

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

RAFAELLA DE SOUZA MENEZES

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM LAGOAS
DOS PLATÔS DA SERRA SUL DE CARAJÁS, SUDESTE DA
AMAZÔNIA, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Uso Sustentável de
Recursos Naturais em Regiões Tropicais do
Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento
Sustentável (ITV DS).

Orientador: Dr. Roberto Dall'Agnol

Co-orientador: Dr. Prafulla Kumar Sahoo

Belém – PA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M542a

Menezes, Rafaella de Souza

Avaliação Sazonal da Qualidade da Água em Lagoas dos Platôs da Serra Sul de Carajás, Sudeste da Amazônia, Brasil / Rafaella de Souza Menezes -- Belém-PA, 2017.

107 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2017.

Orientador: Dr. Roberto Dall'Agnol

1. Qualidade da Água. 2. Lagoas de Platôs. 3. Estado de Trofia. 4. Platô S11. 5. Serra Sul dos Carajás. Avaliação Sazonal da Qualidade da Água em Lagoas dos Platôs da Serra Sul de Carajás, Sudeste da Amazônia, Brasil

CDD 23. ed. 628.16

RAFAELLA DE SOUZA MENEZES

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM LAGOAS
DOS PLATÔS DA SERRA SUL DE CARAJÁS, SUDESTE DA
AMAZÔNIA, BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Roberto Dall'Agnol
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. José Tasso Felix Guimarães
Membro interno - Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. José Augusto Martins Corrêa
Membro externo – Universidade Federal do Pará (UFPA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus
e a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta oportunidade e por me fazer forte a cada dia. Obrigada por esta conquista, Senhor!

Aos pesquisadores do Grupo de Geologia Ambiental e Recursos Hídricos (GGARH) que efetuaram a amostragem das águas das lagoas em 2015 e 2016, em particular a José Tasso Guimarães, coordenador executivo do projeto; ao ITVDS e à Diretoria de Ferrosos Norte da Vale pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa; ao ITVDS pela concessão de bolsa de pesquisa; aos docentes e funcionários do curso de mestrado profissional do ITVDS pelo apoio na formação.

À minha família, pelo apoio e dedicação que tiveram em toda minha trajetória. Em especial ao meu filho Hector, ao meu esposo Heythor e à minha mãe Regina. Obrigada por tudo.

Em especial ao meu Orientador, Dr Roberto Dall'Agnol, por toda dedicação e paciência em me orientar. Por acreditar no meu potencial e por todos os conselhos e ajuda que fortaleceram a minha caminhada profissional. Ao meu coorientador Dr. Prafulla Kumar Sahoo, pelos ensinamentos e experiências repassadas na área de qualidade da água, essenciais para a evolução deste trabalho. Muito obrigada!

Ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), pela oportunidade de ingressar no mestrado profissional em ciências ambientais e desenvolvimento sustentável, essencial para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao professor Dr. Ronnie Alves e ao pesquisador do ITV, Éder Lanes, pelo apoio nas análises estatísticas.

À minha amiga Deborah Pires, por todo apoio e companheirismo.

À toda a turma do mestrado 2015, pelas trocas de conhecimento que contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigada!

Este estudo recebeu recursos e apoio no campo do Instituto Tecnológico Vale e da Diretoria de Ferrosos Norte (DFIN – GABAN da Vale) e financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo 442088/2014-0, projeto de Limnoecologia das lagoas de platôs da Serra dos Carajás).

RESUMO

Foram efetuados estudos sobre as variações temporais e sazonais da qualidade da água das lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs (TI), localizadas no platô S11 na Serra Sul de Carajás, no sudeste do Pará, com objetivo de definir a qualidade das águas superficiais das lagoas e estabelecer comparações entre elas.

As coletas e análises ocorreram nos anos de 2015 e 2016, em duas estações (estiagem e chuvosa). A fim de extrair informações sobre os diferentes parâmetros que exercem maior influência na sua qualidade, fez-se uma análise descritiva e aplicou-se método de estatística multivariada por meio de Análise de Componentes Principais (PCA) e calculou-se o índice de qualidade da água (IQA) e índice de estado trófico (IET). Os conteúdos de metais se revelaram, em sua grande maioria, em conformidade com a Resolução Conama 357/2005 (Classe II), com exceção de Ferro Dissolvido, Zinco Total e Cádmio Total. Por meio de cálculo de IQA, a qualidade das águas das lagoas, enquadrou-se entre boa e ótima. O grau de trofia, definido com base no IET, levou a classificar as lagoas TI1 e TI2 como mesotróficas a eutróficas; TI3 como oligotrófica; Violão como oligotrófica a mesotrófica e Amendoim como ultraoligotrófica a oligotrófica. Em geral as lagoas TI1 e TI2 apresentam maior grau de trofia.

A análise de PCA identificou sete variáveis de maior influência na qualidade da água dos corpos hídricos. Encontraram-se altas concentrações de Fósforo Total, Clorofila a, Ferro Dissolvido, Carbono Orgânico Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, e Cianobactérias e baixas concentrações de Amônio, representados nos dois Componentes Principais (PC1 e PC2).

Concluiu-se que as lagoas estudadas são influenciadas pelas características naturais de formação da bacia hidrográfica, por processos alóctones e, em parte, pela sazonalidade. Foram identificados dois grupos de lagoas: Um formado pelas lagoas TI1 e TI2; outro pelas lagoas TI3, Violão e Amendoim. Amônia, fósforo total e clorofila foram os fatores que exerceram maior influência. As cinco lagoas apresentaram qualidade de água satisfatória conforme a Resolução CONAMA 357/2005. O maior agente causador de trofia na lagoa TI1, segundo a análise de PCA, foi o nutriente fósforo total.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Lagoas de Platôs. Estado de Trofia. Platô S11. Serra Sul dos Carajás.

ABSTRACT

Studies on the temporal and seasonal variations in water quality of the Amendoim, Violão and Três Irmãs (TI) lakes, located on the S11 plateau in the Serra Sul de Carajás, in southeastern of Pará, were carried out to define the surface water quality of the ponds and establish comparisons between them.

The sampling and analyzes occurred in the years of 2015 and 2016, in two seasons (dry and rainy). In order to extract information about the different parameters that exert the greatest influence on their quality, a descriptive analysis was carried out and a multivariate statistical method was applied through Principal Component Analysis (PCA) and the quality index of the water (IQA) and trophic status index (EIT). The majority of metals contents were in compliance with Conama Resolution 357/2005 (Class II), with the exception of Dissolved Iron, Total Zinc and Total Cadmium. By means of IQA calculation, the water quality of the lakes, was between good and excellent. The degree of trophy, defined on the basis of the EIT, led to classify lakes TI1 and TI2 as mesotrophic to eutrophic; TI3 as oligotrophic; Violão as oligotrophic the mesotrophic and Amendoim as ultra-oligotrophic to oligotrophic. In general, the lakes TI1 and TI2 present a higher degree of trophism.

The PCA analysis identified seven variables with the greatest influence on the water quality of the water bodies. High concentrations of Total Phosphorus, Chlorophyll a, Dissolved Iron, Total Organic Carbon, Biochemical Oxygen Demand, and Cyanobacteria and low concentrations of Ammonium, represented in the two Principal Components (PC1 and PC2) were found.

It was concluded that the studied lakes are influenced by the natural formation characteristics of the basin, by allochthonous processes and partly by seasonality. Two groups of lakes were identified: One formed by lakes TI1 and TI2; another by the lakes TI3, Violão and Amendoim. Ammonia, total phosphorus and chlorophyll were the factors that exerted the greatest influence. The five lakes presented satisfactory water quality according to CONAMA Resolution 357/2005. The largest trophic agent in TI1 lake, according to PCA analysis, was the total phosphorus nutrient.

Keywords: Water quality. Plateau lakes. Trophic State. S11 Plateau. Serra Sul dos Carajás.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: a) Localização geográfica da Serra dos Carajás e seu entorno mostrando áreas protegidas cobertas por floresta em contraste com áreas desmatadas e destacando o platô S11 na Serra Sul de Carajás (ponto vermelho); b) Área de ocorrência das lagoas do Violão e do Amendoim, sobre crosta ferruginosa recoberta, em geral, por vegetação de canga rupestre em contato direto com a floresta amazônica no Bloco S11D; c) Área de ocorrência da Lagoa três Irmãs (TI1, TI2 e TI3) no Bloco S11A (Fonte: SAHOO et al. 2016, modificado).	25
Figura 2: Divisão em trechos de sub-bacias que compõem a bacia do rio Itacaiúnas, mostrando a localização do platô S11 (em vermelho) na Serra Sul de Carajás, em interflúvio do alto rio Itacaiúnas e médio rio Parauapebas (Fonte: GAT, 2007).	27
Figura 3: Pontos de amostragem nas lagoas do Amendoim e do Violão, para estudos de qualidade da água nos anos de 2013 e 2014 (pontos brancos e marrons) e pontos de amostragem nos anos de 2015 e 2016 (pontos brancos) (SAHOO et al, 2016).	29
Figura 4: Pontos de amostragem na Lagoa Três Irmãs (TI1, TI2 e TI3)	30
Figura 5: Gráfico Boxplot da variação sazonal com os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrobiológicos nas cinco lagoas de estudo nos anos de 2015 a 2016.	58
Figura 6: Gráfico Boxplot do IQA obtido nas lagoas do Violão (VL), Amendoim (AM) e Três Irmãs (TI1, TI2 e TI3), nas duas estações do ano, abrangendo os anos de 2015 a 2016. Classificação baseada em CETESB (2016)	60
Figura 7: Gráfico de índice de Estado Trófico para as cinco lagoas de estudo, nos anos 2015 e 2016 nos períodos chuvoso e de estiagem, mostrando seu enquadramento nas diferentes classes da classificação baseada em CETESB (2016) e Lamparelli (2004).	63
Figura 8: Gráfico Biplot mostrando a variabilidade dos parâmetros ambientais nas lagoas do Violão (VL), Amendoim (AM) e Três Irmãs (TI1, TI2 e TI3), nas duas estações e anos deste estudo, presentes nos dois componentes principais PC1 e PC2.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos empregados para determinação de cada parâmetro analisado.	32
Tabela 2. Recomendações sobre a forma de preservação, prazo de realização de análise e quantidade de amostra a ser armazenada e encaminhada ao laboratório, segundo as especificidades de cada parâmetro.	33
Tabela 3. Faixas de classificação do Índice de Qualidade de Água para água bruta.	34
Tabela 4. Classificação do Estado Trófico (IET) para reservatórios.....	35
Tabela 5. Estatística Descritiva dos parâmetros de qualidade da água das lagoas estudadas, no período de Estiagem dos anos 2015 e 2016.....	40
Tabela 6. Estatística Descritiva dos parâmetros de qualidade da água das lagoas estudadas, no período Chuvoso dos anos 2015 e 2016.	42
Tabela 7. Análise de Correlação de Pearson para os parâmetros de qualidade da água das cinco lagoas estudadas, no período de Estiagem dos anos 2015 e 2016.	50
Tabela 8. Análise de Correlação de Pearson para os parâmetros de qualidade da água das cinco lagoas estudadas, no período Chuvoso dos anos 2015 e 2016.	51
Tabela 9. Parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos das águas das lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs, em cada ponto de amostragem..	79
Tabela 10. Valor do índice de Qualidade da Água para cada ponto de amostragem das lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs.....	100
Tabela 11. Valor médio do Índice de Estado Trófico obtido em cada estação nas lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs.....	104

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM – Lagoa do Amendoim

ANA – Agência Nacional de Águas

APHA – American Public Health Association

BIFs – Formações Ferríferas Bandadas

CE – Condutividade Elétrica

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

Cianob – Cianobactéria

Clor_a – Clorofila a

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Col – Coliformes Totais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DFIN – Diretoria de Ferrosos Norte

DS – Desenvolvimento Sustentável

Ecoli – Escherichia coli

FLONACA – Floresta Nacional de Carajás

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

GABAN – Gerência de Área de Meio Ambiente da Vale

GGARH – Grupo de Geologia Ambiental e Recursos Hídricos

IET – Índice de Estado Trófico

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA – Índice de Qualidade da Água

ITV – Instituto Tecnológico Vale

LMD – Limite Mínimo de Detecção

NSF – National Sanitation Foundation

OD – Oxigênio Dissolvido

PCA – Análise de Componentes Principais

pH – Potencial Hidrogeniônico

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

PT – Fósforo Total

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

S11A – Bloco A do platô S11 da Serra Sul de Carajás

S11D – Bloco D do platô S11 da Serra Sul de Carajás

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Estado do Pará

SMEWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

T – Temperatura

TI1– Lagoa Três Irmãs 1

TI2 – Lagoa Três Irmãs 2

TI3 – Lagoa Três Irmãs 3

TOC – Carbono Orgânico Total

Turb – Turbidez

US-EPA – United States Environmental Protection Agency

VL – Lagoa do Violão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Problema e Justificativa	17
1.2 Objetivos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA	19
2.1 Monitoramento dos Recursos Hídricos	19
2.2 Processos que influenciam na composição natural das águas superficiais	20
2.3 Importância da Análise Multivariada na avaliação da qualidade da água	21
3 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	23
3.1 Caracterização da área de estudo	23
3.1.1 Hidrografia	26
3.1.2 Geologia Regional	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Amostragem	28
4.2 Determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos	31
4.3 Tratamento estatístico dos dados	33
5 RESULTADOS	37
5.1 Características Limnológicas	37
5.2 Avaliação sazonal das características físico-químicas, microbiológicas e hidrobiológica das águas das lagoas	51
5.3 Índice de Qualidade da Água - IQA	59
5.4 Índice de Estado Trófico - IET	61

5.5 Análise de Componentes Principais (PCA).....	64
6 DISCUSSÃO	66
7 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICES.....	78

1 INTRODUÇÃO

Lagoas são ecossistemas que recebem contribuições autóctones e alóctones. São dominadas por organismos autotróficos, em especial as algas, que têm capacidade de produzir material orgânico a partir da fotossíntese. Podem conter diferentes compostos químicos, seja de origem natural, como nutrientes derivados de fontes geológicas locais a partir da ação do intemperismo e de oscilações climáticas, seja de origem antropogênica, no caso de deposição de material orgânico e inorgânico de origem não natural para o corpo hídrico (DAVIS; BROWNE, 2009).

