake Ramgarh, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 4, n. 11, p. 318-330, 2015.

MAIA, A. R. S. **Influência da sazonalidade climática no levantamento do uso e cobertura do solo, com o uso de geotecnologias, em uma bacia hidrográfica no semiárido**. 2015. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MEDEIROS, L. C.; MATTOS, A.; LÜRLING M.; BECKER, V. Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. **Aquatic Ecology**, v. 49, p. 293-307, 2015.

MOLISANI, M. M.; BECKER, H. B.; BARROSO, H. S.; HIJO, C. A. G.; MONTE, T. M.; VASCONCELLOS, G. H.; LACERDA, L. D. The influence of Castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral jaguaribe river (CE, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 115-123, 2013.

MOURA, A.N.; NASCIMENTO, E. C.; DANTAS, Ê. W. Temporal and spatial dynamics of phytoplankton near farm fish in eutrophic reservoir in Pernambuco, Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, v. 60, n. 2, p. 581-597, 2012.

OLIVEIRA, F. H. P. C.; SILVA, J. D. B., COSTA, A. N. S. F.; RAMALHO, W. P.; MOREIRA, C. H. P.; CALAZANS, T. L. S. Cyanobacteria community in two tropical eutrophic reservoirs in northeastern Brazil. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 37, n. 2, p. 169-176, 2015.

PERNET-COUDRIER, B.; QI, W.; LIU, H.; MÜLLER, B.; BERG, M. Sources and Pathways of Nutrients in the Semi-Arid Region of Beijing–Tianjin, China. **Environmental, Science & Technology**, n. 46, p. 5294–5301, 2012.

RANGEL, L. M.; SOARES, M. C. S.; PAIVA, R.; SILVA, L. H. S. Morphology-based functional groups as effective indicators of phytoplankton dynamics in a tropical cyanobacteria-dominated transitional river–reservoir system. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 217-227, 2016.

REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V.; KURK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**. v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.

ROCHA, F. C.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B. Water quality index calculated from biological, physical and chemical attributes. **Environmental monitoring and assessment**, v.187, n. 1, p. 1-15, 2015.

RODIER, J. **L’analyse de L’éaux; naturelles, eaux résiduels, eaux de mer**. Paris: Dunod, 5 ed. v. 1, 629p. 1975.

SALES, M. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO, H. A. Q.; CHAVES, L. C. G.; GOMES, F. E. F. Variação espacial e modelagem da salinidade das águas superficiais de reservatórios da bacia metropolitana do Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 354-365, 2014.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.

SILVA, A. P. C.; COSTA, I. A. S. Biomonitoring ecological status of two reservoirs of the brazilian semi-arid using phytoplankton assemblages (Q index). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 1-14, 2015.

SILVA, M. D. **Diagnóstico da comunidade fitoplanctônica de um reservatório no semiárido nordestino**. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013:

THOMANN, R. V. B.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. New York: Harper & Row, 1987.

TUNDISI, J. G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In: TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, IIE, 2003. 247p

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da região metropolitana de Fortaleza/CE. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 298-312, 2014.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Com base nas características dos atributos físicos, químicos e biológicos do reservatório Orós, é evidente que a sazonalidade exerce uma influência significativa sobre a qualidade da água e a ecologia do sistema aquático. O período seco, caracterizado pelo fitoplâncton como principal contribuinte para a turbidez, e o período chuvoso, em que os sólidos sedimentáveis desempenham um papel preponderante, revelam uma complexa dinâmica de fatores que moldam as condições ambientais do reservatório.

Desse modo, recomenda-se realizar o monitoramento contínuo da turbidez, dada a alta variabilidade desse atributo ao longo das estações. Isso permitirá uma compreensão mais precisa das mudanças sazonais e facilitará a tomada de medidas preventivas quando necessário. Reconhecendo a influência da sazonalidade nas condições ambientais, é recomendável a implementação de estratégias de manejo sazonal. No período chuvoso, ações direcionadas para a redução da entrada de sedimentos no reservatório podem minimizar o aumento da turbidez e a proliferação de cianobactérias. Para uma compreensão completa da dinâmica das cianobactérias no período de seca, é imperativo realizar um estudo mais abrangente, incorporando uma ampla gama de atributos físicos, químicos e biológicos da água. Isso ajudará a identificar os fatores determinantes por trás das concentrações elevadas das espécies dominantes, permitindo uma abordagem mais direcionada para o controle desses eventos. Ademais, considerando que altos valores de transparência foram associados à limitação da proliferação de cianobactérias dominantes, a implementação de estratégias que visem manter ou melhorar a transparência da água, como a redução do aporte de sedimentos das áreas marginais, pode ser explorada como uma medida preventiva eficaz.

