



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

CHRISTIANE MARQUES RODRIGUES

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM SEDIMENTO DE RESERVATÓRIOS RASO
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

AREIA

2021

CHRISTIANE MARQUES RODRIGUES

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM SEDIMENTO DE RESERVATÓRIOS RASO
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Bacharelado em Química da
Universidade Federal da Paraíba – Centro de
Ciências Agrárias, em cumprimento às
exigências para obtenção do título de
Bacharel em Química.

ORIENTADOR: Prof. Dr^a. Luciana Gomes Barbosa

CO-ORIENTADOR: MSc. João Paulo de Oliveira Santos

AREIA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R696f Rodrigues, Christiane Marques.

Fracionamento de fósforo em sedimento de reservatórios
raso do semiárido brasileiro / Christiane Marques

Rodrigues. - Areia:UFPB/CCA, 2021.

33 f. : il.

Orientação: Luciana Gomes Barbosa.

Coorientação: João Paulo de Oliveira Santos.

Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Química. 2. Qualidade de água. 3. Translocação de
fósforo. 4. Escoamento de fósforo por sedimento. I.

Barbosa, Luciana Gomes. II. Santos, João Paulo de
Oliveira. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 54(02)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE QUÍMICA

DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aprovada em 24/04/2020.

**“FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DE RESERVATÓRIOS
RASOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO”**

Autor: **CHRISTIANE MARQUES RODRIGUES**

Banca Examinadora:



Luciana Gomes Barbosa

Prof^a. Dr^a. Luciana Gomes Barbosa
Orientador(a) – UFPB



Fátima dos Santos Silva

Ms. Fátima dos Santos Silva
Examinador(a) – UFPB



Kalline de Almeida Alves Carneiro

Dr^a. Kalline de Almeida Alves Carneiro
Examinador(a) – UFPB



Fátima dos Santos Silva

Bl^a. Fátima dos Santos Silva – Examinadora
PPGBIO/CCA/UFPB

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, que em sua excelentíssima bondade guiou-me até aqui, me dando forças para superar as adversidades encontradas.

Aos que amo, cada qual de uma maneira especial e que sempre estiveram ao meu lado, meus pais Antônio e Cristina, meu irmão Augusto, minha irmã Caroline e meu filho Arthur.

A minha tia Luciana Rodrigues pelo incentivo e grande ajuda com todo o seu conhecimento, minha avó Sebastiana e meu primo Thiago que sempre estiveram presentes.

A Ronaldo Maximino pelos momentos felizes vividos e por tanta compreensão.

Agradeço pelo carinho, amor, afeto, cuidado e zelo dedicados a mim durante esses anos. Tudo o que conquistei até hoje devo a vocês. GRATIDÃO

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pela oportunidade da vivência acadêmica e a alguns docentes que fizeram parte da minha formação, em especial aos professores Betania Hermenegildo, Dayse, Péricles e Sidney sem dúvidas, lembrarei saudosamente de vocês.

A Alaice (SIAG), que sempre me atendeu, independente de dia e hora, com toda sua atenção e boa vontade.

À minha orientadora Profa Dra. Luciana Gomes, como sou grata a você! Por seu acolhimento, sua bondade, ajuda, ensinamentos, conselhos, oportunidades, amizade, incentivo, sobretudo por seu lado humano. Por toda edificação!

Aos amigos Joao Paulo, e Joseilson pelo apoio, por toda contribuição em toda minha formação acadêmica.

Meus cunhados Katia Freire e Fernando Silva

Enfim, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O aporte excessivo de nutrientes, predominantemente fósforo e nitrogênio têm causado grandes problemas ambientais, dentre eles o processo de eutrofização. Nas regiões semiáridas o uso múltiplo de reservatórios artificiais , torna os mesmos vulneráveis a múltiplos processos associados a ações antrópicas tais como despejos domésticos e industriais bem como escoamento superficial do solo, aumentando a propensão a eutrofização artificial. A eutrofização ocasiona vários prejuízos econômicos e ambientais induzindo a perda de serviços ambientais, entre os quais abastecimento, manutenção da vida aquática e de atividades de turismo e lazer. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o fracionamento de Fósforo em sedimento de reservatórios raso do semiárido brasileiro. Foram analisados parâmetros físico-químicos da água e sedimento dos reservatórios, entre eles os teores de Fósforo Total e Ortofosfato da água , os teores de fósforo orgânico e Inorgânico no sedimento. O fracionamento do Fósforo Inorgânico também foi realizado, sendo determinados suas frações Apatítica e não Apatítica. Os reservatórios apresentaram águas quentes ($>25^{\circ}\text{C}$), com baixa transparência ($<0,4\text{ m}$), alcalinas ($\text{pH}>8.0$) e eutróficos (>54). Os sedimentos registraram teores de fósforo total superior a 1000 mg kg^{-1} , com predominância de fósforo inorgânico apatítico em todos os três reservatórios, indicando predominância de inerte e indisponível para coluna d'água. Apesar disto, os resultados encontrados atestam a vulnerabilidade ambiental a que esses ambientes estão submetidos, com estado trófico elevado , assim como baixa transparência, o que pode comprometer o uso das águas desses reservatórios para diversos fins.

Palavras-chave: qualidade de água; translocação de fósforo; escoamento de fósforo por sedimento.

ABSTRACT

In the middle of natural resources, water is the most important, as it is an essential element of life, as for all activities developed by man. Reservoirs have been significantly modified due to the multiple environmental impacts arising from human activities, both by direct means, through domestic and industrial dumping, as well as by indirect means, brought by rainwater through the surface runoff. Due to the multiple environmental impacts such as eutrophication, countless reservoirs and lakes in the world have already lost countless environmental services, from human supply, the maintenance of aquatic life and tourism and leisure activities. The objective of this work was to evaluate the fractionation of Phosphorus in sediment from shallow reservoirs in the Brazilian semiarid region . Physico-chemical parameters of the water in the monitored environments were analyzed. The Trophic State Index was determined, the total phosphorus and orthophosphate contents of the water in the monitored reservoirs were quantified, the total, organic and inorganic phosphorus contents in the sediment were quantified and the fractionation of the inorganic phosphorus was performed, determining its non-apatitic fractions. The reservoirs had hot water ($> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), turbid, with low values of transparency ($<0.4\text{ m}$), alkaline ($\text{pH} > 8.0$) and with high electrical conductivity and with high electrical conductivity. Due to the high concentrations of phosphorus in the water, above $30\text{ }\mu\text{g / L}$, the reservoirs were classified as strophic (> 54). The sediments registered levels of total phosphorus greater than 1000 mg kg^{-1} , with a predominance of apatitic inorganic phosphorus in all three reservoirs. The results found attest to the environmental vulnerability to which these environments are subjected, which can compromise the use of the waters of these reservoirs for different purposes.