Além das características já mencionadas, as lagoas localizadas nos planaltos amazônicos, apresentam particularidades, principalmente por estarem em ambiente de mineração e serem bastante sensíveis a alterações (LOPES et al., 2011). Esses ecossistemas aquáticos continentais têm grande importância em termos da qualidade paisagística e por serem reservatórios naturais de água e de biodiversidade (BARROS, 2010).

A fim de entender o comportamento dos processos físico-químicos, microbiológicos e hidrobiológicos que controlam a qualidade das águas das lagoas, bem como seu grau de eutrofização, se faz necessária a determinação e aplicação de índices, pois estes permitem diagnosticar o estado em que se encontram os corpos hídricos (RODRIGUES; CASTRO, 2008), tais como as lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs, localizadas na Floresta Nacional de Carajás (FLONACA), que fazem parte do presente estudo.

As concentrações dos elementos fósforo e nitrogênio no meio aquático estão relacionadas com a produção primária do ambiente, e seu excesso pode levar à eutrofização do mesmo (CETESB, 2008). Por outro lado, os metais, tais como ferro, alumínio, cálcio, chumbo, magnésio, dentre outros, podem estar relacionados ao ambiente geológico da área avaliada. Estes parâmetros, quando analisados separadamente e associados à legislação vigente, podem mostrar melhor seu real significado nos ecossistemas aquáticos (KARR; CHU, 1999).

Para o monitoramento dos recursos hídricos e para promover a gestão do uso sustentável desses ecossistemas é necessário, além do levantamento de dados, levar-se em consideração a variação sazonal e estratificação limnológica, bem como

efetuar a aplicação de análise estatística multivariada, a fim de ordenar os resultados obtidos e permitir apresentá-los de forma condensada, clara e objetiva. Isto está previsto no decreto presidencial de 1998, quando foi criada a Unidade de Conservação Floresta Nacional de Carajás (FLONACA) (GOLDER, 2010).

1.1 Problema e justificativa

A falta de informações e o conhecimento limitado do ecossistema das lagoas tropicais de altitude, em particular da região Amazônica (LOPES et al., 2011), demonstra a necessidade premente de sua melhor caracterização a fim de se alcançar conhecimento adequado de suas características físicas, químicas e biológicas. Isto só pode ser alcançado por meio de monitoramento ambiental, envolvendo entre outras coisas a determinação mais rigorosa do comportamento da qualidade da água das lagoas em questão e de seu grau de eutrofização. Também é fundamental avaliar as possíveis variações sazonais nas águas destas lagoas, devidas entre outras coisas aos fatores climáticos, em particular acentuada variação de precipitação, com forte estação chuvosa nos meses de novembro a maio, e estiagem nos meses de junho a outubro.

As lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs situam-se todas no platô S11 da Serra Sul de Carajás, dentro da área da FLONACA e não apresentam nenhuma evidência de terem sido afetadas de modo significativo por processos antrópicos. Situam-se em áreas dominadas por vegetação de canga rupestre, desenvolvida sobre espessas crostas ferruginosas (SAHOO et al., 2016, 2017; GUIMARÃES et al., 2014), porém cercadas por áreas cobertas por densa floresta tropical.

Como estava definida a instalação de mina de ferro no platô S11D, era ainda mais importante estudar as lagoas existentes naquela área. Como a mina de S11D deveria entrar em operação em final de 2016, era indispensável efetuar as coletas de água antes daquele momento, pois isto permitiria no futuro, caso se prosseguisse com o monitoramento, estabelecer comparações entre estes dois momentos distintos.

A melhor caracterização da água das lagoas também permitirá estabelecer comparações com outras lagoas e lagos da Amazônia, tanto de platôs quanto de outros ambientes, bem como verificar em que medida a qualidade de suas águas é

afetada pelas variações de condições climáticas sazonais e pelo ambiente geológico.

1.2 Objetivos

Definir a qualidade das águas superficiais das lagoas do Amendoim, do Violão e Três Irmãs e estabelecer comparações entre elas.

Os objetivos específicos são:

- a) Caracterizar as variações temporais e sazonais dos parâmetros físicos, químicos e biológicos e do estado trófico da água das lagoas e estabelecer comparações entre as mesmas;
- b) Correlacionar os resultados com o ambiente geológico e as características hidrológicas das lagoas;
- c) Avaliar possíveis efeitos antrópicos na qualidade das águas das lagoas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

2.1 Monitoramento dos Recursos Hídricos

A água é um recurso importante, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade, para manter o equilíbrio de ecossistemas. Calcula-se que da disponibilidade de água da terra, a quase totalidade se concentra nos mares e oceanos (97%). Os 3% restantes são de água doce e destes apenas 0,26% estão distribuídos em lagos e lagoas (GANOULIS, 2009).

Neste contexto, o monitoramento da qualidade da água, em particular de lagoas, é vital para acompanhar as variações temporais existentes, avaliar o estado de sua qualidade e determinar sua conformidade perante a legislação vigente em função de seus usos pretendidos, de modo a manter a gestão sustentável de tais recursos. A influência humana nas lagoas estudadas é pouco significativa, por se tratar de lagoas de platôs localizadas em Unidade de Conservação. Isto faz com que os fatores naturais relacionados com intemperismo e erosão de rochas das microbacias circundantes às lagoas, lixiviação de matéria orgânica e nutrientes do solo e transporte de substâncias dissolvidas e em suspensão, controlados por processos atmosféricos e climáticos, fatores hidrológicos e processos biológicos, sejam determinantes na qualidade da água (CARR; NEARY, 2009).

É importante também monitorar as camadas de estratificação das lagoas em estudo, pois corpos d'água de ambientes lênticos e de sistema fechado costumam apresentar variações gradativas com a profundidade, com mudanças nas propriedades físicas e químicas da água. Nas lagoas do platô S11, o estudo se deu em três camadas: 1) Epilímnio, camada superficial de maior contato com a luz solar, geralmente caracterizada pela presença frequente de hidrófitas enraizadas e algas bentônicas; 2) Metalímnio ou zona limnética, com menor penetração de luz solar, porém ainda permitindo a fotossíntese; e 3) Hipolímnio ou zona profunda, região onde não há penetração de radiação solar, impedindo a fotossíntese (HAMADA; NESSIMIAN; QUERINO, 2014).

Segundo CETESB (2008), os corpos d'água são divididos em seis categorias: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico.

As lagoas jovens ou oligotróficas carecem de nutrientes e as eutróficas têm nutrientes em abundância (NIERING, 1988).

Consideram-se como lagoas, corpos d'água rasos, de água doce, salobra ou salgada, em que a radiação solar pode alcançar o sedimento de fundo, possibilitando, conseqüentemente, o crescimento de macrófitas aquáticas em toda a sua extensão (ESTEVES, 1998).

2.2 Processos que influenciam na composição natural das águas superficiais

A composição física, química e biológica da água de sistemas lagunares é passível de variações no tempo e espaço. Tais variações são controladas por fatores naturais, tais como ambiente geológico, geomorfologia, clima local e processos biológicos (ARMENGOL; MORENO-AMICH; PALAU, 2006).

A intensidade de desenvolvimento de processos biológicos em lagoas permite definir seu grau de trofia. Lagoas eutróficas são ricas em fósforo e nitrogênio (CHAPMAN, 1996), pois a maior disponibilidade de nutrientes dissolvidos favorece o crescimento de fitoplâncton, sobretudo algas. Parte da matéria orgânica se deposita no fundo do corpo d'água, onde passa por processo de decomposição, que leva a baixos níveis de oxigênio dissolvidos nessa camada, devido ao seu consumo por microorganismos (CHAPMAN, 1996). A forma de uma lagoa também pode influenciar a sua produtividade, podendo ser mais ou menos propícia ao crescimento extensivo de vegetação enraizada (ARENS et al., 2001).

Quando ocorrem apenas processos naturais, o intemperismo de rochas é o principal fator que controla o fluxo dos elementos presentes nas águas. Distinguem-se o intemperismo físico, associado à fragmentação das rochas, e o intemperismo químico que envolve processos de alteração mineral (hidratação/hidrólise, dissolução, precipitação, oxi-redução e complexação), formando minerais secundários. Neste processo são liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático (FAUST; ALY, 1981). As substâncias dissolvidas incluem cálcio, sódio, bicarbonato e cloreto; nutrientes (nitrogênio e fósforo); e oligoelementos e/ou elementos-traço (ARENS et al., 2001). Apesar de sua baixa concentração, elementos-traço, como chumbo, mercúrio, ouro, ferro, manganês e iodo, são

extremamente importantes em algumas reações bioquímicas (GOMES; CLAVICO, 2005). Além disso, alguns gases como oxigênio dissolvido são comuns em águas naturais (ARENS et al., 2001). Isso mostra que os processos químicos são fortemente influenciados por processos de natureza física (HEM, 1985).

Os elementos metálicos podem causar ou aumentar a degradação da qualidade da água. Porém, alguns deles, como cobre, ferro, manganês, níquel e zinco são micronutrientes essenciais para a flora, fauna e microrganismos (GASHI et al., 2016).

De modo geral, a composição natural de corpos d'água pode ser visualizada por meio da determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos (FAUST; ALY, 1981). Porém, existem peculiaridades na formação dos corpos de água na região amazônica em relação aos de outras regiões. Os ambientes geológicos supergênicos dominantes na Amazônia caracterizam-se por serem relativamente enriquecidos em ferro e manganês, os quais tendem a exibir teores elevados nas águas superficiais, podendo provocar interferências na qualidade da água. Por sua vez, o clima tropical úmido característico da Amazônia é responsável pela acelerada degradação de substâncias orgânicas e inorgânicas e pela intensificação do processo de lixiviação superficial, com seu transporte para corpos d'água, causando aumento da turbidez e da acidez da água. Este é um processo natural que tende a fazer com que as águas superficiais da região não apresentem parâmetros compatíveis com os recomendados pela resolução 357/2005 do CONAMA. É necessário, portanto, compreender que muitas vezes se torna impossível atingir os padrões exigidos pela referida resolução (SEMA, 2012).

2.3 Importância da Análise Multivariada na avaliação da qualidade da água

Por qualidade da água entende-se o conjunto de suas características físicas, químicas e biológicas que permitem classificar sua qualidade conforme padrões estabelecidos pela legislação vigente (LEMOS, 2011).

Silva e Lourenço (2016), mostram que para definir a qualidade da água é necessário calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA), pois este permite enquadrar a água em classificação específica. Com o propósito de facilitar a

interpretação da qualidade da água a partir de conjunto volumoso de dados obtidos em um monitoramento ambiental, e de torna-los acessíveis para a comunidade acadêmica e para leigos, a CETESB, a partir de estudos realizados em 1970 pela “National Sanitation Foundation (NSF)” dos Estados Unidos, adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas. Este indicador incorpora nove variáveis (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez e resíduo total) consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, e tem como principal objetivo avaliar águas destinadas para abastecimento público. Para cada parâmetro foram traçadas curvas médias da variação em função das suas respectivas concentrações (CETESB, 2004, 2008). Deve-se nessa avaliação, levar em consideração as características ambientais específicas de cada região que retratem sua realidade (CARVALHO; FERREIRA; STAPELFELDT, 2004).

Outro índice que permite uma avaliação distinta da água é o Índice de Estado Trófico (IET), que tem por finalidade classificar corpos de água em diferentes graus de trofia. O IET avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento em nutrientes, evidenciado pela abundância de fitoplâncton. O fósforo, IET(P), é um dos principais nutrientes e, se presente em excesso, potencializa a eutrofização, sendo catalisador do processo. Já o parâmetro clorofila-a, IET(CL) reflete, por sua vez, o crescimento do fitoplâncton como resposta do corpo hídrico ao enriquecimento de nutrientes, principalmente fósforo (IGAM, 2014).

As lagoas da Serra Sul de Carajás despertam interesse para pesquisa por apresentarem características ambientais específicas e se situarem em ecossistema de canga rupestre com muitas feições particulares (VIANA et al., 2016). Além disso, foram também realizados estudos em dez lagoas de platôs na província de Yunnan na China que atraíram a atenção internacional por sua rica biodiversidade. As águas destas lagoas são usadas para abastecimento público, irrigação, pesca, dentre outros fins, e estão ameaçadas pela atuação antrópica. Devido a isso, foram realizados estudos sobre o seu grau de eutrofização (LI et al., 2007).

Devido ao volumoso conjunto de dados adquiridos ao longo de vários anos de monitoramento, a fim de definir os principais parâmetros responsáveis pelas

variações da qualidade da água, bem como as tendências espaciais e temporais desta qualidade, fazem-se necessários tratamentos estatísticos. Dentre estes, destaca-se a Análise de Componentes Principais (PCA) que constitui uma ferramenta de análise multivariada que permite a identificação de tendências de diferentes processos hidroquímicos que são difíceis de caracterizar usando métodos estatísticos univariados (SANTOS et al., 2004). Exemplos de uso da ferramenta de PCA para extrair Informações significativas de grande conjunto de dados foram apresentados por (SANT'ANA, 2006; SOUSA, 2016).