Por fim, a dinâmica dos ecossistemas aquáticos é complexa e sujeita a alterações. Portanto, é crucial continuar investindo em pesquisas para aprofundar o entendimento das interações entre os diferentes fatores e a ecologia das cianobactérias no reservatório Orós. Isso possibilitará uma adaptação constante das estratégias de manejo e tomada de decisões, garantindo, assim, a qualidade da água do reservatório Orós e a preservação de seu ecossistema aquático.

REFERÊNCIAS

- AFFE, H. M. J.; BARBONI, S. A. V. Cianobactérias potencialmente tóxicas de importância em saúde pública. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 5, n. 3, p. 42-59, 2012.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2ª ed. Brasília: SIH/ANEEL, 2001. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/introducao_gerenciamento.pdf Acesso: jan. 2015.
- AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JÚNIOR, H. F.; PETRERE JÚNIOR, M. Itaipu reservoir (Brazil): impacts of the impoundment on the fish fauna and fisheries. *In: Rehabilitation of freshwater fisheries*. London: I.G. Cowx, 1994. 171-184p.
- ÁLVAREZ-CABRIA, M.; BARQUÍN, J.; PEÑAS, F. J. Modelling the spatial and seasonal variability of water quality for entire river networks: Relationships with natural and anthropogenic factors. **Science of The Total Environment**, v. 545, p. 152-162, 2016.
- ALVES, M. F. A.; ALVES, L. R. A.; SARMENTO, E. B.; LIMA, G. A.; CRISPIM, D. L. Análise da precipitação pluvial de Pombal-PB relacionada com sistemas atmosféricos atuantes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p. 169-175, 2015.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **A questão da água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE, 2012. p.436.
- ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; AQUINO, D. N.; ALEXANDRE, D. M. B. Land use and groundwater quality: the case of Baixo Acaraú irrigated perimeter, Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, p. 208–215, 2010.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; GUERREIRO, M. J.; CHAVES, L. C. G.; RODRIGUES, J. O. Identification of groundwater quality similarity using multivariable analysis. **Revista Caatinga**, v. 24 n. 4, p. 130-136, 2011.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F., DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. M.; PALÁCIO, H. A. P. O semi-árido cearense e suas águas, Imprensa universitária. *In: Semiárido e o manejo de recursos naturais, uma proposta do uso adequado do capital natural*, 2010. 57-408p.
- ANDRADE, E. M.; SENA, M. G. T.; SILVA, A. G. R.; PEREIRA, F. J. S.; LOPES, F. B. Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016.
- APHA - American Public Health Association, AWWA - American Water Works Association and WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21.ed. Washington: American Public Health Association. 2005. 874p.

- ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. Campina Grande, In: **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 282p.
- ARAÚJO, M. F. F.; COSTA, I. A. S; CHELLAPPA, N. T. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais na Lagoa de Extremoz, Natal-RN, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 12, p. 127-140, 2000.
- ARAÚJO, M. K. C.; FUENTES, E. V.; ARAGÃO, N. K. V.; OLIVEIRA, M. C. B.; MOURA, A. N. Dinâmica fitoplanctônica relacionada às condições ambientais em reservatório de abastecimento público do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 592-599, 2010.
- ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – ASA. **O semiárido brasileiro**. Disponível em: www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=105 Acesso em: 10 jan. 2015.
- ASENCIO, A. D. Determination of microcystins in reservoirs of diferente basins in a semiarid area. **Journal of Applied Phycology**, v. 25, p. 1753–1762, 2013.
- AZEVEDO, S.M.F.O.; CARMICHAEL, W.W.; JOCHIMSEN, E.M.; RINEHART, K.L.; LAU, S.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruar-Brazil. **Toxicology**, v. 181, p. 441-446, 2002.
- BARBOSA, I. B. R.; CIRILO, J. A. Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água-Parte 1. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 20, n. 1, p. 39-46, 2015.
- BATISTA, A. A.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; IZIDIO, N. S. C; LOPES, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 39-48, 2014.
- BATISTA, A. A.; MEIRELLES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Parâmetros interferentes na eutrofização das águas superficiais do açude Orós, Ceará. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 1-8, 2013.
- BEZERRA, L. A. V.; PAULINO, W. D.; GARCEZ, D. S.; BECKER, H.; SÁNCHEZ-BOTERO, J. I. Limnological characteristics of a reservoir in semiarid Northeastern Brazil subject to intensive tilapia farming (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 1, p. 47-59, 2014.
- BORTOLI, S.; PINTO, E. Cianotoxinas: características gerais, histórico, legislação e métodos de análises. **Ecologia de reservatórios e interfaces**, p. 321-339, 2015.
- BRAGA, G. G.; BECKER, V.; OLIVEIRA, J. N. P.; MENDONÇA JUNIOR, J. R.; BEZERRA, A. F. M.; TORRES, L. M.; GALVÃO, A. M. F.; MATTOS, A. Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2015.
- BRASIL, J.; HUSZAR, V. L. M. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro: v. 15, n. 4, p. 799-834, 2011.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Câmara dos Deputados. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Estudo. Brasília, DF, nov. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 12 dez.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre 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. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2016.

BRONSTERT, A.; ARAÚJO, J. C.; BATALLA, R. J.; COSTA, A. C.; DELGADO, J. M.; FRANCKE, T.; FOERSTER, S.; GUENTNER, A.; LÓPEZ-TARAZÓN, J. A.; MAMEDE, G. L.; MEDEIROS, P. H.; MUELLER, E.; VERICAT, D. Process-based modelling of erosion, sediment transport and reservoir siltation in mesoscale semi-arid catchments. **Journal Soils Sediments**, v. 14, p. 2001–2018, 2014.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CÂMARA, F. R. A.; LIMA, A. K. A.; ROCHA, O.; CHELLAPPA, N. T. The role of nutrient dynamics on the phytoplankton biomass (chlorophyll-a) of a reservoir-channel continuum in a semi-arid tropical region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, n. 4, p. 431-439, 2009.

CAMPOS, J. D. **Desafios do gerenciamento dos recursos hídricos nas transferências naturais e artificiais envolvendo mudança de domínio hídrico**. 2005. 438f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CARMICHAEL, W. W.; LAU, S.; AZEVEDO, S. M. F. O.; RINEHART, K. L.; AN, J. S.; SHAW, G. R.; MOLICA, R. J. R.; EAGLESHAM, G. K.; JOCHIMSEN, E. M. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, n. 7, p. 663-668. 2001.

CARNEIRO, R. L.; PACHECO, A. B. F.; AZEVEDO, S. M. F. O. Growth and saxitoxin production by *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) correlate with water hardness. **Marine drugs**, v. 11, n. 8, p. 2949-2963, 2013.

CHELLAPPA, N. T.; BORBA, J. M.; ROCHA, O. Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 3, p. 477-494, 2008.

CHELLAPPA, N. T.; COSTA, M. A. M. Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a Eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. **Acta Oecologica**, v. 24, p. S3-S10, 2003.

CHEN, J.; LU, J. Effects of land use, topography and socio-economic factors on river water quality in a mountainous watershed with intensive agricultural production in East China. **PLoS one**, v. 9, n. 8, p. e102714, 2014.

CHEN, L.; YANG, Z.; LIU, H. Assessing the eutrophication risk of the Danjiangkou Reservoir based on the EFDC model. **Ecological Engineering**, 2016.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring, and management**. Taylor & Francis, London. E&FN Spon. 1999 416p.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, São Paulo: v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br> Acesso: fev. 2016.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br> Acesso em: 20 nov. 2015.

CORAZZA, R.; PEREIRA FILHO, W.; BASSO, L. A. Influência da precipitação pluviométrica nas características espectrais e limnológicas do reservatório Dona Francisca e do Lago Guaíba, Rio Grande do Sul. **Para onde!?**, v. 7, n. 2, p. 1-11, 2013.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada para cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. 1 ed. 2 reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.