Keywords: water quality; phosphorus translocation; phosphorus runoff by sediment.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Análise de Componentes Principais.....	23
---	----

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis físico-químicas da água dos reservatórios monitorados. Araruna, 2015.....21

Tabela 2. Variáveis químicas do sedimento dos reservatórios monitorados. Araruna, 2015.
.....22

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVO GERAL	10
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	Dinâmica do fósforo.....	10
3.2	Eutrofização artificial.....	12
3.3	Qualidade da água	12
3.4	Sedimento.....	13
4	MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1	Local do experimento e localização	15
4.2	Descrição da coleta e preparo das amostras de água e sedimento.....	16
4.2.1	Sedimento.....	16
4.2.2	Água	16
4.3	Índice de Estado Trófico (IET)	17
4.4	Preparo das amostras de Sedimento para Análise	17
4.5	Parâmetros Analisados no Sedimento	18
4.5.1	Fósforo Total.....	18
4.5.2	Fracionamento do Fósforo: Inorgânico e Orgânico.....	18
4.5.3	Fracionamento do Fósforo Inorgânico Não Apatítico - P_{nap} e do Fósforo Inorgânico Apatítico - P_{ap}	19
4.6	Análise Estatística	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6	CONCLUSÃO	25
7	REFERÊNCIAS	26

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um dos macronutrientes que apresenta uma influência crucial sobre as propriedades do ecossistema. O aporte excessivo de nutrientes, predominantemente o fósforo têm causado grandes problemas ambientais, como o processo de eutrofização. Um dos mais importantes impactos sob a qualidade de água é a eutrofização. Em condições naturais ou através de interferência humana, elevando o fluxo de nutrientes para o corpo hídrico, acelerando, assim, este processo. Entre as consequências, o crescimento excessivo de organismos aquáticos autotróficos, sobretudo algas planctônicas e macrófitas aquáticas (ARAÚJO, 2013).

Nas regiões semiáridas, o município de Araruna–PB está situado na Mesorregião do Agreste Paraibano do Estado da Paraíba e na Microrregião do Curimataú Oriental Paraibano uso múltiplo de reservatórios artificiais, torna os mesmos vulneráveis a múltiplos processos associados a ações antrópicas tais como despejos domésticos e industriais bem como escoamento superficial do solo, aumentando a propensão a eutrofização artificial.

Os reservatórios têm sido modificados de maneira significativa em função dos múltiplos problemas ambientais proveniente das atividades antrópicas, tanto por meios diretos, através de despejos domésticos e industriais, assim como por meios indiretos, através do escoamento superficial do solo pelas águas pluviais (SILVA, 2016).

A poluição de corpos hídricos é uma das consequências do despejo de efluentes domésticos e industriais.

Entre os recursos naturais, a água se constitui em um dos mais importantes, por ser um elemento essencial a todas as atividades desenvolvidas pelo homem. Nesse sentido, deve-se assegurar as fontes de água que atendam as demandas quantitativas e qualitativas, de maneira segura e confiável, para os diversos usos de qualquer comunidade (PIVELLI, 2005).

A água é um bem público e um recurso natural fundamental para a manutenção da vida. Por isso, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriada. Estas duas características estão diretamente ligadas, sendo a propriedade da água dependente da quantidade de água existente para dissolver, diluir e transportar substâncias benéficas e maléficas para os seres que dela fazem uso (BRAGA et al., 2005).

A escassez atual da água, resultante da ação sinérgica de atividades humanas em função do aumento demográfico exacerbado, dos seus múltiplos usos bem como de fatores associados as mudanças climáticas globais. A incidência de tais impactos amplia a incidência

de doenças de veiculação hídrica, produzindo estresse econômico e social gerando aumento das desigualdades entre regiões e países colocando em risco a manutenção da vida no planeta (TUNDISI, 2005; RIBEIRO, 2008).

Assim como, a água sofre influência de ações do homem através de descartes de efluentes no meio ambiente, o escoamento superficial de nutrientes influencia os sedimentos de rios e lagos tornando um compartimento de avaliação de contaminação em ambientes aquáticos, devido a acumulação e potencial liberação de nutrientes para coluna d'água representando uma fonte potencial de eutrofização para o ecossistema (QUINÁGLIA, 2006).

A composição do sedimento é resultado de contínuos processos de intemperismo e erosão sobre minerais e rochas do entorno que desprendem constantemente pequenas partículas deste material, sendo posteriormente carregados por vento, gelo e água, podendo arrastar consigo metais e outros compostos presentes na água no ar e no solo, atingindo frequentemente os corpos d'água (GUIMARÃES, 2011).

Assim, a presente pesquisa, objetivou avaliar o Fracionamento de Fósforo em Sedimento de Reservatórios Raso do Semiárido Brasileiro.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o fracionamento de Fósforo em sedimento de reservatórios raso do semiárido Brasileiro

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Dinâmica do fósforo

O fósforo presente nas águas é assimilado pelos organismos aquáticos, principalmente os produtores primários, sob a forma de fósforo inorgânico dissolvido (EMÍDIO, 2012)

De uma maneira simples, o ciclo do fósforo em águas continentais através da liberação do fósforo da rocha de origem por intemperismo e erosão natural e/ou pela remobilização de solos e sedimentos através dos diversos usos pelo homem. Uma vez liberado, o fósforo chega aos corpos aquáticos continentais por infiltração e lixiviação pelas águas das chuvas (referência).

Na natureza o fósforo encontra-se em três formas de fosfato: 1) ortofosfato - forma iônica, solúvel e disponível para os produtores primários; 2) polifosfatos - comumente adsorvidos às partículas do solo; e 3) fosfatos organicamente ligados - que estão presente na matéria orgânica (SILVA, 2018). Os fosfatos organicamente ligados e os polifosfato são formas de fósforo particuladas e só representam alguma fonte de nutriente para os produtores primários a médio e longo prazo. Às formas de fósforo apresentam dinâmica complexa em relação aos sedimentos e à coluna d'água, dependente dos processos físicos, químicos e biológicos dominantes, associados as características morfométricas dos reservatórios e que interagem fortemente com o tempo de residência do fluxo de água e com os fatores meteorológicos. Os efeitos decorrentes dessas inter-relações estabelecem o estado trófico desse sistema aquático (FRANZEN, 2009).

O fósforo no sedimento é diretamente ligado pela concentração de oxigênio presente na água de contato. Desta maneira, se a coluna d'água for aeróbica, o fósforo é precipitado no sedimento, enquanto que se esta for anaeróbica, o fósforo é liberado novamente para a coluna d'água (LIBES, 1992).

O ciclo do fósforo é determinado pela influência de processos biológicos e geoquímicos, como adsorção-dessorção e precipitação-dissolução. A ocorrência de um destes processos depende de fatores físicos como entrada de nutrientes, turbidez, tempo de residência e a ocorrência de estratificação na coluna d'água (DE JONGE et al., 2002).

O fósforo pode passar através de vários níveis tróficos antes de voltar ao sedimento, onde são decompostos por bactérias e fungos, reciclando-se em uma escala de tempo relativamente curto. Neste caso, ocorre liberação de fósforo para o meio sob a forma inorgânica (ESTEVES, 1998). Parte do fósforo presente nos detritos é liberada ainda na zona eufótica, antes desta fração ser sedimentada. Este fósforo é proveniente principalmente da fração orgânica, que é rapidamente decomposta pelos microrganismos e reassimilado pela biota na coluna d'água (BAUMGARTEM et al., 2003).

Constituindo-se verdadeiros arquivos de informações de natureza física, química e biológica, uma vez que as camadas são depositadas temporal e sequencialmente (MOZETO, 2004), a retenção ou liberação do nutriente a partir do sedimento encontram-se altamente correlacionadas às condições de oxirredução na interface água-sedimento, ao pH, temperatura e atividade microbiana (OLILA & REDDY, 1997).

Na eutrofização, a liberação do fósforo do sedimento para a coluna de água pode contribuir em intensidades iguais, ou até mesmo superiores, na contribuição externa de

fósforo. Esta liberação do fósforo pode reduzir a capacidade de autodepuração e a restauração de lagos, mesmo quando são tomadas medidas para reduzir o aporte da carga de nutrientes (BOERS et al., 1998).