3 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização da área de estudo

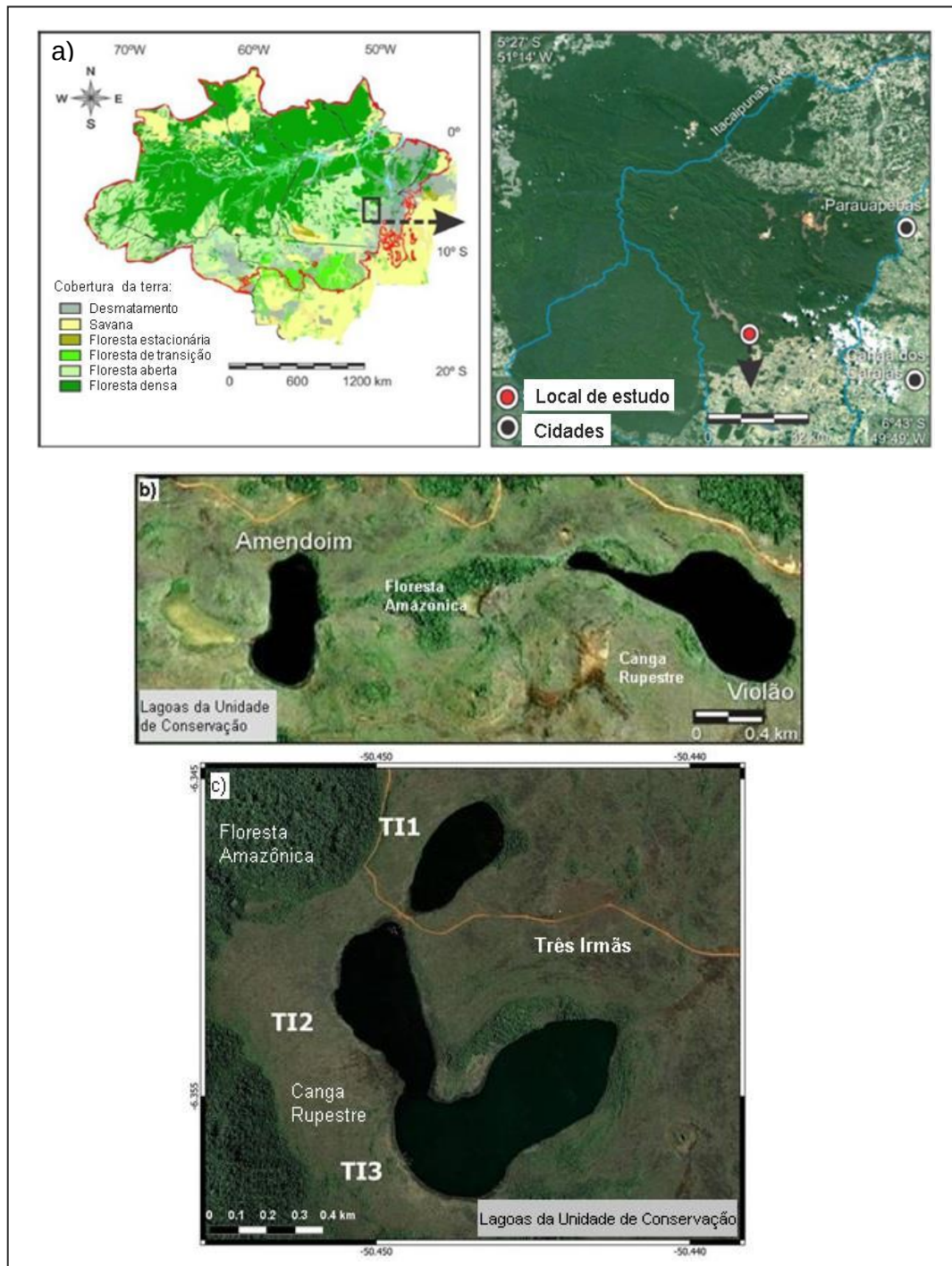
As lagoas estudadas estão localizadas em uma área protegida por lei, a Floresta Nacional de Carajás, na Serra Sul de Carajás, na região Sudeste da Amazônia. As lagoas do Violão e do Amendoim se situam na porção sudeste do platô S11, nas proximidades da atual mina de Ferro de S11D e a Lagoa Três Irmãs na porção noroeste do mesmo platô S11, na área denominada S11A na nomenclatura adotada pela Vale (Fig. 1a). As lagoas situam-se sobre uma crosta ferruginosa, recoberta em geral por vegetação de canga rupestre em contato direto com a floresta amazônica (SAHOO et al., 2016). Estudos realizados por Golder (2010) e Guimarães et al. (2014), mostram que floresta tropical densa ocorre ao longo das encostas do platô S11 e pequenas manchas de floresta se apresentam em áreas restritas de ocorrência de corpos máficos, enquanto que vegetação de canga se desenvolve sobre a crosta ferruginosa, a qual ocupa a maior parte da área (Fig. 1b,c).

Dentre as lagoas estudadas, a lagoa do Violão apresenta a maior área de superfície, com 0,273 km² e atinge 10 m de profundidade, enquanto que a do Amendoim tem área de 0,126 km² e profundidade máxima de 8 m. Apresenta fundo irregular, sendo parcialmente vegetada por macrófitas (Fig. 1b). Na lagoa Três Irmãs, TI3 ocupa área superficial de 0,252 km² e sua profundidade média é de 7,02 m; TI2 tem área superficial de 0,116 km² e profundidade média de 1,2 m e TI1

apresenta a menor área de superfície ($0,075 \text{ km}^2$) e profundidade média de 2,1 m (Fig. 1c). A lagoa Três Irmãs como um todo se situa em terreno relativamente plano (SAHOO et al., 2017).

O clima da região é tropical de monção, com uma temperatura média anual de cerca de 26° C . O total anual de precipitação varia de 1800 a 2300 mm, com média total por volta de 1550 mm durante a estação chuvosa (novembro a maio) e de 350 mm durante a temporada de estiagem (junho a outubro) (MORAES et al., 2005).

Figura 1: a) Localização geográfica da Serra dos Carajás e seu entorno mostrando áreas protegidas cobertas por floresta em contraste com áreas desmatadas e destacando o platô S11 na Serra Sul de Carajás (ponto vermelho); b) Área de ocorrência das lagoas do Violão e do Amendoim, sobre crosta ferruginosa recoberta, em geral, por vegetação de canga rupestre em contato direto com a floresta amazônica no Bloco S11D; c) Área de ocorrência da Lagoa três Irmãs (TI1, TI2 e TI3) no Bloco S11A.



Fonte: (SAHOO et al., 2016) modificado.

3.1.1 Hidrografia

A Serra de Carajás posiciona-se na porção central da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, sendo drenada a leste pelo rio Parauapebas e a oeste pelo alto Itacaiúnas (Figura 2). Esta bacia engloba os principais projetos de mineração da Vale (Ferro em Serra Norte, S11D e Serra Leste; cobre em Salobo e Sossego; Níquel em Onça-Puma; Manganês no Azul), e diversas unidades de conservação de uso sustentável (SOUZA FILHO et al., 2015), entre as quais a Floresta Nacional de Carajás, onde localizam-se as lagoas do Amendoim, do Violão e Três Irmãs. O sistema aquífero é meta-vulcano-sedimentar, que tem como característica o acúmulo de grande volume de água. As lagoas são do tipo doliniforme, sendo alimentadas por escoamento pluvial e hidrologicamente restritas. Porém, no período chuvoso, todo o sistema Três Irmãs passa a ter conexão superficial (GOLDER, 2010) (Figura 1c). Para GAT (2007), a região dos platôs, que coincide com a Serra dos Carajás, caracteriza-se por bacias nas quais predominam cursos de água de regime perene.

Legenda

- Empreendimentos VALE
- Alto Curso
- Médio Curso
- Baixo Curso

0 10 20 40 60 km

27

3.1.2 Geologia Regional

As lagoas em estudo estão localizadas em platôs recobertos de modo geral por cangas ferruginosas (lateritas) formadas a partir de rochas do Grupo Grão-Pará (Supergrupo Itacaiúnas), subdividido em duas unidades: Formação Parauapebas constituída por rochas metavulcânicas máficas a intermediárias, e Formação Carajás formada por formações ferríferas bandadas (BIFs) a base de intercalações de óxidos de ferro e sílica. Os platôs são favoráveis ao desenvolvimento de processos indutores de formação de crostas lateríticas as quais são afetadas na região por processos de dissolução e corrosão que favorecem a sua desagregação (SILVA et al., 2013).

Segundo Maurity e Kotschoubey (1995), são notáveis nestas crostas cavidades de dimensões muito variadas, as quais podem estar indiretamente relacionadas com a formação das lagoas. Nesta área, a crosta ferruginosa se desenvolve sobre formações ferríferas e é representada principalmente por crosta laterítica ferrífera e crosta laterítica detrítica, com crosta laterítica ferro-aluminosa subordinada (MAURITY, 2015. Inédito).

Para fins operacionais, os técnicos da Vale dividem as crostas de laterita em apenas duas categorias: uma crosta química, que cobre preferencialmente as rochas vulcânicas, e uma crosta rígida (duricrust), composta essencialmente por óxidos de ferro, gerada a partir das formações ferríferas bandadas e correspondente à mineralização de ferro (SILVA et al., 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

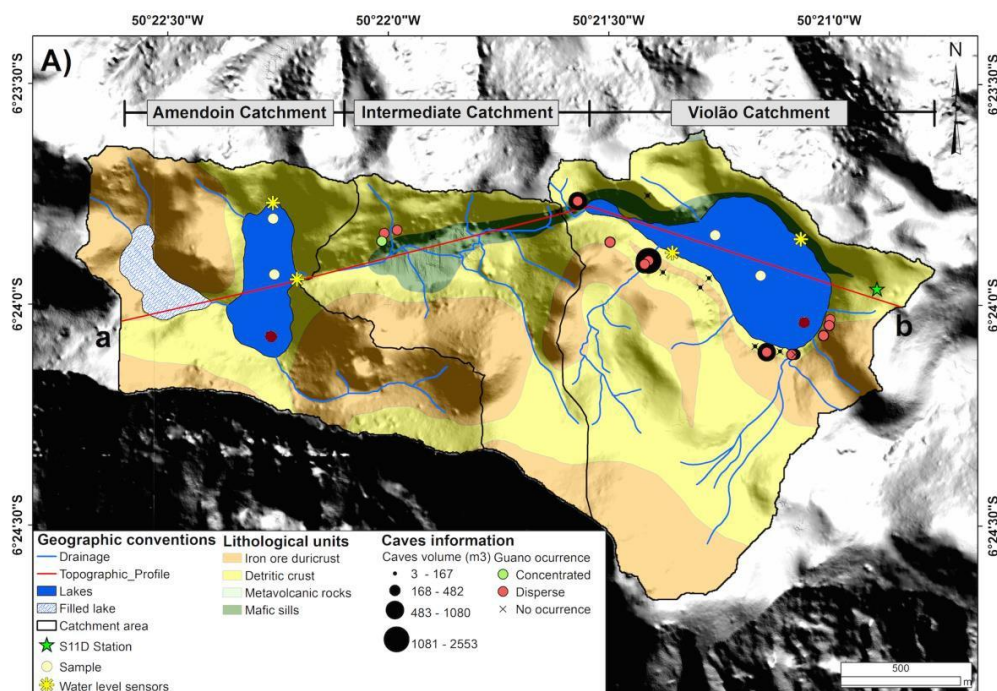
4.1 Amostragem

Para a avaliação da qualidade da água, foram coletadas ao longo dos últimos anos, por pesquisadores do Grupo de Geologia Ambiental e Recursos Hídricos (GGARH) do ITVDS, amostras em diferentes períodos do ano (período de estiagem e chuvoso), de modo a permitir uma avaliação da influência das variações sazonais na qualidade da água. Primeiramente, nos anos de 2013 e 2014, foram realizadas coletas em três pontos de amostragem em cada uma das lagoas do Amendoim e

Violão, e, em cada ponto, em três camadas (epilímnio, metalímnio e hipolímnio). Já em 2015, as coletas se deram nos meses de março (na camada do epilímnio) e agosto (no epilímnio e hipolímnio), e em apenas dois pontos de amostragem em cada uma das lagoas citadas. Finalmente em 2016, os trabalhos de campo e amostragem foram efetuados nos meses de março e setembro e nas camadas do epilímnio e hipolímnio, nos mesmos pontos da campanha de 2015 (Figs. 3 e 4). A redução dos pontos de amostragem em 2015 e 2016 se justifica por não ter havido grande variação nos resultados obtidos nos diferentes pontos nos anos de 2013 e 2014, os quais puderam, portanto, ser comparados com os dados das coletas mais recentes.

Os pontos de amostragem nas lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs (Figs. 3 e 4) foram definidos com base na batimetria, mapa de drenagem e aparente representatividade ao longo de perfis longitudinais. Parte dos parâmetros físico-químicos foi medida *in situ* no momento da amostragem, sendo as análises complementares realizadas em laboratório.

Figura 3: Pontos de amostragem nas lagoas do Amendoim e do Violão, para estudos de qualidade da água nos anos de 2013 e 2014 (pontos brancos e marrons) e pontos de amostragem nos anos de 2015 e 2016 (pontos brancos).



Fonte: (SAHOO et al., 2016).

A segunda parte da pesquisa foi desenvolvida a partir de 2015 na lagoa Três Irmãs. Esta é dividida em três unidades distintas, denominadas informalmente de Três Irmãs 1, 2 e 3 (TI1, TI2 e TI3). Para o monitoramento da qualidade da água da lagoa Três Irmãs, procedeu-se a amostragem de 2 pontos (epilímnio e hipolímnio), 1 ponto (epilímnio) e 3 pontos (epilímnio, metalímnio e hipolímnio) em TI1, TI2 e TI3, respectivamente (Fig. 4). As coletas se deram nas estações de estiagem e chuvosa. Em 2015, as coletas se deram nos meses de abril e agosto e, em 2016, nos meses de março e setembro.

Figura 4: Pontos de amostragem na Lagoa Três Irmãs (TI1, TI2 e TI3).



4.2 Determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos

As amostras de água foram coletadas por meio de um amostrador Van Dorn tipo garrafa de 5L e transferidas para frascos de vidro de borosilicato de cor âmbar e polietileno, com adição de soluções conservantes e o armazenamento foi efetuado seguindo as normas de APHA, (2005) e USEPA, (2013). Antes das coletas o ambiente dos frascos foi devidamente preparado. Em seguida as amostras foram

enviadas a laboratório de Meio Ambiente certificado Bioagri, para análise, tendo sido mantidas em temperatura $\leq 4^{\circ}\text{C}$.

Nos pontos de amostragem foram determinados *in-situ* por um Sistema de Monitorização da Qualidade da Água (equipamento: Sonda Multi-parâmetro Horiba W-20XD) parâmetros físico-químicos, tais como temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), Condutividade elétrica (CE) e Turbidez. Para análise da transparência da água utilizou-se o disco Secchi. Os parâmetros inorgânicos, orgânicos, bacteriológicos e hidrobiológicos foram analisados nas amostras de água usando metodologias analíticas prescritas em EPA (2004), SMEWW (2005) e CETESB (2005, 2014).

Os principais parâmetros utilizados para verificação da qualidade das águas das lagoas foram: Clorofila-a (Clor-a), coliformes termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Secchi, Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e Turbidez. Parte destes parâmetros foi utilizada no cálculo de Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET), conforme estabelecido pela CETESB e pela Resolução CONAMA 357/05 e suas alterações, que estabelecem condições e padrões para o enquadramento de corpos de água superficiais e sua classificação. É importante frisar que no cálculo de IQA modificado pela CETESB, recomenda-se o uso do parâmetro Resíduo Total, porém, devido à ausência de dados em alguns pontos de amostragem, tal parâmetro foi substituído por SDT.