COSTA, D. F.; BARBOSA, J. E. L.; DANTAS, Ê. W. Productivity–diversity relationships in reservoir phytoplankton communities in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 129, p. 64-70, 2016.

COTTINGHAM, K. L.; CARPENTER, S. R.; AMAND, A. L. S. Responses of epilimnetic phytoplankton to experimental nutrient enrichment in three small seepage lakes. **Journal of Plankton Research**, v. 20, n. 10, p. 1889-1914. 1998.

DALU, T.; THACKERAY, Z.; LEUCI, R.; CLEGG, B.; CHARI, L. D.; NHIWATIWA, T. First results on bathymetry, stratification and physicochemical limnology of a small tropical African reservoir (Malilangwe, Zimbabwe). **Water SA**, v. 39, n. 1, p. 119-130, 2013.

DANTAS, Ê. W.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N. Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. **Limnologica**, v. 42, p. 72– 80, 2012.

DANTAS, S. P.; BRANCO, K. G. K.; BARRETO, L. L.; COSTA, L. R. L.; DAMANSCENO, M. F. B.; SALES, M. C. L. Análise da distribuição dos recursos hídricos do açude Orós: bacia hidrográfica do Jaguaribe/ce - Brasil. **Revista Geográfica da América Central**, volume especial p. 1-11, 2011.

DATSENKO, I. S.; SANTAELLA, S. T.; ARAÚJO, J. C. de. Peculiaridades do processo de eutrofização dos açudes da região semi-árida. In: Congresso Brasileiro de Saneamento e Engenharia Ambiental, 20, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. CD Rom

DOAN, P. T. K.; NÉMERY, J.; SCHMID, M.; GRATIOT, N. Eutrophication of turbid tropical reservoirs: Scenarios of evolution of the reservoir of Cointzio, Mexico. **Ecological Informatics**, v. 29, p. 192-205, 2015.

FEITOSA, L. S. **Aspectos limnológicos da pequena açudagem no semiárido: estudo de caso dos açudes do Assentamento 25 de Maio, Madalena, Ce**. Fortaleza: UFC, 2011. 121p.

FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F. D.; ANDRADE, E. M. D.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. D. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 506-515, 2015.

FERNÁNDEZ, J. R. A.; GARCÍA NIETO, P. J.; MUÑIZ, C. D.; ANTÓN, J. C. A Modeling eutrophication and risk prevention in a reservoir in the Northwest of Spain by using multivariate adaptive regression splines analysis. **Ecological Engineering**, v. 68, p. 80-89. 2014.

FERRÃO-FILHO, A. S. Bioacumulação de cianotoxinas e seus efeitos em organismos aquáticos. **Oecologia Brasiliensi**, v. 13, n. 2, p. 271-312. 2009.

FERRAZ, H. D. A. **Associação da ocorrência de cianobactérias às variações de parâmetros de qualidade da água em quatro bacias hidrográficas de minas gerais**. 2012, 95f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FERREIRA, K. C. D. **Qualidade de água em um reservatório da região semiárida**. 2014. 64f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2015.

FERREIRA, M. S. **Inferência espacial de clorofila a por redes neurais artificiais aplicadas a imagens multiespectrais e medidas tomadas *in situ***. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista, 2011. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas).

FIGUEIREDO, L. C. P.; SILVEIRA, R. S.; MELLO, W. C. DETERMINAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTES LÊNTICOS: relações entre o agente causador e a resposta biológica às alterações ambientais. **Revista Presença**, v. 1, n. 2, p. 78-94, 2015.

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

FINLAY, B. J. Global Dispersal of Free-Living Microbial Eukaryote Species. **Science**, v. 296, p. 1061-1063, 2002.

FRAGA, R. S.; TAVARES, V. E. Q.; TIMM, L. C.; ESTRELA, C. C.; BARTELS, G. K. Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçu-RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 1-4, p. 81-94, 2012.

FRANÇA, J. M. B.; WACHHOLZ, F.; CARNEIRO NETO, J. A.; PAULINO, W. D. Comportamento das variáveis qualitativas do açude Pereira de Miranda – Pentecoste/CE, no período de estiagem. **Geociências**, v. 32, n. 4, p. 586-599, 2013.