3.2 Eutrofização artificial

Entende-se por eutrofização o processo pelo qual os ambientes aquáticos passam por um processo de enriquecimento artificial de nutrientes, principalmente do fósforo e do nitrogênio, os quais são fundamentais para o crescimento do fitoplâncton (microalgas e cianobactérias) e de macrófitas (plantas aquáticas) (LOPES, 2015).

Devido as consequências da eutrofização artificial, inúmeros reservatórios e lagos no mundo já perderam a capacidade de abastecimento, manutenção da vida aquática e de lazer (VIDAL, 2014). Diversos efeitos negativos são induzidos através da utilização de reservatórios que atuam como coletores de descargas pontuais e difusas, responsáveis pela redução da qualidade da água e, consequente simplificação da sua estrutura trófica (Duarte e Vieira, 2009),.

Neste cenário de degradação dos recursos hídricos, se faz necessário estabelecer medidas, como análise da qualidade da água, mecanismos reguladores de controle da poluição e gerenciamento de recursos, aperfeiçoando o monitoramento dos corpos aquáticos (WU et al., 2018; SANTANA et al., 2018).

O estado trófico dos ecossistemas aquáticos normalmente é relacionado a concentração do fósforo na água (KAISERLI et al., 2002; ANTUNES et al., 2008; SANTOS 2018), sendo os processos de retenção e liberação dos sedimentos críticos para controle e monitoramento da eutrofização. Os processos de retenção e liberação sujeitam-se as características do meio, tais como modificações nas propriedades físico-químicas, sobretudo pH, potencial de oxirredução, teores de ferro, matéria orgânica e oxigênio dissolvido (SANTOS 2018), propiciando circulação e entrada desse nutriente para a coluna de água (FRANZEN et al., 2010).

3.3 Qualidade da água

A característica da água é regularmente estabelecida pela mensuração de seus fatores físicos, químicos e biológicos. O uso e ocupação do solo da bacia de drenagem e o objetivo do plano de monitoramento são particularidades importantes a serem considerados na

escolha das variáveis a serem monitoradas sistematicamente. A partir da análise destas variáveis impactos ambientais podem ser identificados quando valores superiores aos estabelecidos são identificados (WEINBERG, 2013).

No Brasil, a regulação e classificação de corpos d'água e as condições de qualidade de água estão previstos na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357, de 17 de março de 2005.

3.4 Sedimento

Os sedimentos funcionam como principal indicador de nutrientes para a coluna d'água, Em algumas situações, é possível que esse estoque de nutrientes nos sedimentos alcance uma concentração tão alta que exceda a sua capacidade de retenção, sendo remobilizados de volta para a coluna d'água. Este processo é outro critério para análise da concentração dos nutrientes no sedimento e do seu potencial de remobilização para a coluna d'água (WARKEN et al., 2002). Portanto, a determinação da relação entre a composição dos sedimentos e o fósforo a ele agregado é relevante na avaliação do potencial deste compartimento em liberar fósforo para a fase aquosa (PROTAZIO et al., 2004). As pesquisas relacionados aos teores de fósforo nos sedimentos geralmente abrange apenas a determinação de fósforo total, que não provê as indicações reais sobre o nível de estado trófico do ecossistema aquático e principalmente do real potencial de subsídios do compartimento sedimentar para o processo de eutrofização (JUN; JIANTONG; YONGDING, 2008).

O entendimento das formas orgânicas e inorgânicas do fósforo em sedimentos e de suas próprias reatividades e mobilidades, fornecem importantes informações sobre seu comportamento biogeoquímico. A partir da compreensão das formas em que o fósforo se encontra, poderemos discutir seu potencial de remobilização dos sedimentos para a coluna d'água (PROTAZIO et al., 2004).

Segundo Ipiranga (2016), os sedimentos de ambientes lênticos, muitas vezes, apresentam grande quantidade de lama por causa dos processos de sedimentação que levam à formação de turbidez máxima, ou seja, o barramento do curso de rios, como observado em reservatórios construídos no semiárido, aprimora a suspensão de partículas menores que se

unem na coluna de água, formando flocos de lama e promovendo um aumento de partículas em suspensão. Os fatores físicos, tais como, intensidade, velocidade das correntes de água e a profundidade da coluna de água somados a ação das chuvas condicionam a ocorrência de eventos de mobilização desse sedimento, podendo haver quebra de flocos grandes em partículas menores, por meio das condições hidrodinâmicas de turbulência presentes no ecossistema aquático (PEJRUP, 2010)

A conservação de sedimentos nos reservatórios, ou seja, sua não ressuspensão estão associados as alterações climatológicas por meio de variabilidades espacial e temporal de cada região (Britto 2008). A precipitação pluviométrica e o vento são os fundamentais fatores atuantes nos corpos hídricos tropicais, causando turbulência na coluna de água e podendo ressuspender os sedimentos diminuindo a transparência da água, a radiação subaquática e potencialmente aumentando a produção primária fitoplanctônica de espécies mais adaptadas ao clima de luz subaquático limitante (MALLASEN, 2018).

Fenômenos de ressuspensão nos sedimentos têm grande importância nos processos que influenciam na dinâmica de liberação ou precipitação de íons para a coluna de água. A ação dos ventos é a principal causadora desses eventos nos corpos hídricos atuando assim, na qualidade da água dos ecossistemas aquáticos, se contrapostas a condições estáticas, dado que, esses eventos contribuem na reoxigenação na coluna de água e tendem a sedimentar o fósforo reativo, devido à junção de suas partículas com alumínio, ferro, matéria orgânica e com o próprio oxigênio dissolvido (DAPENG et al., 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento e localização

As amostragens das coletas das áreas de estudo foram realizadas nos reservatórios de Anafê, Caveira da Onça e Limão, localizados no município de Araruna (Figura 1).

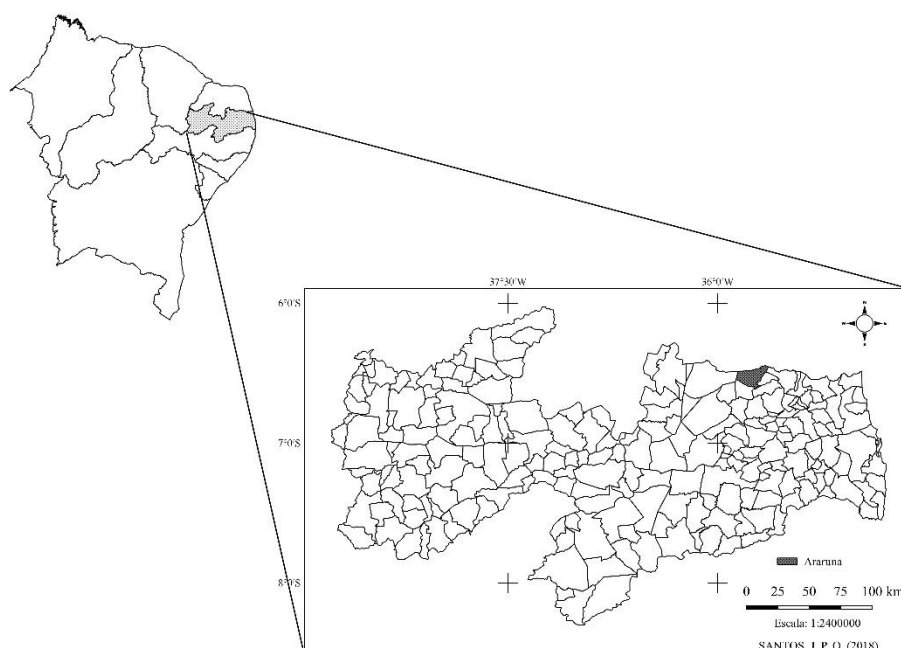


Figura 1 – Localização do município de Araruna, Paraíba.