Foram analisados também metais pesados: Alumínio Dissolvido (Al), Cálcio (Ca), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro Dissolvido (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Prata (Ag), Urânio (U), Vanádio (V) e Zinco (Zn). Além dos já citados, também foram determinados outros parâmetros e elementos que são úteis na caracterização da qualidade da água: Arsênio (As), Boro (B), Carbono Orgânico Total (TOC), Cianobactéria, Cloreto, Coliformes Totais, Escherichia coli, Fluoreto, Amônio, Selênio (Se) e Sulfato (SO_4).

Todos os parâmetros analisados juntamente com seus respectivos métodos analíticos constam da Tabela 1, enquanto que o tipo de preservação da amostra,

prazo de análise e volume de amostra, respeitando as normas de APHA e USEPA, são fornecidos na Tabela 2.

Tabela 1: Métodos empregados para determinação de cada parâmetro analisado

Análises Hidrobiológicas	Método
Clorofila a	³ CETESB, Método de Ensaio L5.306 /2014 - Determinação de pigmentos fotossintetizantes Clorofila abc e Feofitina a
Contagem de cianobactérias	³ CETESB, Método de Ensaio L5.303 /2005 - Fitoplâncton de água doce métodos qualitativo e quantitativo
Parâmetros Inorgânicos	Método
Ânions (Cl ⁻ , F ⁻ , N-NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻)	¹ SMEWW 4110B: Cromatografia Iônica
Arsênio Total	¹ SMEWW 3114 B
DBO 5 dias	SMEWW 5210 B: Incubação/Titulometria
Fósforo Total (Total)	SMEWW 4500P, B e E: Digestão/Colorimetria
Mercúrio Total	SMEWW 3112 B
Metais Dissolvidos (Al, Cu, Fe)	SMEWW 3030 B, C, D, E, F: Tratamento da amostra e SMEWW 3120 B: ICP
Metais Totais (B, Cd, Pb, Co, Cr, Mn, Ni, Ag, U, V, Zn)	SMEWW 3030 C, D, E, F: Tratamento da amostra e SMEWW 3120 B: ICP
Nitrogênio Amoniacal	SMEWW 4500NH ₃ B, C: Destilação/Titulometria SMEWW 4500NH ₃ B, F: Destilação/Colorimetria
Selênio Total	SMEWW 3114 B
Sólidos Dissolvidos Totais	SMEWW 2540 C: Filtração/Gravimetria
Parâmetros Microbiológicos	Método
Coliformes Termotolerantes	SMEWW 9222 B-D: Membrana Filtrante
Coliforme Totais	SMEWW 9222 B-D: Membrana Filtrante
Escherichia coli	SMEWW 9230 C – 3c: Membrana Filtrante
Parâmetros Orgânicos	Método
Carbono Orgânico Total	² EPA 9060

¹SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

²EPA: United States Environmental Protection Agency.

³CETESB (2005, 2014): Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Tabela 2: Recomendações sobre a forma de preservação, prazo de realização de análise e quantidade de amostra a ser armazenada e encaminhada ao laboratório, segundo as especificidades de cada parâmetro.

Parâmetro	Preservação	Prazo	Vol. ml
pH	Refrigeração	2 horas	100
Condutividade	Refrigeração	28 dias	100
Turbidez	Refrigeração	24 horas	100
SDT	Refrigeração	7 dias	250
Cloreto	Refrigeração	28 dias	200
Fluoreto	Refrigeração	28 dias	100
DBO	Refrigeração a 4°C	24 horas	1000
OD	Refrigeração a 4°C, HCl para pH < 2	8 horas	300
N amoniacal	Refrigeração a 4°C, H ₂ SO ₄ para pH < 2	7 dias	1000
Nitrato	Refrigeração	48 horas	100
Fósforo total	Refrigeração a 4°C, H ₂ SO ₄ para pH < 2	28 dias	100
Metais em geral	Adição de HNO ₃	6 meses	500
Ferro Dissolvido	Filtração com membrana e adição de HCl	6 meses	50
Hg	Adição de HNO ₃ /Refrigeração	30 dias	500
Cromo total	Refrigeração	24 horas	250
Sulfato	Refrigeração	24 horas	250

American Public Health Association (APHA, 2005); United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2013).

4.3 Tratamento Estatístico dos Dados

Uma vez obtidos os resultados analíticos, foi feito o cálculo de IQA e IET, a fim de verificar o estado em que se encontram as águas, tomando como referência a legislação da Resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Segundo CETESB (2016), o IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice, conforme a fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA. Sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Os valores do índice variam entre 0 e 100. Após o cálculo, os índices de cada ponto analisado nas lagoas são categorizados em níveis de qualidade, conforme especificado na Tabela 3.

Tabela 3: Faixas de classificação do Índice de Qualidade de Água para água bruta.

Ponderação	Categoria	Cor
79 < IQA ≤ 100	Ótima	
51 < IQA ≤ 79	Boa	
36 < IQA ≤ 51	Regular	
19 < IQA ≤ 36	Ruim	
IQA ≤ 19	Péssima	

Fonte: (CETESB, 2016).

Para a determinação do Índice de Estado Trófico para ambientes lênticos foram utilizadas as equações de Índice de Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004):

$$\text{IET (CL)} = 10(6 - ((0,92 - 0,34(\ln \text{CL})) / \ln 2))$$

$IET (PT) = 10(6-(1,77-0,42(\ln PT)/\ln 2))$, sendo PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$; CL: concentração de clorofila-a medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$ e $\ln$: logaritmo natural.

$IET (\text{Secchi}) = 10x(6-(\ln \text{Secchi})/\ln 2)$; Secchi: mede a transparência da água, pela profundidade alcançada no corpo hídrico em (m).

Sendo o IET final resultante da média aritmética simples dos índices relativos a Fósforo Total, Clorofila a e Secchi:

$$IET = [IET (PT) + IET (CL) + IET (\text{Secchi})] / 3.$$

Sua classificação é indicada por categorias conforme Tabela 4.

Tabela 4: Classificação do Estado Trófico (IET), para reservatórios.

Categoria	Ponderação	Secchi (m)	PT ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	Cor
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$S \geq 2,4$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$	
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$2,4 > S \geq 1,7$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$	
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$1,7 > S \geq 1,1$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$	
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$1,1 > S \geq 0,8$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$	
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$0,8 > S \geq 0,6$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$	
Hipereutrófico	$IET > 67$	$0,6 > S$	$233 < P$	$69,05 < CL$	

Fonte: (CETESB, 2016; Lamparelli, 2004).

Como ainda não foram definidos os respectivos enquadramentos, segundo a Resolução 357/05 do CONAMA, as águas das lagoas estão enquadradas em classe 2 que podem ser destinadas a: abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças; aquicultura; e atividade de pesca.

A terceira fase se deu com o processamento de dados realizado com o software R, versão 3.3.2, utilizando-se o pacote estatístico “vqv/ggbiplot” (R Core Team, 2012), para Análise de Componentes Principais.

A fim de melhor visualizar a distribuição dos dados e parâmetros que mais influenciam a qualidade da água das lagoas, aplicou-se a técnica de Análise de

Componentes Principais (PCA), que permite apresentar em gráfico todo o conjunto de dados, facilitando a interpretação dos resultados.

A técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) tem como principal objetivo explicar a variância e covariância entre as variáveis de uma matriz (MINGOTI, 2005). A PCA se origina dessa matriz de covariância e descreve por meio de gráficos a distribuição das multivariáveis a fim de se obter autovalores e autovetores. A expressão construída das variáveis originais e de autovetores a partir de um conjunto de dados resulta em novas variáveis que são denominadas de componentes principais (PARREIRA, 2003).

Foi aplicada a Análise dos Componentes Principais (PCA), na tabela de dados, contendo os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de qualidade de água das lagoas Amendoim, Violão e Três Irmãs. Isso permitiu estabelecer associações entre variáveis ambientais, reduzindo, portanto, sua dimensionalidade, bem como avaliar a contribuição de cada variável na caracterização dos corpos d'água e associações entre as lagoas. Todas as variáveis foram logaritimizadas a fim de normalizar a distribuição dos dados, sem perda de sua integridade.

A PCA é dada por:

$$Z_{ij} = a_{i1} X_{1j} + a_{i2} X_{2j} + a_{i3} X_{3j} + \dots + a_{in} X_{nj} \quad (II)$$

Onde, Z = é a pontuação do componente; a = carga do componente (score); X = valor medido da variável; i = número da componente; j = número da amostra e; n = número total de variáveis (AYENI; SONEYE, 2013).

É importante salientar que os dados processados neste trabalho estavam completos, caso contrário o elemento faltante seria desconsiderado pelo software e a PCA seria feita com base em apenas (n - 1) dados amostrais, levando a resultados não confiáveis (MINGOTI, 2005).

PCA é uma excelente técnica exploratória de dados multivariados podendo ser utilizada em conjunto com outras técnicas, dentre elas a análise de cluster. É um método de grande relevância para descrever as variações e interações de ecossistemas (GAUCH, 1982), sendo amplamente aplicado em estudos de rios. Está sendo utilizado em várias ciências como química, física e biologia (RIBEIRO, 2001).

5 RESULTADOS

5.1 Características Limnológicas

Realizou-se como passo inicial para avaliação da qualidade da água a análise descritiva dos dados dos parâmetros físico-químicos, hidrobiológicos e microbiológicos obtidos nas cinco lagoas, nos períodos de estiagem e chuvoso, apresentados nas Tabelas 5 e 6, bem como o limite permitido para cada variável segundo a Resolução Conama 357/05. Foram destacados os valores que estão em não conformidade com a mesma. Verificou-se não conformidade entre alguns parâmetros de qualidade da água nos períodos e anos de estudo, assim destacados: Fósforo Total, DBO, pH, Clorofila a, Ferro Dissolvido, Zinco e Cádmio Total.

Essas características estão relacionadas, em parte, ao grau de trofia das lagoas, as quais são extremamente sensíveis às variações. Os valores médios de Fósforo total nas duas estações não apresentam desconformidade com a legislação em vigor, havendo apenas concentrações pontuais elevadas em TI1 no período de estiagem e em TI3 no período chuvoso, que correspondem aos valores máximos (Tabelas 5 e 6; Tabela 9). Esse nutriente, quando presente em teores elevados, desencadeia o crescimento de microrganismos, bem como de algas, sendo estas favorecidas por alta concentração de clorofila a, tal como observado em TI1 durante o período de estiagem. Os microrganismos irão demandar maior oxigênio dissolvido para seu metabolismo e isto irá se refletir no aumento de DBO, principalmente nas lagoas TI1, TI2 e TI3, nos dois períodos (Tabelas 5 e 6).

Um dos fatores positivos nas lagoas é que apesar de determinadas concentrações de nutrientes se manterem sempre elevadas, não são suficientes para afetar a oxigenação dos corpos d'água, mesmo nas camadas inferiores de estratificação (Tabelas 5 e 6; Tabela 9).

Outro fator de importância é o pH nos corpos hídricos, que são ácidos a ligeiramente ácidos em todas as lagoas estudadas. No período de estiagem a acidez é mais acentuada do que no período chuvoso. Segundo a literatura, isso ocorre pela

liberação de gás carbônico devida à concentração de compostos orgânicos decompostos em água (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008). As condições de pH podem afetar a solubilidade de nutrientes, bem como a precipitação de metais pesados (CETESB, 2009), pois em condições de meio ácido, os micronutrientes são mais solúveis (SILVEROL, 2006).

Quando há concentrações consideráveis de nutrientes como fósforo e nitrogênio no corpo d'água, ocorre o processo de fotossíntese, realizada por algas e plantas aquáticas, e são reduzidas as concentrações de gás carbônico no mesmo. Esse processo eleva o pH, deixando-o básico (WETZEL, 2001). Por outro lado, quando os nutrientes desaparecem, as algas morrem, sedimentam e se decompõem, liberando gás carbônico na água, o que causa diminuição do pH, deixando-o ligeiramente mais ácido. Ao que tudo indica, isto se verifica nas lagoas estudadas.

Além disso, o metal ferro quando dissolvido também contribui para o aumento de acidez nos corpos d'água porque produz H^+ no processo de hidrólise. Isto deve ocorrer principalmente na Lagoa TI1 nos dois períodos de estudo. (Tabelas 5 e 6) (SAHOO et al., 2017). Além desta hipótese, pode-se considerar que a causa do valor médio de Ferro Dissolvido na Lagoa TI1 permanecer acima do estabelecido em legislação, nas duas estações e com maior concentração na estiagem, se deve, em princípio, aos processos de erosão e lixiviação das crostas ferruginosas da bacia de captação desta lagoa, com o transporte em solução de ferro para o interior da lagoa, acarretando aumento na concentração deste elemento. Como a água de TI1 flui lentamente para a lagoa TI2 e, em seguida, para a lagoa TI3, nas últimas tende a diminuir gradativamente a concentração do ferro. Este processo é acentuado pela diluição mais acentuada na lagoa TI3, pois esta apresenta maior superfície e profundidade. Isto explicaria porque TI2 e TI3 estão conformes com a legislação de referência em relação à tal parâmetro (Figura 1c).

O metal cádmio apresentou geralmente valores abaixo do limite de detecção. Porém, na lagoa do Violão, no período chuvoso, apresenta valor médio de 0,147 mg/L, acima do máximo permitido pela Resolução Conama 357/05, que estabelece 0,001 mg/L (Tabelas 5 e 6). Há evidências de ocorrência de rochas

máficas na região norte da lagoa do Violão (SAHOO et al., 2015), bem próximo do local onde se situa o ponto de amostragem que apresentou anomalia de cádmio. O cádmio tende a se associar ao zinco e a sulfetos que poderiam estar presentes nas rochas metamáficas, porém não se tem comprovação disso. Portanto, não se tem uma explicação conclusiva para este valor anômalo isolado de cádmio.

O elemento zinco não apresentou desconformidade, exceto de maneira muito pontual e em termos de seu valor máximo, na lagoa TI1 no período chuvoso e na lagoa do Amendoim no período de estiagem (Tabelas 5 e 6; 9). A origem destes valores anômalos localizados é igualmente pouco evidente porque não há nas lagoas em questão fontes capazes de explicar tais concentrações.

Tabela 5: Estatística Descritiva dos parâmetros de qualidade da água das lagoas estudadas, no período de Estiagem dos anos 2015 e 2016.