FRANCESCHINI, I. M.; BURLIGA, A. L.; REVIERS, B.; PRADO, J. F. & REZIG, S H. **Algas: uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica**. Porto Alegre: Artmed, 2010, 332p.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **MAPEAMENTO DOS ESPELHOS D'ÁGUA DO BRASIL**. Disponível em: http://www.funceme.br/documents/Projetos/espelhos_dagua.pdf Acesso em: 12 jan. 2016.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Redes de Monitoramento**. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso: fev. 2016.

GOMES, L. N. L. **Estudo da associação entre parâmetros bióticos e abióticos e a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores – MG**. 2008, 403f. Tese (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

HUTCHINSON, G.E. **A Treatise on Limnology: Geography Physics and Chemistry**. v.1, New York: John Wiley & Sons. 1957. 1015p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**, Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br> Acesso em: 15 jan. 2016

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP – Dados Históricos**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso: fev. 2016.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Anuário Estatístico do Ceará 2014**. <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2014/index.htm>. 14 out. 2015.

JARDIM, F. A.; SPERLING, E. V.; JARDIM, B. F. M.; ALMEIDA, K. C. B. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 19, n. 3, p. 207-218, 2014.

JOLLIFE, I. T. **Principal components analysis**. New York: Springer-Verlag, 1986.

JONES, J. G. **A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in fresh waters**. London: Fresh Waters Biological Association, 1979.

JUNG, K. Y.; LEE, K. L.; IM, T. H.; LEE, I. J.; KIM, S.; CHEON, S. U.; HAM, K. Y.; AHN, J. M. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. **Environmental Technology & Innovation**, v.5, p. 67-82, 2016.

KUTSER, T.; METSAMAA, L.; STROMBECK, N.; VAHTMAE, E. Monitoring cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 67, p. 303–312. 2006.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado em Ciência na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEE, C. S.; LEE, Y. C.; CHIANG, H. M. Abrupt state change of river water quality (turbidity): Effect of extreme rainfalls and typhoons. **Science of the Total Environment**, v. 557, p. 91-101, 2016.

LIMA, P. F.; SOUSA, M. S. R.; PORFÍRIO, A. F.; ALMEIDA, B. S.; FREIRE, R. H. F., SANTAELLA, S. T. Preliminary analysis on the use of Trophic State Indexes in a brazilian semiarid reservoir. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 37, n. 3, p. 309-318, 2015.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 437–445, 2014.

LOPES, F.B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013, 202f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MAHESHWARI, K.; VASHISTHA, J.; PAULOSE, P. V.; AGARWAL, T. Seasonal changes in phytoplankton community of lake Ramgarh, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 4, n. 11, p. 318-330, 2015.

MAIA, A. R. S. **Influência da sazonalidade climática no levantamento do uso e cobertura do solo, com o uso de geotecnologias, em uma bacia hidrográfica no semiárido**. 2015. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. **Environmental Conservation**, v. 29, p. 134-153, 2002.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil, 27 ed., Brasília, In: **Parcerias Estratégicas**. DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008. 361p.

MEDEIROS, L. C.; MATTOS, A.; LÜRLING M.; BECKER, V. Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. **Aquatic Ecology**, v. 49, p. 293-307, 2015.

MENESCAL, R. A.; VIANA, F. L.; FIGUEIREDO, N. N.; GONDIM FILHO, J. G. C. Gestão de recursos hídricos e a garantia do abastecimento humano de grandes aglomerados urbanos no semi-árido – O caso de Fortaleza. **RHBR – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 1, p.217, 2004.

MOLISANI, M. M.; BECKER, H. B.; BARROSO, H. S.; HIJO, C. A. G.; MONTE, T. M.; VASCONCELLOS, G. H.; LACERDA, L. D. The influence of Castanhão reservoir on nutriente and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral Jaguaribe river (CE, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 115-123, 2013.

MOURA, A. D. N.; FUENTES, E. V.; ARAGÃO, N. K. V.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N. Dinâmica fitoplanctônica relacionada às condições ambientais em reservatório de abastecimento público do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 592-599, 2010.

MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; DANTAS, Ê. W.; ARRUDA NETO, J. D. T. Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. **Acta Botanica Brasílica**, v. 21, n. 3, p. 641-648, 2007.