O município de Araruna–PB está situado na Mesorregião do Agreste Paraibano do Estado da Paraíba e na Microrregião do Curimataú Oriental Paraibano, com uma área de aproximadamente de 246 km² da qual corresponde a 0,4354% do Estado. O município está situado a uma altitude de aproximadamente 580 m e sua distância até a capital são de 115,0473 Km., tendo acesso tanto pela BR 230/BR como pela 104/PB. Em relação ao potencial hídrico, o município está inserido dentro dos domínios hidrográficos das bacias dos rios Jacu e Curimataú, sendo que seu potencial tributário é o rio Calabouço e os corpos de acumulação principais são o Açude do Limão e a Lagoa D’Anta. Em relação aos principais cursos de d’ água da cidade são caracterizados no regime de escoamento como intermitente e a drenagem como dendrítica. O regime climático é quente, com chuvas de inverno, sendo o período chuvoso de fevereiro a agosto e a precipitação média anual da ordem de 750mm Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013),. No que se refere à geologia, o

município apresenta três tipos de unidades litoestratigráficas Cenozóico, Neoproterozóico e Paleoproterozóico

4.2 Descrição da coleta e preparo das amostras de água e sedimento

As coletas de água e sedimentos foram realizadas no mês de Junho no ano de 2015, na subsuperfície da água e no sedimento superficial.

4.2.1 Sedimento

A amostragem do sedimento dos reservatórios estudados foi realizada com auxílio de um amostrador confeccionado em tubo de PVC rígido de 100 mm de diâmetro interno, sendo coletadas amostras simples dos primeiros cinco centímetros (5 cm) do sedimento superficial. Os pontos para coleta de sedimento foram selecionados em função do uso e ocupação do solo predominante na região de entorno, considerando uma área pristina ou de referência, sob vegetação preservada.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos, previamente higienizados segundo procedimentos da CETESB (2011). Os recipientes destinados à análise de fósforo foram imersos em solução de HCl 10% (v/v), por 48 horas, sendo posteriormente enxaguados com água destilada. Em seguida, todas as amostras foram congeladas a 4°C até o momento do processamento.

4.2.2 Água

As amostras de água foram coletadas no mesmo ponto do sedimento, através de garrafas de polietileno com capacidade para armazenamento de 1 L de água. As mesmas foram imersas em solução de HCl 10% (v/v), por 48 horas antes da amostragem, sendo posteriormente enxaguados com água destilada. Análises de Fósforo Total e Ortofosfato na Água

As análises de fósforo total e ortofosfato da água foram realizadas segundo a metodologia descrita por APHA (1998) denominada como “método do ácido ascórbico”, e

consiste na reação de complexação do ortofosfato pelo molibdato em meio ácido sendo catalisada pelo antimônio, com formação de ácido fosfomolibdico, que tem sua redução pelo ácido ascórbico, ocasionando o chamado azul de molibdênio cuja constituição é irregular. A intensidade da cor azul é proporcionado à quantidade de fosfato primeiramente incorporada ao heteropoliácido (MARUCHI, 2005). Para indicação do fósforo total a amostra foi submetida à digestão com persulfato de potássio, e preliminarmente filtrada em filtros de fibra de vidro.

4.3 Índice de Estado Trófico (IET)

Para o cálculo do IET foi utilizado o índice de CARLSON (1977), modificado para ambientes tropicais por Toledo Júnior et al. (1983). O índice se baseia nos teores de fósforo total na água. De acordo com (RIBEIRO, 2007) esse índice tem sido usado largamente para classificação de lagos e reservatórios, pela sua objetividade e simplicidade.

A expressão utilizada será a seguinte:

$$\text{IET PT} = 10 \{6 - [\ln (80,32 / \text{PT}) / \ln 2]\}$$

Onde:

IET PT = índice de estado trófico para fósforo;

PT = concentração de fósforo total, medida à superfície da água ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Conforme os valores encontrados na expressão do IET, o corpo aquático pode ser classificado como:

- Oligotrófico: $\text{IET} \leq 44$
- Mesotrófico: $44 < \text{IET} \leq 54$
- Eutrófico: $54 < \text{IET} \leq 74$
- Hipereutrófico: $\text{IET} > 74$.

4.4 Preparo das amostras de Sedimento para Análise

As amostras foram descongeladas e em seguida secas a 60 °C até peso constante. Após secagem, as amostras foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm retirando-se o material mais grosseiro.

Para realização das análises dos teores de Fósforo total e suas frações uma alíquota de aproximadamente 10 g da amostra foi macerada em gral de porcelana e passada em peneira

de 0,177 mm de abertura, sendo armazenadas em recipientes de polietileno até o momento da análise.

4.5 Parâmetros Analisados no Sedimento

Após o processamento da amostra foram determinados o potencial hidrogeniônico (pH), e os teores de fósforo total, fósforo orgânico, fósforo inorgânico, fósforo inorgânico não apatítico - PINA (ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio) e fósforo inorgânico apatítico - PA (Fósforo ligado ao cálcio) , foram realizadas segundo a metodologia descrita por APHA (1998).

4.5.1 Fósforo Total

O Fósforo total (PT) foi determinado a partir do somatório das frações de fósforo orgânico e inorgânico.

4.5.2 Fracionamento do Fósforo: Inorgânico e Orgânico

Para a obtenção do teor fósforo inorgânico (Pi), foi pesado 0,2 g da amostra de sedimento, em seguida transferida para tubos falcon com capacidade de 50 mL. Após a pesagem foi adicionado 20 mL de HCl 1 M, sendo submetida à agitação por 16 h a 125 rpm, posteriormente foi realizada a centrifugação a 4.000 rpm por 5 minutos. Foi recolhida uma alíquota do extrato que foi neutralizada e diluída a um volume fixo de 20 mL. Nesse extrato se quantificou o teor de fósforo inorgânico do sedimento através do método do ácido ascórbico.