Parâmetros	Limite Resol. CONAMA N° 357/05	TI1			TI2			TI3			VL			AM			Limite de Detecção
	Classe II	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	
Temperatura (°C)	-	28,49	30,10	26,70	29,67	29,70	29,63	26,87	28,14	25,69	27,56	29,80	25,73	27,79	28,80	27,26	
Nitrato (mg/L)	10 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<2,2
Nitrog. Amoniacal (mg/L)	<3,7mg/L,	LMD	LMD	LMD	0,18	0,20	0,17	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,1
PT (ug/L)	30 (ug/L)	23,75	40	LMD	LMD	LMD	LMD	10,56	20,00	LMD	11,25	20,00	LMD	10,00	10,00	LMD	<10
OD (mg/L)	Não inferior a 5 (mg/L)	7,65	10,50	5,20	10,30	10,40	10,20	7,47	10,40	5,50	7,59	9,20	6,50	7,13	8,30	6,00	
DBO (mg/L)	No máximo 5 (mg/L)	5,73	8,10	LMD	4,50	6,00	LMD	4,39	27,40	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<3
pH	6,0 a 9,0	5,46	6,27	4,99	5,02	5,24	4,80	4,83	5,55	3,98	4,95	5,40	4,01	4,80	5,27	4,29	
CE (uS/cm)	-	6,38	12,00	2,00	14,50	27,00	2,00	7,50	16,00	2,00	5,38	9,00	3,00	7,75	16,00	3,00	
SDT (mg/L)	500 (mg/L)	4,00	6,00	2,00	7,50	13,00	2,00	4,22	8,00	2,00	3,13	5,00	2,00	4,13	8,00	2,00	
Turbidez (UNT)	Até 100 (UNT)	6,21	7,30	5,10	4,75	6,90	2,60	3,41	19,50	0,50	1,54	2,40	0,20	0,08	0,30	0,00	
Col. T (NMP/100mL)	-	290,63	556,00	86,00	161,50	279,00	44,00	29,89	134,00	LMD	62,63	173,00	LMD	135,13	624,00	LMD	<10
TOC (mg/L)	-	8,21	10,00	6,10	3,85	5,20	2,50	3,30	13,20	1,60	3,76	5,00	3,00	1,78	3,10	LMD	<1
Cianob (cel/mL)	50.000 (cel/mL)	7.270,00	28.300,00	LMD	LMD	LMD	LMD	14.942,78	44.200,00	1.630,00	159,13	437,00	LMD	45,00	177,00	LMD	<3
Clor_a (ug/L)	30 (ug/L)	15,13	46,00	5,00	5,50	8,00	LMD	4,61	12,00	LMD	3,00	3,00	LMD	LMD	LMD	LMD	<3
Secchi (m)	-	0,90	1,00	0,80	0,95	1,40	0,50	2,27	2,50	1,95	1,90	2,10	1,70	3,45	4,50	2,40	

Alumínio Dissolvido (mg/L)	0,1 (mg/L)	0,021	0,039	0,008	0,051	0,062	0,040	0,004	0,009	LMD	0,005	0,013	LMD	0,004	0,008	LMD	<0,001
Arsênio Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Boro Total (mg/L)	0,5 (mg/L)	0,004	0,024	LMD	0,012	0,024	LMD	0,002	0,011	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cádmio Total (mg/L)	0,001 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cálcio Total (mg/L)	-	0,39	1,81	0,10	0,49	0,59	0,39	0,23	0,74	0,09	0,23	0,43	0,12	0,33	1,10	LMD	<0,001
Chumbo Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cloreto Total (mg/L)	250 (mg/L)	1,03	1,50	LMD	1,60	1,80	1,40	0,93	1,16	LMD	0,92	1,40	0,65	0,92	1,00	0,75	<1
Cobalto Total (mg/L)	0,05 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cobre Dissolvido (mg/L)	0,009 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	0,002	0,003	0,002	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cromo Total (mg/L)	0,05 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Ecoli (NMP/100mL)	-	11,25	20,00	LMD	10,50	20,00	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<10
Ferro Dissolvido (mg/L)	0,3 (mg/L)	0,398	0,637	0,013	0,100	0,168	0,032	0,024	0,077	LMD	0,033	0,102	0,009	0,022	0,054	LMD	<0,001
Fluoreto Total (mg/L)	1,4 (mg/L)	LMD	0,170	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	0,160	LMD	LMD	0,150	LMD	LMD	0,250	LMD	<0,1
Manganês Total (mg/L)	0,1 (mg/L)	0,010	0,011	0,007	0,015	0,015	0,015	0,008	0,010	0,005	0,008	0,010	0,006	0,007	0,009	0,006	
Mercúrio Total (mg/L)	0,0002 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,0001
Níquel Total (mg/L)	0,025 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
NT (mg/L)	1,27 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,5
Prata Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Selênio Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001

Sulfato Total (mg/L)	250 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<5
Urânio Total (mg/L)	0,02 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Vanádio (mg/L)	0,1 (mg/L)	LMD	0,002	LMD	0,002	0,002	LMD	LMD	0,003	LMD	LMD	0,002	LMD	LMD	0,002	LMD	<0,001
Zinco (mg/L)	0,18 (mg/L)	0,020	0,082	LMD	0,028	0,028	0,028	0,012	0,040	LMD	0,014	0,034	LMD	0,057	0,374	LMD	<0,001

LMD: Limite Mínimo de Detecção; Med: Média; Máx: Máximo; Mín: Mínimo; Nitrog. Amoniacal: Nitrogênio Amoniacal; PT: Fósforo Total; OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; CE: Condutividade Elétrica; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; Col. T: Coliformes Totais; TOC: Carbono Orgânico Total; Cianob: Cianobactéria; Clor_a: Clorofila a; Ecoli: Escherichia coli e NT: Nitrogênio Total.

Tabela 6: Estatística Descritiva dos parâmetros de qualidade da água das lagoas estudadas, no período Chuvoso dos anos 2015 e 2016.

Parâmetros	Limite Resol. CONAMA N° 357/05	TI1			TI2			TI3			VL			AM			Limite de Detecção
	Classe II	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	
Temperatura (°C)	-	28,37	29,70	27,00	28,40	29,00	27,80	27,66	28,80	26,89	28,50	29,90	27,70	27,98	28,60	27,45	
Nitrato (mg/L)	10 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	2,38	3,10	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<2,2
Nitrog. Amoniacal (mg/L)	<3,7mg/L,	LMD	LMD	LMD	0,11	0,12	0,11	0,11	0,22	LMD	0,10	LMD	LMD	0,11	0,13	LMD	<0,1
PT (ug/L)	30 (ug/L)	13,75	30,00	LMD	20,00	30,00	LMD	12,78	40,00	LMD	LMD	LMD	LMD	10,00	10,00	LMD	<10
OD (mg/L)	Não inferior a 5 (mg/L)	8,25	11,70	6,50	10,25	12,30	8,20	7,46	8,60	6,10	9,55	12,30	7,40	8,84	13,30	6,80	
DBO (mg/L)	No máximo 5 (mg/L)	4,78	9,00	LMD	6,95	10,90	LMD	3,36	6,30	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<3
pH	6,0 a 9,0	5,38	5,60	4,80	5,50	5,70	5,29	4,99	5,48	3,60	5,57	5,80	5,20	5,09	5,30	4,80	

CE (uS/cm)	-	8,13	16,00	4,00	15,00	15,00	15,00	12,33	26,00	5,00	27,67	67,00	4,00	25,83	51,00	4,00	
SDT (mg/L)	500 (mg/L)	5,13	8,00	3,00	7,00	8,00	6,00	6,94	12,00	3,00	15,50	40,00	3,00	13,50	25,00	3,00	
Turbidez (UNT)	Até 100 (UNT)	5,60	9,20	3,20	5,45	7,50	3,40	1,94	3,40	0,40	2,73	3,80	2,00	0,66	0,90	0,40	
Col. T (NMP/100mL)	-	322,88	914,00	22,00	268,00	457,00	79,00	273,50	961,00	LMD	106,00	172,00	LMD	251,83	961,00	LMD	<10
TOC (mg/L)	-	8,45	12,00	6,60	6,05	7,60	4,50	3,37	5,60	2,10	3,10	4,10	2,10	3,02	3,90	2,10	
Cianob (cel/mL)	50.000 (cel/mL)	166,75	603,00	LMD	107,00	211,00	LMD	641,56	1.980,00	35,00	LMD	LMD	0,00	5,83	26,00	LMD	<3
Clor_a (ug/L)	30 (ug/L)	4,63	9,00	LMD	5	7	LMD	3,06	4,00	LMD	5,43	10,00	LMD	LMD	LMD	LMD	<3
Secchi (m)	-	1,38	1,80	1,00	1	1	1	2,50	2,50	2,50	2,25	2,50	2,00	3,75	4,00	3,50	
Alumínio Dissolvido (mg/L)	0,1 (mg/L)	0,017	0,035	0,004	0,061	0,068	0,054	0,012	0,018	0,007	0,021	0,055	0,008	0,020	0,022	0,017	<0,001
Arsênio Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Boro Total (mg/L)	0,5 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	0,001	0,002	LMD	<0,001
Cádmio Total (mg/L)	0,001 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	0,147	0,460	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cálcio Total (mg/L)	-	0,249	0,803	0,115	0,492	0,497	0,487	0,238	1,510	0,115	0,169	0,200	0,149	0,886	3,400	0,154	<0,001
Chumbo Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	0,003	0,004	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cloreto Total (mg/L)	250 (mg/L)	1,38	2,20	LMD	1,45	1,90	LMD	1,56	4,40	LMD	8,13	16,10	1,70	3,18	6,60	1,10	<1
Cobalto Total (mg/L)	0,05 (mg/L)	0,001	0,004	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cobre Dissolvido (mg/L)	0,009 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Cromo Total (mg/L)	0,05 (mg/L)	0,002	0,009	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Ecoli (NMP/100mL)	-	LMD	19,00	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	140,00	LMD	LMD	10,00	LMD	LMD	LMD	LMD	<10

Ferro Dissolvido (mg/L)	0,3 (mg/L)	0,337	0,566	0,213	0,151	0,184	0,118	0,045	0,179	LMD	0,124	0,229	0,027	0,085	0,121	0,053	<0,001
Fluoreto Total (mg/L)	1,4 (mg/L)	0,110	0,360	LMD	LMD	LMD	LMD	0,081	0,130	LMD	0,253	0,710	LMD	0,455	0,590	LMD	<0,1
Manganês Total (mg/L)	0,1 (mg/L)	0,009	0,011	0,007	0,008	0,008	0,008	0,009	0,012	0,007	0,010	0,011	0,009	0,011	0,013	0,010	
Mercúrio Total (mg/L)	0,0002 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,0001
Níquel Total (mg/L)	0,025 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
NT (mg/L)	1,27 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,5
Prata Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Selênio Total (mg/L)	0,01 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Sulfato Total (mg/L)	250 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	5,10	6,87	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<5
Urânio Total (mg/L)	0,02 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Vanádio (mg/L)	0,1 (mg/L)	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	LMD	<0,001
Zinco (mg/L)	0,18 (mg/L)	0,058	0,321	0,004	0,041	0,070	0,012	0,032	0,140	0,003	0,007	0,008	0,006	0,045	0,059	0,006	<0,001

LMD: Limite Mínimo de Detecção; Med: Média; Máx: Máximo; Mín: Mínimo; Nitrog. Amoniacal: Nitrogênio Amoniacal; PT: Fósforo Total; OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; CE: Condutividade Elétrica; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; Col. T: Coliformes Totais; TOC: Carbono Orgânico Total; Cianob: Cianobactéria; Clor_a: Clorofila a; Ecoli: Escherichia coli e NT: Nitrogênio Total.

Após avaliação preliminar da gama de parâmetros determinados e de sua importância para a qualidade da água, realizou-se análise descritiva dos dados por meio de correlação de Pearson, a fim de sintetizar o grau de relacionamento entre as variáveis.

A correlação foi gerada entre todos os parâmetros físico-químicos, microbiológicos e elementos metálicos determinados nas águas das lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs, e já apresentados na metodologia deste trabalho. Foram automaticamente excluídas da análise estatística as variáveis com valores abaixo do limite mínimo de detecção (lmd). Neste tipo de tratamento estatístico, se a correlação for $p=0$ significa que não há correlação entre as variáveis e, numa hipótese alternativa, quando $p \neq 0$, existe correlação. No caso de correlação perfeita r é igual a ± 1 , podendo ser positiva ($r = 1$) ou negativa ($r = -1$) (LIRA, 2004). Gholami (2014, adaptado), classifica a correlação em perfeita ($r=1$), forte ($1 > r \geq 0,75$), moderada ($0,75 > r \geq 0,5$), fraca ($0,5 > r > 0$) e inexistente ($r=0$).

Nas Tabelas 7 e 8, destacam-se as variáveis que apresentam maior coeficiente de correlação positiva e negativa, estatisticamente significantes ($p < 0,05$) de probabilidade de erro pelo teste t , com intervalo de confiança de 95%, que é a significância mais utilizada para este tipo de estudo (MINGOT, 2005). Muitos parâmetros apresentam correlação moderada positiva nas duas estações ou pelo menos em uma delas e foram destacados em negrito nas tabelas 7 e 8. Serão discutidas a seguir, algumas destas correlações consideradas mais significativas.

Destacam-se similaridades na correlação nos dois períodos, de estiagem e chuvoso, entre as variáveis SDT e condutividade elétrica; DBO e TOC; TOC e Ferro; Condutividade elétrica e Cloreto; SDT e Cloreto. Portanto, em relação a estes parâmetros, há pouca variação sazonal e as correlações observadas podem ser explicadas de modo geral pelas fortes analogias existentes entre o ambiente geológico em que se situam as lagoas estudadas e os processos de intemperismo atuantes em sua área de ocorrência.