MOURA, A. N.; NASCIMENTO, E. C.; DANTAS, Ê. W. Temporal and spatial dynamics of phytoplankton near farm fish in eutrophic reservoir in Pernambuco, Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, n. 2, p. 581-597, 2012.

OLIVEIRA, A. M.; ARAÚJO, W. S.; COSTA, D. F. S. Serviços ecossistêmicos prestados por reservatórios no semiárido do Brasil. **Revista do CERES**, v. 1, n. 2, p. 36-43, 2015.

- OLIVEIRA, D. B. S. **O uso das tecnologias sociais hídricas na zona rural do semiárido paraibano: entre o combate a seca e a convivência com o semiárido**. 2013. 186f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- OLIVEIRA, F. H. P. C.; ARA, A. L. S. C.; MOREIRA, C. H. P.; LIRA, O. O.; PADILHA, M. R. F.; SHINOHARA, N. K. S. Seasonal changes of water quality in a tropical shallow and eutrophic reservoir in the metropolitan region of Recife (Pernambuco-Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 4, p. 1863-1872, 2014.
- OLIVEIRA, F. H. P. C.; ARA, A. L. S. C.; MOREIRA, C. H. P.; LIRA, O. O.; PADILHA, M. R. F.; SHINOHARA, N. K. S. Seasonal changes of water quality in a tropical shallow and eutrophic reservoir in the metropolitan region of Recife (Pernambuco-Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 4, p. 1863-1872, 2014.
- OLIVEIRA, F. H. P. C.; SILVA, J. D. B., COSTA, A. N. S. F.; RAMALHO, W. P.; MOREIRA, C. H. P.; CALAZANS, T. L. S. Cyanobacteria community in two tropical eutrophic reservoirs in northeastern Brazil. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 2, p. 169-176, 2015.
- PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 395-402, 2011.
- PAULA FILHO, F. J.; MARINS, R. V.; LACERDA, L. D. Natural and anthropogenic emissions of N and P to the Paraíba River Delta in NE Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, p. 34-44, 2015.
- PEDRALLI, G. Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudo. **Estudos de Biologia**, v. 26, p. 5-24. 1990.
- PEREIRA, L. D. A. **Saber ecológico: o fitoplâncton e nossas águas**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2013. 44p. Livro apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática como parte do trabalho de conclusão de curso.
- PERNET-COUDRIER, B.; QI, W.; LIU, H.; MÜLLER, B.; BERG, M. Sources and Pathways of Nutrients in the Semi-Arid Region of Beijing–Tianjin, China. **Environmental, Science & Technology**, n. 46, p. 5294–5301, 2012.
- PINTO, T. S.; BECKER, V. Diel dynamic of phytoplankton functional groups in a tropical water supply, Extremoz Lake, northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 4, p. 356-366, 2014.
- PRADO, R. B. **Análise espacial e temporal das alterações na qualidade da água do reservatório de Barra Bonita (SP) em função da dinâmica do uso da terra**. 2004. 197f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- RANGEL, L. M.; SOARES, M. C. S.; PAIVA, R.; SILVA, L. H. S. Morphology-based functional groups as effective indicators of phytoplankton dynamics in a tropical cyanobacteria-dominated transitional river–reservoir system. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 217-227, 2016.
- REGUEIRAS, A. V. B. **Comparação de métodos de identificação e quantificação de cianobactérias e suas toxinas na Albufeira do Torrão (Rio Tâmega)**. 2009. 127f.

Dissertação (Mestrado em Contaminação e Toxicologia Ambientais) - Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar e Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2009.

REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V.; KURK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.

RIGOSI, A.; RUEDA, F. J. Hydraulic control of short-term successional changes in the phytoplankton assemblage in stratified reservoirs. **Ecological Engineering**, v. 44, p. 216-226, 2012.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 176-187, 2016.

ROCHA, C. H. B.; SILVA, T. M.; FREITAS, F. A. Processos condicionantes de alterações em variáveis limnológicas: uma abordagem estatística na Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 131-138, 2016.

ROCHA, F. C.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B. Water quality index calculated from biological, physical and chemical attributes. **Environmental monitoring and assessment**, v.187, n.1, p.1-15, 2015.