Com o resíduo da etapa anterior foi quantificado o teor de fósforo orgânico. Após a retirada do extrato utilizado na determinação de Pi, o resíduo foi lavado com água deionizada, em seguida será centrifugado a 4000 rpm durante 5 minutos, esse procedimento foi repetido mais duas vezes. O extrato foi descartado, o resíduo transferido para cadinhos de porcelana, sendo calcinados a 450°C por 3 horas. As cinzas foram transferidas para tubos falcon com capacidade de 50 mL, nos quais foi adicionado 20 mL de HCl 1 M, sendo submetida à agitação por 16 h a 125 rpm, posteriormente foi realizada a centrifugação a 4.000 rpm por 5 minutos. Recolheu-se uma alíquota do extrato que foi neutralizada e diluída

a um volume fixo de 20 mL. Nesse extrato se quantificou o teor de fósforo orgânico do sedimento através do método do ácido ascórbico

4.5.3 Fracionamento do Fósforo Inorgânico Não Apatítico - P_{NAP} e do Fósforo Inorgânico Apatítico - P_{AP} .

Para o fracionamento do fósforo inorgânico P_{NAP} e P_{AP} , foi pesado 0,2 g da amostra de sedimento, em seguida transferida para tubos falcon com capacidade de 50 mL. Após a pesagem foi adicionado 20 mL de NaOH 1 M, sendo submetida à agitação por 16 h a 125 rpm, posteriormente realizou-se a centrifugação a 4.000 rpm por 15 minutos, separando-se o extrato do resíduo que foi reservado para quantificação do teor de P_{AP} . Em seguida retirou-se uma alíquota de 10 mL desse extrato, transferindo-se para tubos falcon de 15 mL, nos quais foram adicionados 4 mL de HCl 3,5 M, sendo agitados por 16 h a 125 rpm, centrifugado por 15 minutos a 4.000 rpm. Uma alíquota desse extrato foi recolhida, neutralizada e diluída a um volume fixo de 20 mL. Nesse extrato se quantificou o teor de P_{NAP} , através do método do ácido ascórbico

O resíduo reservado anteriormente será lavado com 12 mL de NaCl 1M, em seguida centrifugado a 4000 rpm durante 5 minutos, esse procedimento foi repetido mais duas vezes, descartando-se o extrato. Após a lavagem, adicionou-se 20 mL de HCl 1M, agitando-se por 16 horas a 125 rpm, sendo posteriormente centrifugada a 4.000 rpm por 15 minutos. Recolheu-se uma alíquota desse extrato, sendo neutralizada e diluída a um volume fixo de 20 mL. Nesse extrato quantificou-se o teor de P_{AP} , através do método do ácido ascórbico

4.6 Análise Estatística

Foi realizada a análise descritiva de componentes principais (ACP) das variáveis físico-químicas da água (transparência, IET, condutividade elétrica, pH, fósforo total da água e ortofosfato) e das variáveis do sedimento (pH, fósforo total, fósforo orgânico, fósforo inorgânico apatítico e fósforo inorgânico não apatítico). A matriz de correlação foi realizada para estabelecer relação entre as variáveis. O programa utilizado foi o R (The R project for Statistical Computing). (R Core Team 2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo os reservatórios apresentaram valores de águas quentes ($>25\text{ }^{\circ}\text{C}$), com baixos valores de transparência ($<0,4\text{ m}$), alcalinas ($\text{pH}>8.0$) e com elevada condutividade elétrica.

Os teores de de fósforo na água foram superiores a $30\text{ }\mu\text{g/L}$ (Tabela 1), estando assim em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 para corpos d'água classe II (Brasil, 2005). Deve-se atentar para os altos valores desse nutriente para o reservatório Limão ($252.7\text{ }\mu\text{g/L}$), o que configura elevada propensão ao estabelecimento do processo de eutrofização.

O fósforo é um elemento fundamental para a produção da matéria orgânica e atua como fator restritivo na produtividade primária de ecossistemas aquáticos, possuindo um papel considerável no desenvolvimento do processo de eutrofização artificial, gerando alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, com aumento expressivo da sua produtividade e biodiversidade (SILVA, 2019). Devido à baixa solubilidade natural do fósforo, os processos que envolvem a sua ciclagem junto aos sedimentos em sistemas aquáticos são significativos para avaliar seus impactos ambientais e pode ser visto como um nutriente importante também para a manutenção da vida, pois é empregado pelos organismos fotossintéticos na síntese de seus tecidos (SMIL, 2000; BATURIN, 2003; FRANZEN, 2009; SILVA, 2019).

Embora o reservatório Limão tenha apresentado valores de fósforo total elevados, estes foram inferiores aos observados no reservatório de Anafê (Tabela 1). Esses resultados possivelmente estão associados a época de coleta, período que é caracterizado por bons índices pluviométricos na região desses reservatórios, o que implica em um maior aporte de água e de material orgânico, de modo que embora exista uma tendência para o aumento da fração total de fósforo, com a fração orgânica se sobrepõem a fração inorgânica e prontamente disponível.

Tabela 1. Variáveis físico-químicas da água dos reservatórios monitorados. Araruna, 2015.

Reservatório	PT (µg/L)	Porto (µg/L)	IET	Transp. (m)	pH	Cond. (µs/cm)	T (°C)
Anafê	88.9	78.2	61.4	0.35	8.79	5820	25.7
Limão	252.7	34.6	76.5	0.27	9.01	3892	27.2
Caveira da Onça	39.7	25.9	49.8	0.18	8.48	380	26.4

PT: Fósforo Total; Porto: Ortofosfato; IET: Índice de Estado Trófico; Transp.: Transparência da Água; pH: Potencial Hidrogeniônico; Cond.: Condutividade Elétrica; TA: Temperatura da Água

Influenciados pelos valores de fósforo total, os reservatórios foram classificados como eutróficos (>54). O estabelecimento do estado trófico de um corpo hídrico é primordial (BARRETO, 2014) pois reservatórios eutróficos potencialmente apresentam alto nível de produtividade e são ricos em matéria orgânica e elementos minerais (nutrientes), tanto em suspensão bem como na região bentônica (MANSOR, 2005).

A temperatura é um padrão que influencia a tensão superficial e a viscosidade da água. Durante o processo de tratamento, esse parâmetro pode afetar a fluoretação, solubilidade e ionização das substâncias de fins coagulantes e a profilaxia. A alteração de temperatura em corpos hídricos é frequente ao longo do dia e de acordo com as estações do ano, no entanto, mudanças severas podem ocorrer com o descarte de dejetos industriais de temperaturas elevadas, podendo causar sérias irregularidades às fontes hídricas (FUNASA, 2013; ANA, 2017b). Para Silva (2016) as baixas concentrações de ortofosfato observadas nas camadas superficiais podem estar relacionadas com a elevação da temperatura da água que interfere diretamente o metabolismo dos organismos presentes no ecossistema, fazendo com que esse nutriente seja ligeiramente assimilado e incorporado em sua biomassa.

De acordo com Schuster & Srinivasan (2004), a elevada demanda por recursos hídricos na região semiárida do nordeste brasileiro é uma prática de alto impacto devido à baixa pluviosidade e irregular distribuição espacial e temporal, além da composição geológica regional não favorável à retenção de grandes volumes de água das chuvas.

O sedimento dos reservatórios apresentou teores de fósforo total superiores a 1000 mg kg⁻¹ (Tabela 2), indicativos do uso especialmente associado a pecuária, agricultura extensiva e ausência de cobertura de solo no entorno. Entre reservatórios, observou-se predominância de fósforo inorgânico, que chegou a 3316.8 mg kg⁻¹ no reservatório Limão.

Em sistemas com dominância de agricultura, o fósforo de origem antrópica pode ser encontrado principalmente nas formas inorgânicas, devido ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos nos solos, como o dihidrogenofosfato de cálcio $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, demasiadamente solúvel em água, ou pelas emissões de efluentes urbanos, que abrange polifosfatos dos produtos de limpeza e esgotamentos sanitários não tratados. Deste modo, a quantidade de fósforo adicionada pode transcender a capacidade de adsorção dos solos, e resultar no seu transporte para águas superficiais e sub superficiais, com alto risco de eutrofização (ADELI et al., 2003).

Segundo Paula Filho (2004), o fósforo encontra-se na fração inorgânico ligado aos óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e manganês, vinculado ao cálcio e material orgânico. A soma destas fases reproduz o fósforo total. Estas frações podem ser dispersas dos sedimentos para a coluna de água. Por conseguinte, a concentração total é insuficiente para analisar possível impacto deste nutriente em corpos aquáticos, razão pela qual foram elaborados métodos de fracionamento.