A variação da condutividade elétrica está associada aos íons liberados na água. Sabe-se que se intensifica a transmissão da corrente elétrica com o aumento de substâncias inorgânicas na água (PROSAB, 2006), tais como sulfato, cloreto,

cálcio e magnésio (SABESP, 1999). A presença destes elementos na água é devida a fatores naturais, tais como dissolução de rochas e escoamento superficial, e suas concentrações na água são, em geral, bem inferiores aos limites estabelecidos em legislação. Constatou-se, tanto no período de estiagem, quanto no período chuvoso, forte correlação positiva entre SDT e condutividade elétrica, com valores de 0,99 e 0,98, respectivamente (Tabelas 7 e 8). Durante a estação de estiagem, cloreto, apresenta correlação moderada com Sólidos Dissolvidos Totais (0,59) e condutividade elétrica (0,58) (Tab. 7). Estas mesmas correlações ocorrem na estação chuvosa (0,64 e 0,65, respectivamente) (Tab. 8). Portanto, dentre as substâncias mencionadas, o cloreto exerce maior influência na qualidade da água das lagoas nas duas estações. Além disso, as correlações observadas indicam que sua influência é intensificada um pouco mais na estação chuvosa, mas o contraste com a estação de estiagem não é acentuado.

Segundo Meybeck et al. (1992), as características da água doce superficial são bastante influenciadas por condições naturais. As concentrações de sais dissolvidos são dependentes da cobertura vegetal e das litologias da bacia (alteração de sulfetos/sulfatos das rochas), e de sua suscetibilidade a processos de intemperismo e erosão.

Na lagoa do Apodi no Rio Grande do Norte, a variação sazonal influenciou diretamente na concentração de sais na água, havendo maior concentração de sais no período seco, devido à evaporação da água e, logo, maior condutividade elétrica naquele período (LEMOS; NETO; DIAS, 2010).

No caso das lagoas do Violão, Amendoim e Três Irmãs não se verificou variação sazonal significativa, que tenha se refletido na qualidade da água.

A correlação positiva entre TOC e Ferro, registrada nos períodos seco e chuvoso, pode ser possivelmente explicada pelo predomínio ao redor das lagoas de crosta ferruginosa (Figura 1), na qual se desenvolve de modo característico a vegetação de canga rupestre. A matéria orgânica presente nesses ambientes é rica em carbono em vários estados de oxidação e parte dela deve ser transportada durante o intemperismo e lixiviação superficial para as lagoas, juntamente com materiais detríticos ou em suspensão, ricos em ferro, derivados das crostas

ferruginosas (SAHOO et al., 2016, 2017). Isto explicaria a correlação positiva entre estas duas variáveis, sendo que no período chuvoso a precipitação mais intensa acentuaria este processo e justificaria correlação mais marcante entre estes dois parâmetros (Tabelas 7 e 8).

O Carbono Orgânico Total (TOC) resulta do somatório do carbono presente em diversos compostos orgânicos, em vários estados de oxidação. Alguns destes compostos podem ser oxidados por processos biológicos ou químicos. A análise de DBO em águas busca definir a quantidade de oxigênio requerida por microrganismos para oxidar a matéria orgânica, presente em forma de carbono. A correlação positiva entre DBO e TOC se mantém nas duas estações e na estação chuvosa se constata também correlação positiva entre TOC e Turbidez (Tab. 8). A turbidez pode ser provocada, em parte, por decomposição de material orgânico rico em carbono e pode reduzir a penetração da luz, afetando o processo de fotossíntese (VON SPERLING, 2014).

Os demais parâmetros apresentam correlação em apenas uma das estações do ano.

O fósforo em ambiente lântico é fundamental para definir a trofia das lagoas, pois é um nutriente que influencia na produção primária dos ecossistemas aquáticos e no aparecimento de algas (CHAPRA, 1997; WETZEL, 2001). Nas lagoas estudadas, durante o período de estiagem, o Fósforo apresenta correlação moderada e positiva com Ferro dissolvido (0,69), Carbono Orgânico Total (0,61) e Coliformes Totais (0,54). Os ciclos geoquímicos de determinados elementos são interdependentes. Por exemplo, o ferro apresenta variações nos seus estados de oxidação e pode ocorrer na forma reduzida em rochas sedimentares associado ao carbono orgânico (BASÍLIO, 2005). A velocidade e efetividade das reações no ciclo do ferro são importantes para o transporte, liberação e/ou fixação de determinados elementos, como o fósforo que pode ocorrer na forma de elemento-traço e cuja associação com ferro dissolvido sugere a possibilidade de seu depósito por precipitação em sedimentos no fundo das lagoas (VEIGA, 2010). Tais processos muitas vezes são intermediados por ação de microrganismos, o que explica a correlação do ferro com coliformes totais (STUMM; SULZBERGER, 1992). A

correlação entre TOC e PT, também estaria atrelada ao processo de decomposição da matéria orgânica, bem como à dissolução de compostos do solo (VON SPERLING, 2014).

Os processos mencionados poderiam, em princípio, explicar as correlações moderadas entre os elementos discutidos (Tabelas 7 e 8). Porém, na estação chuvosa, o Fósforo apresenta correlação fraca e muitas vezes negativa com todos os demais parâmetros considerados (Tabela 8) e Sahoo et al. (2016) observaram nos anos de 2013 e 2014 conteúdos de Fósforo mais elevados nas águas da lagoa do Violão do que nas do Amendoim e, na primeira, nítido decréscimo relativo na estação seca. Estes comportamentos em parte contraditórios demonstram que é necessário maior volume de dados e monitoramento por período de tempo mais longo para plena compreensão dos processos envolvidos.

Em unidades de conservação, tal como a Floresta Nacional de Carajás, onde se situam as lagoas estudadas, não se pode desconsiderar a importância da análise de E. Coli de origem fecal, mesmo se não há evidência de interferência humana expressiva, pois a contaminação pode ocorrer e ser originada por animais silvestres (APHA, 2005; BRASIL, 2006b). A E. coli em si não provoca doenças, mas pode se associar à outros organismos patogênicos, tendo, portanto, importância sanitária. No período de estiagem (Tabela 7), Escherichia Coli apresenta correlação moderada com Temperatura (0,58) e Coliformes Totais (0,63) e este último parâmetro mostra adicionalmente correlação moderada com Fósforo Total (0,54) e Temperatura (0,53). Este quadro contrasta com o observado na estação chuvosa, onde Escherichia Coli não apresenta correlação significativa com nenhum parâmetro. Este quadro sugere que a concentração de Escherichia Coli foi mais acentuada durante a estação seca, o que pode ser devido à diluição durante a estação chuvosa com o aumento marcante da precipitação. Porém, os valores obtidos nas análises durante ambas estações estão abaixo do valor máximo permitido pela resolução Conama 357/05, não havendo, portanto, evidência de contaminação significativa. O fator temperatura é determinante para os processos biológicos, tais como reações que interferem no desenvolvimento de microrganismos, por isso se justifica sua correlação com coliformes totais (VON SPERLING, 2014). Na estação chuvosa,

esse fator não é determinante como se destaca na correlação negativa entre coliformes totais e temperatura (-0,57) (Tabela 8). Finalmente, as correlações negativas moderadas a fortes de E. Coli com Condutividade Elétrica (-0,74) e Sólidos Dissolvidos Totais (-0,71), observadas no período de estiagem (Tabela 7), demonstram não haver nenhuma relação entre estes parâmetros.

Ainda na estação seca (tabela 7), constata-se correlação moderada positiva de Alumínio com Cloreto (0,60), Ferro Dissolvido (0,61), e Manganês (0,64), e deste último com Temperatura (0,68), e Ecoli (0,61). Isto sugere alguma forma de ligação entre estes parâmetros, que deverá ser avaliada com outros testes estatísticos. Tem-se novamente um quadro bastante distinto na estação chuvosa onde foi registrada (Tabela 8) correlação moderada positiva de Turbidez com pH (0,52); de Oxigênio Dissolvido com Temperatura (0,69); de Temperatura com Zinco (0,54); de cloreto com clorofila a (0,53), bem como correlação moderada negativa entre pH e Cianobactérias (-0,54) e entre DBO e Manganês (-0,52).

O pH afeta a dissolução de rochas bem como a oxidação da matéria orgânica e as substâncias dissolvidas em água interferem na turbidez, principalmente no período chuvoso (VON SPERLING, 2014). O pH interfere também na fotossíntese. As cianobactérias que a realizam se desenvolvem melhor em ambiente alcalino (RIBEIRO, 2007) que não está presente nas lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs. A temperatura é outro fator de grande influência para as reações em água. Aumento de temperatura diminui a solubilidade de oxigênio dissolvido, assim como de outros gases, e favorece sua liberação para a atmosfera, contribuindo, portanto, para o decréscimo de OD na água. Apesar das temperaturas relativamente elevadas reinantes durante todo o ano na região, os valores de OD das lagoas estudadas são em ambas as estações sempre superiores ao valor mínimo de 5 recomendado (Tabelas 5 e 6) e revelam que os corpos d'água são aerados de modo adequado. Além disso, a temperatura influencia nas taxas de reações químicas (VON SPERLING, 2014).

O estado de trofia das lagoas é indicado pela análise de clorofila a, sendo este um pigmento encontrado em plantas e algas (YODER; KENNELLY, 2003). Para Borg (1995), quando as concentrações de oxigênio dissolvido na zona profunda do

corpo aquático diminuem, há maior mobilidade do ferro e manganês concentrados nos sedimentos. Isto faz com que estes oligoelementos se tornem disponíveis para assimilação pelas algas e sua bioacumulação pode se dar a partir de partículas dissolvidas na água, que é rica em material ferruginoso (REYNOLDSON, 1987). Durante a estação de estiagem, clorofila a e ferro dissolvido apresentam correlação positiva moderada (0,66; Tabela 7), o que reforça a hipótese apresentada.

A correlação moderada positiva na estação chuvosa entre Turbidez e Ferro Dissolvido (0,67; Tabela 8) é facilmente explicável pela concentração excepcional de ferro no ambiente estudado e por sua ampla possibilidade de estar presente nas águas em solução, afetando em decorrência a sua turbidez.

Cabe, ainda, destacar que no presente estudo, não houve nenhum registro no período chuvoso de correlação negativa forte entre as variáveis consideradas.

Tabela 7: Análise de Correlação de Pearson para os parâmetros de qualidade da água das lagoas estudadas, no período de Estiagem dos anos 2015 e 2016.

	T	PT	OD	DBO	pH	CE	SDT	Turb	Col	TOC	Cianob	Clor_a	Al	Ca	Cl	Ecoli	Fe	Mn	Zn
T	1,00																		
PT	0,31	1,00																	
OD	0,05	-0,16	1,00																
DBO	-0,07	0,15	0,12	1,00															
pH	0,42	0,47	-0,05	0,08	1,00														
CE	-0,30	-0,17	0,37	0,17	-0,19	1,00													
SDT	-0,26	-0,16	0,37	0,15	-0,20	0,99**	1,00												
Turb	0,27	0,28	-0,03	0,03	0,20	-0,20	-0,15	1,00											
Col	0,53*	0,54*	-0,25	0,05	0,41	-0,40	-0,39	0,18	1,00										
TOC	0,23	0,61*	-0,07	0,69*	0,42	-0,17	-0,15	0,27	0,49	1,00									
Cianob	-0,38	0,05	0,00	0,32	0,09	0,30	0,30	-0,07	-0,03	0,17	1,00								
Clor_a	-0,06	0,25	0,24	0,10	0,09	0,29	0,31	0,14	0,00	0,29	0,04	1,00							
Al	0,37	0,39	0,31	0,16	0,26	0,29	0,33	0,24	0,26	0,38	-0,08	0,30	1,00						
Ca	0,22	0,36	0,22	-0,05	0,16	-0,03	-0,02	-0,03	-0,04	0,02	-0,17	0,26	0,25	1,00					
Cl	0,06	-0,08	0,32	0,10	0,13	0,58*	0,59*	0,08	-0,08	0,05	0,02	0,20	0,60*	0,03	1,00				
Ecoli	0,58*	0,40	-0,22	-0,04	0,40	-0,74*	-0,71*	0,36	0,63*	0,39	-0,24	0,05	0,15	0,12	-0,26	1,00			
Fe	0,15	0,69*	0,05	0,17	0,39	0,07	0,11	0,28	0,38	0,60*	0,09	0,66*	0,61*	0,25	0,12	0,22	1,00		
Mn	0,68*	0,28	0,20	-0,04	0,21	-0,29	-0,23	0,42	0,34	0,28	-0,33	0,04	0,64*	0,34	0,16	0,61*	0,25	1,00	
Zn	0,08	-0,01	0,03	-0,03	-0,04	0,04	0,03	-0,16	-0,14	-0,17	-0,08	0,02	0,03	0,04	0,07	-0,04	0,01	-0,14	1,00

Significância de 5%; *Correlação moderada; ** Correlação forte. T: Temperatura; PT: Fósforo Total; OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; CE: Condutividade Elétrica; SDT: Sólidos

Dissolvidos Totais; Turb: Turbidez; Col: Coliformes Totais; TOC: Carbono Orgânico Total; Cianob: Cianobactéria; Clor_a: Clorofila a e Ecoli: Escherichia coli.

Tabela 8: Análise de Correlação de Pearson para os parâmetros de qualidade da água das lagoas estudadas, no período Chuvoso dos anos 2015 e 2016.

	T	PT	OD	DBO	pH	CE	SDT	Turb	Col	TOC	Cianob	Clor_a	Al	Ca	Cl	Ecoli	Fe	Mn	Zn
T	1,00																		
PT	0,13	1,00																	
OD	0,69*	0,17	1,00																
DBO	0,48	-0,04	0,30	1,00															
pH	0,12	-0,15	0,00	-0,06	1,00														
CE	-0,26	-0,21	-0,18	-0,35	0,30	1,00													
SDT	-0,17	-0,15	-0,09	-0,32	0,27	0,98**	1,00												
Turb	0,10	0,01	0,06	0,05	0,52*	-0,17	-0,17	1,00											
Col	-0,57*	-0,12	-0,35	-0,27	0,28	0,34	0,25	0,28	1,00										
TOC	0,49	0,13	0,30	0,73*	0,05	-0,46	-0,43	0,53*	-0,13	1,00									
Cianob	-0,13	0,27	-0,08	-0,15	-0,54*	-0,37	-0,37	-0,33	-0,29	-0,16	1,00								
Clor_a	-0,03	0,06	0,12	-0,23	0,41	0,26	0,24	0,48	0,13	0,03	-0,28	1,00							
Al	0,18	0,07	0,05	0,05	0,14	0,25	0,22	0,05	0,08	0,10	-0,27	0,07	1,00						
Ca	0,19	-0,07	0,04	-0,01	0,04	0,18	0,20	-0,17	-0,02	-0,06	-0,21	-0,11	0,02	1,00					
Cl	-0,07	-0,15	0,12	-0,21	0,31	0,65*	0,64*	-0,01	0,04	-0,26	-0,30	0,53*	-0,08	-0,01	1,00				
Ecoli	-0,29	-0,05	-0,10	-0,08	0,08	0,01	0,00	0,13	0,37	-0,09	-0,03	-0,04	-0,01	-0,06	0,00	1,00			
Fe	0,32	-0,05	0,17	0,40	0,33	-0,03	-0,03	0,67*	0,10	0,71*	-0,38	0,17	0,20	-0,05	0,09	-0,02	1,00		
Mn	-0,47	-0,25	-0,40	-0,52*	0,33	0,44	0,37	0,10	0,43	-0,44	-0,29	0,16	-0,08	0,40	0,20	0,04	-0,13	1,00	
Zn	0,54*	0,14	0,44	0,29	-0,15	-0,25	-0,19	-0,02	-0,24	0,35	-0,14	-0,23	0,15	0,12	-0,16	-0,09	0,20	-0,37	1,00

Significância de 5%; *Correlação moderada; ** Correlação forte. T: Temperatura; PT: Fósforo Total; OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; CE: Condutividade Elétrica; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; Turb: Turbidez; Col: Coliformes Totais; TOC: Carbono Orgânico Total; Cianob: Cianobactéria; Clor_a: Clorofila a e Ecoli: Escherichia coli.