ROCHA, F. C.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; PAULA FILHO, F. J.; COSTA FILHO, J. H.; SILVA, M. D. Physical-chemical determinant properties of biological communities in continental semi-arid waters. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, p. 1-15, 2016.

RODIER, J. *L'analyse de L'éaux; naturelles, eaux residuais, eaux de mer*. Paris: Dunod, 5 ed. v.1, 629p. 1975.

ROSSEL, V.; FUENTE, A. Assessing the link between environmental flow, hydropeaking operation and water quality of reservoirs. **Ecological Engineering**, v. 85, p. 26-38, 2015.

SALES, M. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO, H. A. Q.; CHAVES, L. C. G.; GOMES, F. E. F. Variação espacial e modelagem da salinidade das águas superficiais de reservatórios da bacia metropolitana do Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 354 - 365, 2014.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; PINTO, E. J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. S.; SOUZA, W. M., Tendência de índices pluviométricos na bacia do rio Capibaribe-PE e sua influência na gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 1002-1014, 2014.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 35-44, 2014.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p 733-742, 2008.

SILVA, A. P. C.; COSTA, I. A. S. Biomonitoring ecological status of two reservoirs of the Brazilian semi-arid using phytoplankton assemblages (Q index). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 1-14, 2015.

SILVA, M. D. **Diagnóstico da comunidade fitoplanctônica de um reservatório no semiárido nordestino**. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

SILVA, T.; KHAC V. T.; VINÇON-LEITE, B.; LEMAIRE, B.; GIANI, A.; FIGUEREDO, C. C.; TOSCANO, R.; VIANA V.; PETRUCCI, G.; SEIDL, M.; TASSIN B.; NASCIMENTO, N. Modelagem da dinâmica de cianobactérias integrada à modelagem hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Pampulha. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20. 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.

SUN, L.; LI, H.; WARD, M. N.; MONCUNILL, D. F. Climate variability and corn yields in semiarid Ceará, Brazil. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.46, n.2, p.226-240, 2007.

THOMANN, R. V. B.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. New York: Harper & Row, 1987.

THOMAS, I. A.; JORDAN, P.; MELLANDER, P. E.; FENTON, O.; SHINE, O.; Ó HUALLACHÁIN, D.; CREAMER, R.; MCDONALD, N.T.; DUNLOP, P.; MURPHY, P. N. C. Improving the identification of hydrologically sensitive areas using LiDAR DEMs for the delineation and mitigation of critical source areas of diffuse pollution. **Science of The Total Environment**, v. 556, p. 276-290, 2016.

TUNDISI, J. G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In: TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, IIE, 2003. 247p

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa. 2005. 248p.

VASCONCELOS JÚNIOR, F. C. **Pré-estação chuvosa e a estação chuvosa do norte do nordeste brasileiro**: aspectos interanuais, intrasazonais e extremos. 2014. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Acesso em: 17 ago. 2023.

VASCONCELOS V. M. Cyanobacteria toxins: Diversity and ecological effects. **Limnetica**. v. 20, n. 1, p. 45-58. 2001.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da região metropolitana de Fortaleza/CE. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 298-312, 2014.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da região metropolitana de Fortaleza/CE. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 298-312, 2014a.

- VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 402-407, 2014b.
- VIEIRA, P. C. S.; CARDOSO, M. M. L.; COSTA, I. A. S. Vertical and temporal dynamics of phytoplanktonic associations and the application of index assembly in tropical semi-arid eutrophic reservoir, northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 130-144, 2015.
- VON SPERLING, E. FERREIRA, A. C. S. GOMES, L. N. L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, v. 226, p. 169-174, 2008.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Volume 1: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, v. 2, 1996. 211 p.
- WALKER, D.; JAKOVLJEVIC, D.; SAVIC, D.; RADOVANOVIC, M. Multi-criterion water quality analysis of the Danube River in Serbia: A visualisation approach. **Water Research**. v. 79, p. 158–172, 2015.
- XU, E.; ZHANG, H. Aggregating land use quantity and intensity to link water quality in upper catchment of Miyun Reservoir. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 329-339, 2016.
- YANG, X., LIU, Q., FU, G., HE, Y., LUO, X., ZHENG, Z. Spatiotemporal patterns and source attribution of nitrogen load in a river basin with complex pollution sources. **Water research**, v. 94, p. 187-199, 2016.