Tabela 2. Variáveis químicas do sedimento dos reservatórios monitorados. Araruna, 2015.

Reservatório	PTs (mg kg^{-1})	POs (mg kg^{-1})	PIs (mg kg^{-1})	PA (mg kg^{-1})	PINA (mg kg^{-1})
Anafê	1363.4	174.9	1188.5	575.5	594.2
Limão	3597.6	280.8	3316.8	2150.7	789.9
Caveira da Onça	1942.1	56.7	1885.4	1181.4	427.3

PTs: Fósforo Total do Sedimento; POs: Fósforo Orgânico do Sedimento; PIs: Fósforo Inorgânico do Sedimento; PIA: Fósforo Inorgânico Apatítico; PINA: Fósforo Inorgânico Não Apatítico.

O fracionamento do fósforo inorgânico indicou a predominância do fósforo inorgânico apatítico em todos os três reservatórios. O fósforo na forma inorgânica (Pi) equivale às frações ligadas aos óxidos /hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, agregado ao cálcio e material orgânico (NUNES, 2013). Todavia, nem todas as formas estão disponíveis, estando a fração ligada ao cálcio ou apatítico (Pa) estável e inerte.

O reservatório Limão apresentou valores de fósforo inorgânico não apatítico de 789.9 mg kg^{-1} . Quanto ao fracionamento inorgânico, o fósforo não-apatita (PNAP) está associado a fração do fósforo ligado a ferro e alumínio, que representa em grande parte os íons de ortofosfatos de origem antropogênica adsorvidos sobre os hidróxidos de ferro e alumínio, com os quais formam complexos (GACHTER et al., 1998).

as concentrações de fósforo da água e do sedimento, indicando altas concentrações de nutrientes e condições eutróficas, influenciando consequentemente a qualidade de água dos reservatórios. Resultados similares de P total foram encontrados por Lima et al., 2015, mostrando que na maior parte da região do nordeste os valores de P são superiores que 100 µg/L.

Os teores de fósforo total encontrados nessa pesquisa são baixos, comparados a maioria dos trabalhos estudados da região Nordeste, onde valores superiores a 100 µg/L são comuns (FREITAS et al., 2011; DANTAS et al., 2012; ESKINAZI-SANT'ANNA, et al., 2013; BEZERRA et al., 2014; LIMA et al., 2015). Boa parte desses valores elevados se deve a ação antrópica nos arredores desses reservatórios visto que a detecção da influência humana sobre o processo de eutrofização e mudanças no estado trófico, interferem a qualidade da água usada para fins de abastecimento (CHAVES et al., 2013). Além do mais, em áreas com grandes taxas de evaporação e precipitações irregulares o quadro tende a se intensificar.

6 CONCLUSÃO

- ✓ Os reservatórios estudados apresentaram valores superiores de água estando assim em desconformidade com o que a Resolução CONAMA nº357 estabelece para corpos de água classe II.
- ✓ As frações de fósforo inorgânico apatítico nos sedimentos foram predominantes em todos os três reservatórios, com alto teores de fósforo total, sendo esta uma fração inerte e não disponível para a coluna d'água, este possível indicativo pode se referir as características estróficas de tais sedimentos apresentaram uma proporção de fósforo retida e não disponível o que reduz a vulnerabilidade de ressuspensão de fósforo apesar da reduzida profundidade dos reservatórios.
- ✓ A vulnerabilidade ambiental a que esses ambientes estão submetidos foram detectados em todo reservatórios, em decorrência de atividades pecuárias e agrícolas no entorno dos mesmo, ocorrendo a translocação do fósforo para esses reservatórios, que gera um levado estado trófico, assim como baixa transparência, podendo comprometer o uso das águas desses reservatórios para diversos fins, dentre eles, o de próprio consumo para a sociedade.

7 REFERÊNCIAS

- ADELI, A.; VARGO, J. J.; ROWE, D. E. **Swine effluent irrigation rate and timng effects on Bermudagrass growt, nitrogen and phsphorus utilization, and residual soil nitrogen.** *Journal of Environmental Quality*, v.32, p.681-686, 2003. Disponível em: http://tga.blv.ifmt.edu.br/media/filer_public/f2/9c/f29c9195-80db-4121-a8be-604c7dad2b1f/lucimeire_tcc__pdf.pdf. Acesso em : 21/03/2020
- ALVES, W. S. et al. Avaliação da Qualidade da Água e Estado Trófico do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde – GO, Brasil. **Geociências**, v. 36, n. 1, p. 13-29, 2017
- ANA – **AGÊNCIA NACONAL DE ÁGUAS**. Água subterrânea. 2017. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/aguasubterranea>. Acesso em: 09 Abr. 2020.
- ANDRADE, G. R. P. **Argilominerais em solos de manguezais da costa brasileira**. 2010. 187f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2010. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17639/1/2014_tese_cclmoreira.pdf Acesso em 09 Abr. 2020
- ANTUNES, M.; DILLON, D. B.; CRESPO, J. S.; GIOVANELA, M. Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos e do Teor de Metais em Amostras de Sedimento de uma Microbacia Gaúcha. **Geochimica Brasiliensis**, v. 22, n. 3, p. 178-188, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271443331_Avaliacao_dos_parametros_fisicoquimicos_e_do_teor_de_metais_em_amostras_de_sedimento_de_uma_microbacia_gaucha: Acesso em 09 Abr. 2020.
- BARBOSA, B. C. et al. Avaliação da Qualidade da Água de um Trecho do Rio Cocó sob Possível Influência do Lixão Desativado do Jangurussu Fortaleza/CE. **Conex. Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 26-40, 2012. Disponível em: <http://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/486> Acesso em 09 Abr. 2020
- BATURIN, G. N. **Phosphorus cycle in the ocean.** *Lithology and Mineral Resources.*, v. 38, n. 2, p. 101-119, 2003 Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1023499908601> Acesso em: 12 Abr. 2020
- BEZERRA, A.F.M.; BECKER, V.; MATTOS, A. Balanço de Massa de Fósforo Total e o Estado Trófico em Açudes do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19, n. 2, p. 67-76, 2014.
- Braga, B., et al. **Introdução a Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2º Edição. São Paulo, 2005.
- 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 Limnológica Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2015.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA**. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005 Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747> Acesso em 17 Abr. 2020.

BRITTO, F.P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M.. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista brasileira de climatologia**, v. 3, 2008

CAO, X.; WANG, J.; HE, J.; LUO, X. ZHENG. **Phosphorus mobility among sediments, water and cyanobacteria enhanced by cyanobacteria blooms in eutrophic Lake Dianchi. Environmental Pollution**, v. 219, p. 580-587, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27318542> Acesso em 17 Abr. 2020

CAGOL, L. et al. Concentrações letais de fósforo na água para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Iguazu**, v. 5, n. 3, p. 71-82. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312192374_Concentracoes_letais_de_fosforo_na_gua_para_tilapia_do_Nilo_Oreochromis_niloticus Acesso em: 17 Abr. 2020.