5.2 Avaliação Sazonal das características físico-químicas, microbiológicas e hidrobiológica das águas das lagoas

Para melhor avaliação do comportamento das variáveis que intervêm diretamente na classificação da qualidade da água, foram selecionados para representação em Gráfico Boxplot (Figura 5) os parâmetros que apresentaram maior variação nas lagoas do Amendoim (AM), Violão (VL) e Três Irmãs 1, 2 e 3 (TI1, TI2 e TI3). Os resultados gerais dos parâmetros analisados para cada ponto de amostragem estão apresentados na Tabela 9, em anexo.

O período de Estiagem da área de estudo é caracterizado por baixo índice pluviométrico abrangendo os meses de junho a outubro, enquanto o período

Chuvoso, com níveis de precipitação muito mais elevados, se estende de novembro a maio (MORAES et al., 2005). As coletas de amostras do presente estudo foram realizadas nos meses de março e abril (período chuvoso) e agosto e setembro (período de estiagem). Como não se detectou variação significativa entre os dois anos de estudo, optou-se por fazer uma avaliação em conjunto abrangendo dados dos anos de 2015 a 2016.

As águas das cinco lagoas exibem variação de temperatura entre 25°C e 30,1°C. Existem diferenças de aproximadamente 1°C entre as camadas de estratificação. As temperaturas são maiores na camada do epilímnio e decrescem para o hipolímnio (Tabela 9). Isso ocorre pela influência direta da radiação solar na lâmina superficial da água das lagoas, pois com o aumento da profundidade tende a diminuir a penetração dos raios solares, decrescendo, portanto, a temperatura. Constata-se variação discreta de temperatura entre as estações seca e chuvosa, com diminuição em 2015 no período de estiagem nas lagoas TI3, Violão e Amendoim, ao passo que em 2016 há tendência para ligeiro aumento na estação seca nas referidas lagoas.

O oxigênio dissolvido apresenta valores similares nas diversas lagoas e pontos de amostragem estudados. Os valores obtidos variam de 5,2 a 13,3 mg/l (Tabela 9; Figura 5) e, portanto, todas as águas analisadas das lagoas estão em conformidade com a legislação que situa o limite mínimo de OD em 5 mg/l, característico de unidades de conservação. Em sua maioria, as camadas do epilímnio apresentam valores superiores de OD e estes decrescem com o aumento da profundidade dos corpos d'água, no metalímnio e, por conseguinte, no hipolímnio, em todas as lagoas (Tabela 9). Isto se explica através de dois fenômenos, a presença da aeração atmosférica no contato entre o ar atmosférico e a água e a movimentação natural da superfície que faz com que aumente a oxigenação na camada estratigráfica do epilímnio. Por outro lado, em lagos há maior ocorrência de oxigenação do corpo hídrico por fotossíntese de microalgas e plantas aquáticas (BRASIL, 2014), as quais estão presentes nas lagoas em estudo. Neste contexto, a diminuição de OD no metalímnio e hipolímnio pode ser causada pelo

consumo de matéria orgânica por microrganismos, em sua maioria algas, que morrem e se depositam no fundo das lagoas.

As lagoas não apresentam variações muito acentuadas nos períodos estudados. Nota-se, porém, uma queda no OD no período de estiagem principalmente nas lagoas TI1, TI2, Violão e Amendoim, havendo semelhança entre elas neste quesito (Figura 5).

A turbidez de um corpo d'água está associada aos sólidos em suspensão, provenientes de matéria orgânica e detritos inorgânicos (CETESB, 2009). Nas lagoas estudadas todos os valores de turbidez obtidos são inferiores a 40 UNT (Tabelas 5, 6 e 9), e estão, portanto, em conformidade, com o valor máximo permitido (100 UNT) pela Resolução Conama 357/2005. Além disso, os valores de turbidez nos diferentes pontos de amostragem e períodos e os seus valores médios mostram, em relação a este parâmetro, a existência de maiores semelhanças entre as lagoas TI1 e TI2, que exibem os valores máximos de turbidez, enquanto que Violão e TI3 apresentam em relação a elas valores comparativamente baixos de turbidez e a lagoa do Amendoim se diferencia das demais, porque exibe baixíssimos valores e pouquíssima variação neste parâmetro (Figura 5). De modo geral, não se constata variação sazonal acentuada nas lagoas estudadas (Figura 5), contrariando a tendência em geral observada de turbidez mais acentuada no período chuvoso e a sua diminuição no período seco, explicada em função do arraste mais intenso de material do entorno para dentro do corpo d'água (RAMALHO, 2017).

Cabe destacar a ocorrência em 2016 de alguns valores extremos superiores (*outliers*) nas camadas do epilímnio e metalímnio no período de estiagem na lagoa TI3, os quais atingiram 17,5 e 19,5 UNT. Porém, mesmo tais valores extremos se mantêm em conformidade com a legislação vigente. Não há também evidências de uma distribuição de turbidez condicionada pelas camadas limnológicas das lagoas (Tabela 9; Figura 5).

A DBO representa o oxigênio consumido por microrganismos para estabilizar a matéria orgânica contida no corpo d'água. O limite máximo permitido para o parâmetro DBO em águas da classe 2 corresponde a 5 mg/l. Nas lagoas Amendoim e Violão este parâmetro apresenta sistematicamente valores abaixo do limite de

detecção para o método empregado (<3 mg/l; Tabelas 5, 6 e 9) em todas as amostras analisadas nos anos de 2015 a 2016 e nos dois períodos de estudo. Estão, portanto, em conformidade com a legislação, além de evidenciar similaridade entre estas duas lagoas.

Já nas lagoas Três Irmãs (TI1, TI2 e TI3), os valores de DBO tendem a se situar bem acima do máximo permitido, nos dois períodos de estudo. Além disso, a DBO é mais alta nas camadas do metalímnio e hipolímnio e durante o período chuvoso, o que pode ser justificado pela deposição e decomposição mais intensa de matéria orgânica, principalmente algas, no fundo das lagoas, acelerada por processo de lixiviação maior neste período. Como exceção, registrou-se na lagoa TI3 durante o período de estiagem um *outlier* de 27,4 mg/L, valor muito acima dos demais dados (Figura 5).

O carbono orgânico total (TOC) é originado em sua maior parte da matéria orgânica presente em corpos d'água, em geral proveniente de macrófitas (SAHOO et al., 2016). O TOC considera as parcelas de carbono orgânico particulado e dissolvido, sendo parâmetro importante na verificação da qualidade da água. Ele constitui a fonte de energia para algas e bactérias (CETESB, 2009) e a partir de sua quantificação, juntamente com outros parâmetros, pode-se inferir o grau de trofia das lagoas.

Não há legislação que estabeleça um limite para os valores de TOC em águas doces classe 2. Constatou-se que as lagoas TI3, Violão e Amendoim, exibem comportamento similar para esta variável no período chuvoso. Nesse período os valores de TOC são maiores na lagoa TI1, que exibe também o valor máximo para este parâmetro (Figura 5). Já no período de estiagem, os valores de TOC nas lagoas TI2, TI3 e Violão são amplamente superpostos, enquanto que os de TI1 permanecem os mais elevados e os da lagoa do Amendoim são claramente inferiores, pois decrescem da estação chuvosa para a seca. Esta variação ocorre provavelmente pelo maior aporte de matéria orgânica para os corpos aquáticos em períodos de elevada precipitação.

O fósforo é um nutriente que, em excesso, provoca o crescimento da biota aquática e pode causar a eutrofização dos corpos aquáticos (ALEM SOBRINHO,

1991). A grande maioria dos valores obtidos para este parâmetro situa-se abaixo do limite mínimo de detecção (lmd) do método utilizado ($<10 \mu\text{g/L}$; Tabela 5 e 6) (Figura 5). Na lagoa TI1 em ambos períodos e na lagoa TI2 durante o período chuvoso foi obtido maior número de valores de PT, sendo que em apenas dois pontos de amostragem, um no período de estiagem na lagoa TI1 e outro no período chuvoso na lagoa TI3, os valores extremos obtidos (*outliers*) igualaram o máximo de $40 \mu\text{g/L}$ permitido pela Resolução Conama 357/05. Tais resultados indicam ausência de eutrofização expressiva nas lagoas estudadas, embora a lagoa TI1 revele tendência para crescimento do parâmetro PT e, portanto, um início de processo de eutrofização.

A variável hidrobiológica clorofila a é um indicador de biomassa proveniente de algas e também indica o estado de trofia de corpos hídricos (CETESB, 2009). Nos resultados das análises (Tabelas 5, 6 e 9; Figura 5), a grande maioria dos dados encontra-se abaixo do limite mínimo de detecção ($3 \mu\text{g/L}$). Como a legislação Conama 357/05 estabelece um valor máximo permitido de $30 \mu\text{g/L}$, com exceção de TI1 que apresenta na estiagem dois dados acima deste limite ($46 \mu\text{g/L}$ e $31 \mu\text{g/L}$), valores bem distantes da média, todos os demais pontos analisados estão em conformidade. Há similaridade entre as lagoas do Violão e Amendoim no período de estiagem e entre TI1 e TI2 no período chuvoso (Figura 5).

As algas liberam oxigênio por meio da clorofila a, absorvem a energia solar (KELLNER; PIRES, 1998) e crescem em meio com nutrientes como Fósforo e Nitrogênio (CONAMA, 357/05). De modo geral, conforme pode se observar nos boxplots (Figura 5), há uma razoável correlação entre as variáveis clorofila a e Fósforo total. Os valores máximos se situam na lagoa TI1 e as lagoas TI3, do Amendoim e Violão mostram similaridade entre si, com a diminuição relativa dos nutrientes e da clorofila a.

O ferro dissolvido presente nas lagoas deve ter origem natural, sendo gerado por processos erosivos e de lixiviação a partir das abundantes crostas ferruginosas das microbacias do entorno das lagoas. A Resolução Conama 357/2005 permite um máximo de $0,3 \text{ mg/l}$ de Fe dissolvido para águas da classe 2. TI2, TI3, Violão e Amendoim apresentam sistematicamente valores abaixo disto e estão conformes. Já

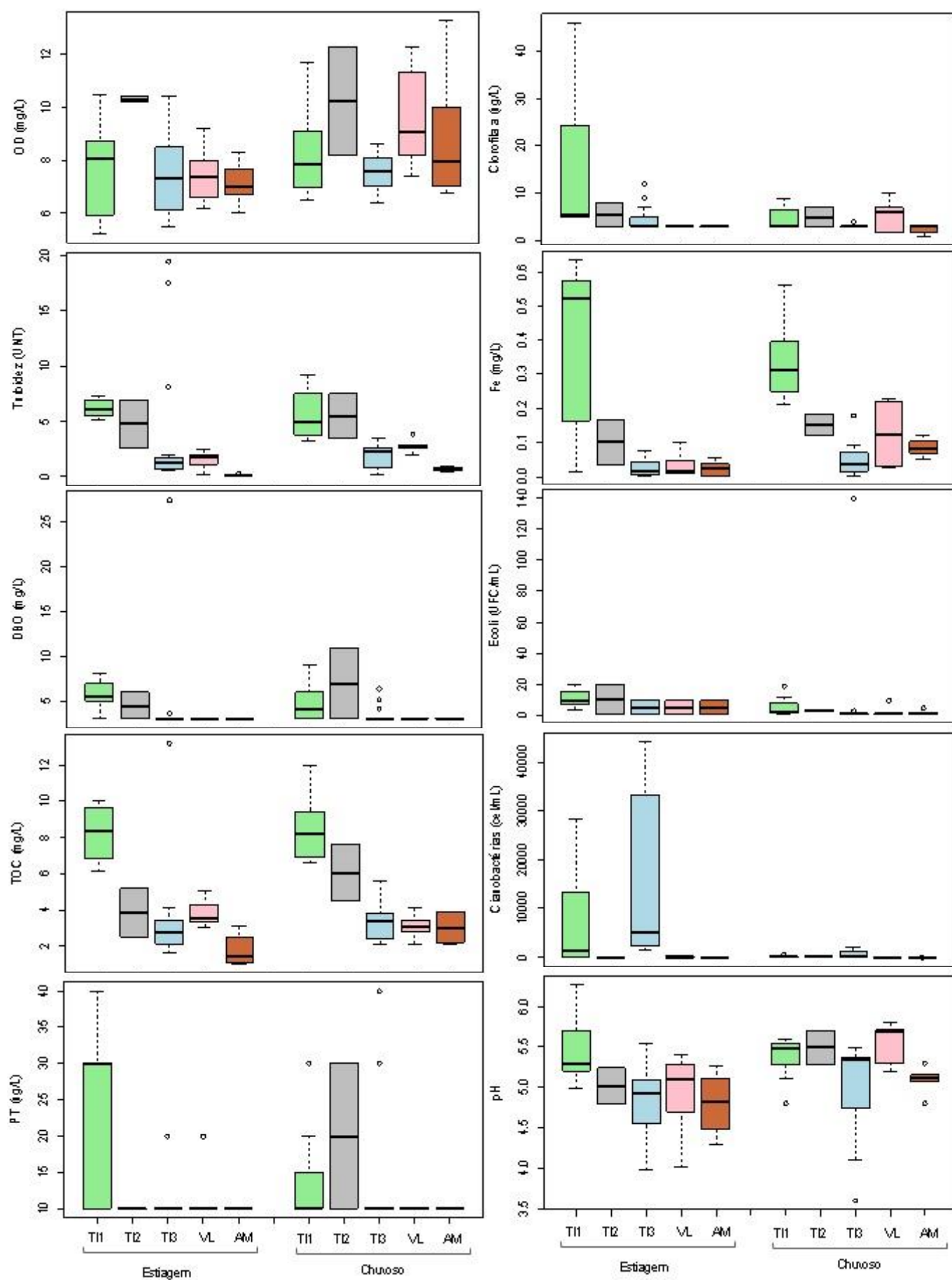
TI1 apresenta 9 pontos analisados com valores acima do permitido (Tabelas 5, 6 e 9; Figura 5). Aparentemente, há tendência para conteúdos mais elevados de Fe dissolvido na estação chuvosa e existe grande similaridade entre TI3, Violão e Amendoim (Figura 5). Isso se deve ao aumento do processo de erosão e lixiviação das microbacias das lagoas nesse período (CETESB, 2009).