CHAO, W.; JIN, Q.; ZHI-YONG, G.; LI, Z.; XIAO-CHEN, L. **Vertical Distributions of Phosphorus Fractions in Sediments of Three Typical Shallow Urban Lakes in PR China. Polish Journal of Environmental Studies**, v. 17, n. 1, 2008. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6120> Acesso em 17 Abr. 2020

CHAVES, F. I. B.; LIMA, P. F.; LEITÃO, R. C.; PAULINO, W. D. SANTAELLA, S. T. Influence of rainfall on the trophic status of a Brazilian semiarid reservoir. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 35, n. 4, p. 505-511, 2013.

CUNHA, L. C. D.; WASSERMAN, J. C. Relationships between nutrients and macroalgal biomass in a brazilian coastal lagoon: The impact of a lock construction. **Chemistry and Ecology**, v. 19, n. 4, p. 283– 298, 2003. Disponível em: <http://www.oads.org.br/associados/4/trabalhos/Relationship%20betwee%20nutrients%20CU NHA%20et%20al%202003.pdf> Acesso em 14 Abr.2020

DANTAS, E.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.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E.M.; MENEZES, R.; COSTA, I.S., ARAÚJO, M.; PANOSSO, R.; ATTAYDE, J.L. Zooplankton assemblages in eutrophic reservoirs of the Brazilian semiarid. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 37-52, 2013.

DE OLIVEIRA, Lucimeire Lima; SANTO CORINGA, Josias do Espírito; CORINGA, Elaine de Arruda Oliveira. **Fracionamento de fósforo em sedimentos do rio bento gomes, pantanal de poconé**, MT. 2015. Disponível em <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VIII-016.pdf> Acesso em: 14 Abr.2020

DUARTE, A. A. L. S. & VIEIRA, J. P. Integrated estuarial modelling for eutrophication vulnerability assessment. **Journal on Fluid Mechanics**, v. 4, pp. 11, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273492640_caracterizacao_limnologica_e_influencia_da_precipitacao_em_reservatorio_de_abastecimento_publico_da_regiao_metropolitana_de_Fortaleza_CE. Acesso em 14 Abr.2020.

EMÍDIO, V. J. G. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento**. 2012. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3154/1/A%20problem%c3%a1tica%20do%20f%c3%b3sforo%20nas%20%c3%a1guas%20para%20consumo%20humano%20e%20%c3%a1guas%20residuais%20.pdf> Acesso em : 17 Abr.2020

FIORILLO, M. C. **Reservatório do Rio Grande: Caracterização Limnológica da Água e Biodisponibilidade de Metais Traço no Sedimento**. São Paulo. Instituto de Biociências/USP. Dissertação de Mestrado, 2006. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-16052006_121526/publico/Carolina_F_Mariani.pdf Acesso em: 17 Abr.2020

FRANZEN, M. **Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios**. 2009. 244 (Doutorado). INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/335?show=full>. Acesso em: 17 Abr.2020.

FRANZEN, M.; CYBIS, L. F.; MERTEN, G. H.; DUARTE, M. M. M. B.; LIMA, E. A. M.; MOURA, H. L.; CAVALCANTE, D. A. S.; SILVA, V. L. **Geoquímica dos sedimentos orgânicos superficiais de fundo no reservatório Divisa, Rio Grande do Sul, Brasil. Estudos Geológicos**, v. 20, n. 1, p. 69-80, 2010. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6120> Acesso em 16 Abr.2020

FREITAS, F.R.S.; RIGHETTO, A.M.; ATTAYDE, J.L. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semi-árido brasileiro. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 3, p. 655-665, 2011.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. **Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigui na região metropolitana de Curitiba**. Química Nova, v.31, p. 2020-2026, 2008. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000800020 Acesso em 16 Abr.2020.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. 4. ed. rev. Brasília, p.150, 2013. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf Acesso em: 16 Abr.2020.

GACHTER, R.; Meyer, J.S.; Mares, A. Contribution of bacteria to release and fixation of phosphorus in lakes sediments. **Limnol. Oceanogr.**, 33, p. 1542-1558, 1998.

GUIMARÃES, M. G. **Avaliação da Concentração de Metais em Amostras de Sedimento no Reservatório do Guarapiranga**. São Paulo. IPEN/USP. Dissertação de Mestrado. p. 171,

2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-16012013-142056/publico/2012AmorimAvaliacao.pdf> Acesso em 17 Abr.2020.

IPIRANGA, F. P.C. **Nutriente em sedimentos e qualidade da água em açude do semiárido brasileiro**. 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/25344> Acesso em 17 Abr.2020.

JUN; JIANTONG, L.; YONGDING, L. Phosphorus in suspended matter and sediments of a hypertrophic lake. A case study: Lake Dianchi, China. **Environmental Geology**, v. 58, n. 4, p. 833-841, 2008. Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009EnGeo..58..833J/abstract> Acesso em 17 Abr.2020

KAISERLI, A.; VOUTSA, D.; SAMARA, C. Phosphorus fractionation in lake sediments - Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. **Chemosphere**, v. 46, p. 1147-1155, 2002. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11951980> Acesso em 17 Abr.2020

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à Química da água: ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC, 2009

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** Maringá, v. 37, n. 3, p. 309-318, 2015.

LING, T.Y E NYANTI, L Phosphorus in Batang ai hydroelectric Dam reservoir, sarawak, Malaysia. **Journal Sciences World Applied**. ISSN 1818-4952, 2013. Disponível em [https://www.idosi.org/wasj/wasj28\(10\)13/2.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj28(10)13/2.pdf) Acesso em 17 Abr.2020.

LOPES, F. B. et al. Eutrofização em reservatórios da região semiárida. In: **III Inovagri Internacional Meeting. Fortaleza**. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301405758_EUTROFIZACAO_EM_RESERVATARIOS_DA_REGIAO_SEMIARIDA Acesso em 17 Abr.2020.

MALLASEN, Margarete et al. Qualidade da água em sistema de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira, SP. **Boletim do instituto de pesca**, v. 38, n. 1, p. 15-30, 2018.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP**. 2005. 171 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257255/1/Mansor_MariaTeresaCastilho_D.pdf Acesso em 13 Abr.2020.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000500029 Acesso em 17 Abr.2020.

MEDEIROS F, C. F. **Abastecimento de Água, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG**. Campina Grande – PB, 2009. Disponível em http://www.margarita.dea.unir.br/uploads/11523232/arquivos/Apostilha_Abast_de_Agua_UFCG_1632633735.pdf Acesso em 13 Abr.2020.

MORAES, A.J. **Manual para a avaliação da qualidade da água**. São Carlos: RiMa, 2001.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2012.

NASCIMENTO, F. E. et al. QUALIDADE AMBIENTAL DO RESERVATÓRIO CAJÁ, TABOLEIRO GRANDE (RN). **Revista Tamoios**, v. 12, n. 1, 2016. Disponível em <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/19610> Acesso em 13 Abr.2020.

NASCIMENTO, J. P. **Efeito da entrada da água do rio sobre o fitoplâncton de um lago de água preta**. 2018.. Disponível em: <https://bdtd.inpa.gov.br/bitstream/tede/2556/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Josilene%20Pereira%20do%20Nascimento..pdf> Acesso em : 15/Abr. 2020

NUNES, M. L. F. **Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos Rios Bacanga e Anil na ilha do Maranhão**. São Luís, 2013. 97f. Dissertação (mestrado em química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2013. Disponível em <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/965> Acesso em 10 Abr.2020.

OLIVEIRA, Izabelle Ferreira de et al. **Investigação da condição trófica do reservatório de abastecimento de água Bolonha**. 2018. Disponível em: <http://ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2018/izabelleferreira.pdf.pdf> Acesso em 11 Abr.2020.

OLIVEIRA, P. S. D. The dynamics of nutrients in water and its influence on the process of eutrophication of the mangrove channel. Espaço de diálogos e práticas - Associação dos Geógrafos Brasileiros, v. 16, p. 1-11, 2010 Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902014000100005 Acesso em 13 Abr.2020

PAULA FILHO, F. J. **Distribuição e Partição Geoquímica de fósforo em sedimentos estuarinos do Rio Jaguaribe/Ce**. 2005. 88f. Dissertação (mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2004. Disponível em <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/1311> Acesso em 13 Abr.2020.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2011. 68 p.

Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/921050/manual-de-procedimentos-de-amostragem-e-analise-fisico-quimica-de-agua> Acesso em 10 Abr.2020.

PEJRUP, Morten; MIKKELSEN, Ole Aarup. Factors controlling the field settling velocity of cohesive sediment in estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 87, n. 2, p. 177-185, 2010.

PIVELI, R. P. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. São Paulo. Anais eletrônicos... ABES, 2005. Disponível em <https://repositorio.usp.br/item/001550353> Acesso em 13 Abr.2020.

PROTAZIO, L.; TANAKAS, M. C. N.; CAVALCANTE, P. R. S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento. **Revista Analytica**, v. 8, p.3541,2004.Disponível em <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6120> Acesso em 16 Abr.2020.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, W.C. 2008. **Geografia Política da Água**. São Paulo: Annablume. p. 162, 2008. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2008000200017 Acesso em 16 Abr.2020.

ROSA, R, S.; GROTH, F. Ictiofauna dos ecossistemas de Brejos de Altitude de Pernambuco e Paraíba. Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação. **Série Biodiversidade**, v. 9, p. 201-210, 2004.

RUBAN, V et al. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments - A synthesis of recent works. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, v. 370, p. 224-228, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002160100753> Acesso em 16 Abr.2020.

SANTANA, R.; LESSA, G.C.; HASKINS, J.; WASSON, K. **Continuous Monitoring Reveals Drivers of Dissolved Oxygen Variability in a Small California Estuary**. Estuaries and Coasts, v.41, n. 1, p. 99–113, 2018. Anais eletrônicos Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/4467/1/JSS10072018.pdf> Acesso em: 16 Abr.2020.

SCHLEMPER, A.; BLASS, O.A.; BLASS, A.P. **Qualidade da água de poços e nascentes do Alto Vale do Itajaí**. Itajaí, 2014. 18 f. Artigo Científico (Tecnologia em Processos Químicos) – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/11523/1/51600135.pdf> Acesso em: 16 Abr.2020.

SCHUSTER, H. D. M.; SRINIVASAN, V. S. Uma Investigação dos Efeitos Hidráulicos de Barragens Subterrâneas em um Aquífero Aluvial na Região Semi -Árida da Paraíba, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol. 9, n.3, p 55-68, 2004. Disponível em <https://www.passeidireto.com/arquivo/66319582/9-tese-de-doutorado-alexandre-lima/49> Acesso em 16 Abr.2020.

SILVA, L. P. **A influência das condições de estabilidade da coluna d'água na estrutura das comunidades planctônicas (fito e zooplâncton) do reservatório de Ribeirão das Lajes.** RJ. 2016.

Disponível em: <http://www.unirio.br/ccbs/ibio/ppgbio/dissertacoes-e-teses/dissertacoes/turma-2014/silva-l-p-a-influencia-das-condicoes-de-estabilidade-da-coluna-d2019agua-na-estrutura-das-comunidades-planctonicas-fito-e-zooplanton-do-reservatorio-de-ribeirao-das-lajes> Acesso em: 18 Abr.2020.

SILVA, D. B. **Qualidade de água e sedimento em reservatório.** 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-08072016-103350/pt-br.php> Acesso em: 16 Abr.2020.

SILVA, F. Ribeiro. **Uso e ocupação do solo associado à qualidade da água no Rio Uberabinha.** 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18075>. Acesso em: 16 Abr.2020.

SILVA, Kaylanne Montenegro da et al. **Estudo da geoquímica do fósforo em sedimentos da Laguna de Araruama-RJ,** para avaliação do processo de eutrofização. 2019. Tese de Doutorado. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/34242/2/ve_Kaylanne_Montenegro_ENSP_2019 Acesso em: 16 Abr.2020.

SILVA, Valdemir Ferreira da. **Avaliação da qualidade da água em barragem subterrânea no semiárido.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em : <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/27501/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Valdemir%20Ferreira%20da%20Silva.pdf> Acesso em : 16 Abr.2020

SMIL, V. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. **Rev. Energy Environ.**, v. 25, n. 1, p. 53-88, 2000.

Soares, Viviane Martins. 2011. Aspectos Físicos e Químicos do Complexo de Represas do Paribuno Paritinga-São Paulo. **Dissetação de Mestrado. Isntituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/USP, 2011.** Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-08072016-103350/publico/2016SilvaQualidade.pdf> Acesso em: 16 Abr.2020

SOUZA, C.A. et al. Análise Comparativa da Qualidade de Água para Irrigação em três Sistemas Hídricos Conectados no Semiárido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada.** v. 10, n. 6, p. 1011 - 1022, 2016.

SOUSA, I.A. **Análise da qualidade da água para o abastecimento de municípios do estado de Goiás. Aparecida de Goiânia,** 2013. 46 f. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Goiás. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/11523/1/51600135.pdf> Acesso em 16 Abr.2020.

TUNDISI, J. G. **Água no século XX: Enfrentando a Escassez.** São Carlos, 2005.

VIDAL, Ticiana Fontoura; NETO, José Capelo. **Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da região metropolitana de fortaleza/CE**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 10, n. 2, 2014.

Disponível em:

http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/879/903.

Acesso em: 13/04/2020.

WANG, C.; ZHANG, Y.; LI, H.; MORRISON, R. Sequential extraction procedures for the determination of phosphorus forms in sediment. **Limnology**, v. 14, n. 2, p. 147- 157, 2013.

WARKEN, K. W. et al. The effects of shrimp trawling on sediment oxygen demand and the release of trace metals and nutrientes from estuarine sediments. **Estuarine Coastal and Shelf Science**. v. 57, p. 25-42, 2002. Disponível em :

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2003ECSS...57...25W/abstract> Acesso em : 16 Abr.2020.

WEINBERG, A. Uso de índices de qualidade de água para a caracterização da bacia hidrográfica do Rio Guandu. Ágatha Weinberg-Rio de Janeiro. UFRJ/Escola **Politécnica**, 2013. Disponível em: <http://www.drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2013/agatha-weinberg-2013.pdf> Acesso em: 14 Abr.2020.

WU, Z. et al. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. **Science of The Total Environment**, v. 612, p. 914-922, 2018. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28886543> Acesso em: 16 Abr.2020.

YUK, J. H.; AOKI, S. I. Estimation of phosphorus flux in a stratified estuary using a mass balance model. **Coastal Engineering Journal**, v. 52, n. 3, p. 195-213, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1142/S0578563410002178> Acesso em: 16 Abr.2020

ZOUMIS, T.; SCHMIDT, A. **Contaminants in sediments: remobilization and demobilisation**. **Science of the Total Environment**, v. 266, n. 1-3, p. 195-202, 2001.

Disponível em

https://www.researchgate.net/publication/12073500_Contaminants_in_Sediments-Remobilisation_and_Demobilisation Acesso em: 16 Abr.2020.