Os coliformes termotolerantes são provenientes do trato intestinal de animais endotérmicos (sangue quente). Este parâmetro é indicativo de contaminação fecal que pode trazer consigo organismos patogênicos. Podem chegar às lagoas de forma natural por processo de lixiviação e fluxo superficial que carrea fezes de animais e matéria orgânica para as lagoas. Para o parâmetro Coliformes termotolerantes, também denominado de *E. Coli*, segundo a Resolução Conama 357/2005, não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de água. Em todos os pontos de amostragem analisados, os conteúdos obtidos não excedem esse valor e estão em conformidade com a legislação. Portanto, as lagoas não revelam contaminação em relação a este parâmetro. No período de estiagem a concentração de *E.Coli* é mais elevada (Figura 5), por haver menor diluição em relação ao período chuvoso. Os dados obtidos indicam notável similaridade entre as lagoas Violão, Amendoim e TI3 em ambos períodos, com os valores obtidos se situando em sua maioria abaixo do limite analítico de detecção (lad) pelo método empregado (Tabela, 5, 6 e 9; Figura 5). TI1 e TI2 apresentam, por sua vez, maior variação e valores comparativamente mais elevados de *E.Coli*.

Cianobactérias são espécies de algas tóxicas e podem limitar a qualidade das águas. O máximo de densidade de cianobactérias é de 50.000 cel/mL, conforme definido pela Resolução Conama 357/05. Os valores obtidos em todas as lagoas durante a estação chuvosa são muito baixos e se mantêm assim durante a estação seca nas lagoas do Amendoim, do Violão e TI2, enquanto que o conteúdo de cianobactérias atinge valores expressivos nas lagoas TI1 e TI3, que apresentam os maiores indícios de trofia. Porém, não há altas concentrações de fósforo Total em TI3 e TI1 naquele período e este crescimento deveria estar relacionado a outro fator (Figura 5).

Aplicam-se para águas da classe 2, os mesmos valores de pH (6 a 9) estipulados para águas doces da classe 1. Entretanto, os valores de pH obtidos em todas as lagoas estudadas em diferentes estações e pontos de amostragem variam entre 3,6 e 6,2. Portanto, as águas das lagoas analisadas em geral são ácidas a ligeiramente ácidas. Na estiagem registrou-se maior acidez nos corpos d'água, possivelmente devido a maior concentração de Ferro Dissolvido, característica inerente ao ambiente geológico do platô em que se encontram as lagoas, e, talvez, presença de matéria orgânica em decomposição, que leva a um aumento de gás carbônico e, por consequência, diminuição do pH (ESTEVES, 1998). O pH tende a diminuir com a profundidade da coluna d'água nas lagoas, sendo maior na camada de estratificação do epilímnio e menor no hipolímnio, onde concentram-se os sólidos dissolvidos e matéria em decomposição, que afetam o valor do pH. Nos resultados obtidos houve apenas um valor de 6,2 em um ponto de amostragem na lagoa TI1 que atende a Resolução Conama 357/05 (Tabelas 5 e 9; Figura 5).

Figura 5: Gráfico Boxplot da variação sazonal com os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrobiológicos nas cinco lagoas de estudo nos anos de 2015 a 2016.



5.3 Índice de Qualidade da Água - IQA

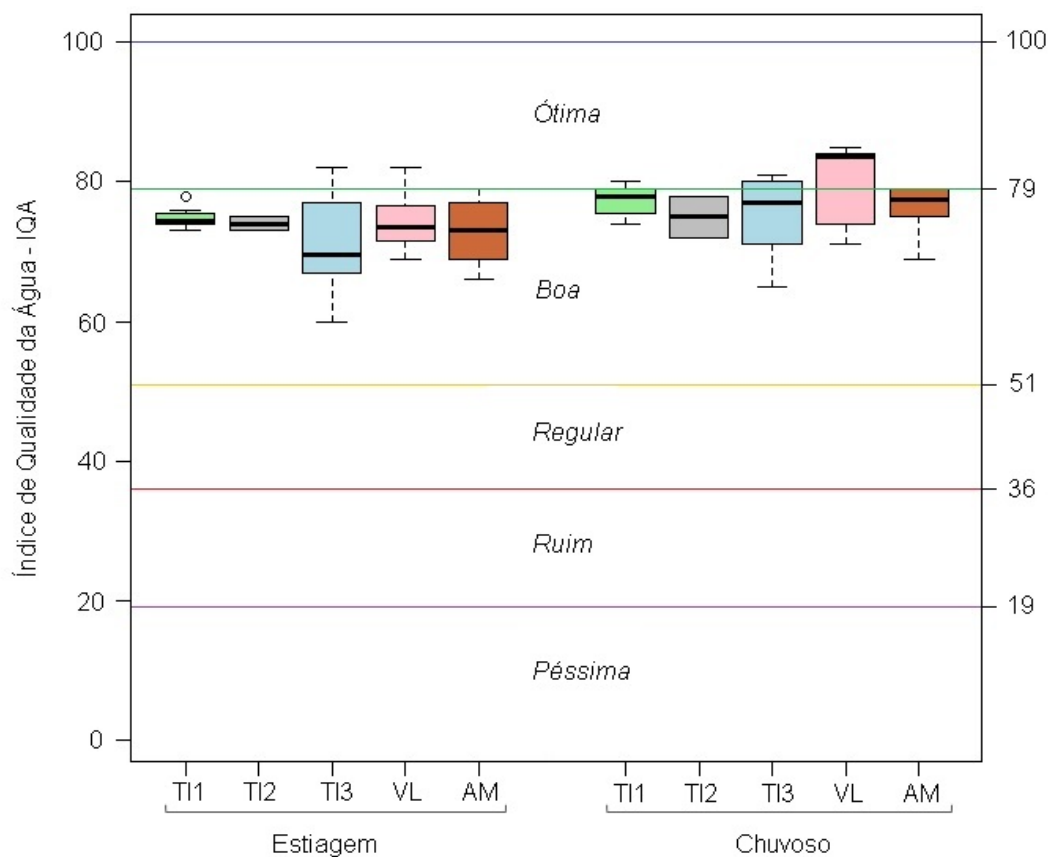
Para avaliar a qualidade da água das cinco lagoas de maneira geral e sua variação com base na sazonalidade, aplicou-se o índice de Qualidade da Água em todos os pontos de amostragem, em todas as camadas (epilímnio, metalímnio e hipolímnio), nas duas estações climáticas e nos anos de estudo, 2015 e 2016. Isto foi feito considerando o peso de cada variável no cálculo final. Os resultados de IQA estão apresentados em gráfico boxplot (Figura 6) e os resultados detalhados para cada ponto de amostragem na Tabela 10, em Anexo. Cabe registrar que CETESB (2016) e ANA (2005), recomendam para o cálculo de IQA a utilização do parâmetro Resíduo Total. Porém, como os dados obtidos para este parâmetro nos pontos de amostragem foram limitados, ele foi substituído por Sólidos Dissolvidos Totais (SDT). Cabe destacar que o parâmetro Resíduo Total também denominado Sólidos Totais inclui: os sólidos suspensos, sólidos fixos, sólidos voláteis e sólidos dissolvidos totais (ABNT, 1989), sendo que este último apresentou baixíssimos valores de massa, conforme a Tabela 9. Infere-se que os demais também seguiram este mesmo padrão ou atingiram valores próximos ou abaixo deste em mg/L. Portanto, estima-se que a utilização de SDT em substituição ao Resíduo Total não prejudicou a análise estatística.

Após o cálculo, obteve-se na lagoa do Amendoim IQA variando de (66-79), em TI1 de (73-80), TI2 de (72-78), TI3 de (60-82) e no Violão de (69-85). Portanto, as águas das lagoas no período enquadram-se em qualidade boa ($51 < IQA \leq 79$) a ótima ($79 < IQA \leq 100$), embora os valores das medianas e a parte central do box plot se situem quase sempre no campo de águas classificadas como Boa. No cálculo final de IQA, o Oxigênio Dissolvido possui maior peso, igual a 0,17, seguido de coliformes fecais com 0,15 e pH com 0,12. O fato de as lagoas terem boa oxigenação e apresentarem baixos valores de E. coli contribuiu para definir a qualidade das águas como sendo boa à ótima (Figura 6). Este resultado é representativo de ambientes localizados no interior da Floresta Nacional de Carajás – FLONACA, os quais se encontram preservados da influência de ação antrópica.

Em termos de sazonalidade, identificou-se qualidade boa nas lagoas TI2 e Amendoim nas duas estações. Em TI1, os resultados obtidos são similares, apenas

com a diferença que no período chuvoso o IQA adentra ligeiramente no campo de qualidade ótima (Figura 6, Tabela 10). Já as lagoas TI3 e Violão tiveram qualidade boa à ótima nos dois períodos de estudo, mostrando similaridade entre elas neste aspecto. De modo geral, constata-se leve melhoria na qualidade da água no período chuvoso, que fica mais evidente nas lagoas TI3 e Violão (Figura 6, Tabela 10). Os valores de IQA mostram maior variação na lagoa TI3, onde foram obtidos os menores valores de IQA nas duas estações.

Figura 6: Gráfico Boxplot do IQA obtido nas lagoas do Violão (VL), Amendoim (AM) e Três Irmãs (TI1, TI2 e TI3), nas duas estações do ano, abrangendo os anos de 2015 a 2016. Classificação baseada em CETESB (2016).



5.4 Índice de Estado Trófico - IET

A fim de conhecer o grau de trofia das lagoas, foi feito o cálculo de IET nos anos de 2015 e 2016, para os períodos chuvoso e de estiagem. Para calcular o IET, empregou-se a média dos valores obtidos nas camadas de estratificação para cada ponto de amostragem (Tabela 11, em anexo), devido à determinação de Secchi ter se dado apenas na camada superficial das lagoas. Para a classificação das lagoas com base no cálculo de IET foi adotada a classificação de CETESB (2016) e Lamparelli (2004), cujos intervalos estão indicados na Figura 7.

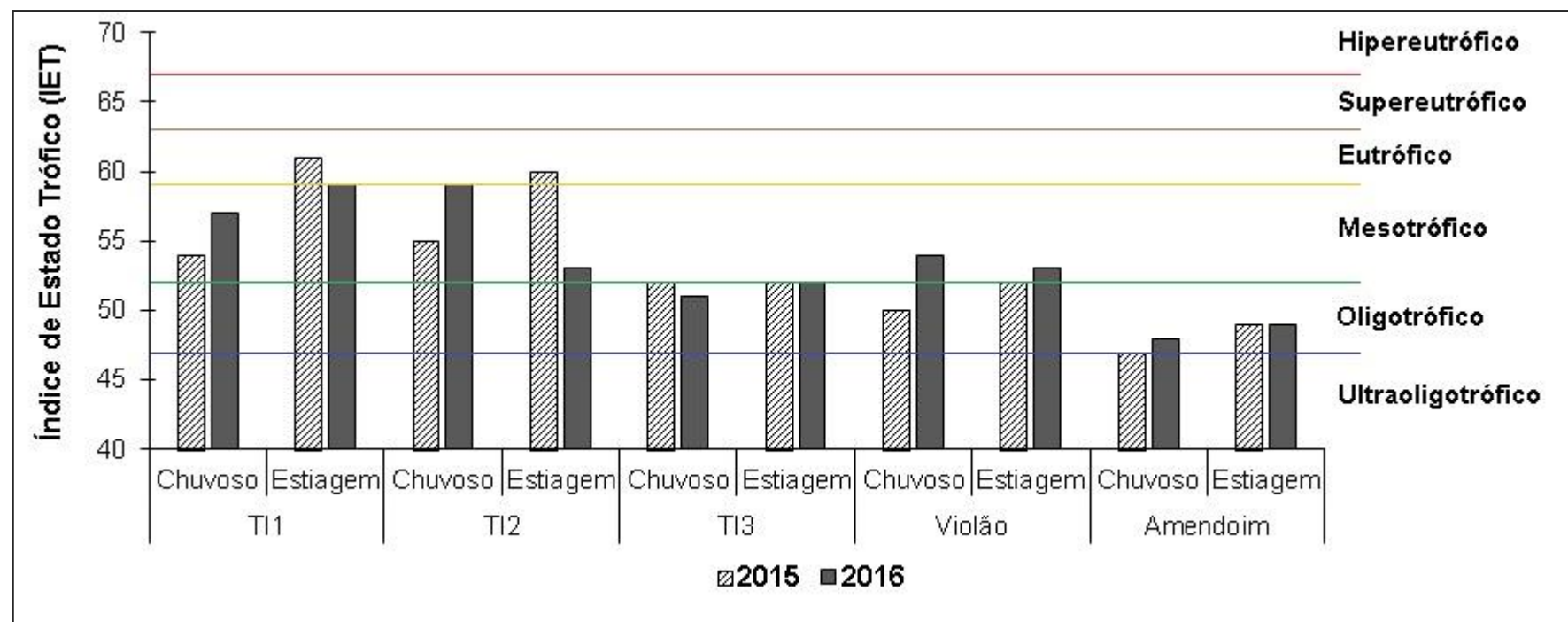
Nos anos de 2015 e 2016, no período chuvoso, as lagoas TI1 e TI2 tiveram comportamento semelhante sendo mesotróficas. Na estiagem houve variação, pois apresentavam características eutróficas em 2015, decaindo seu grau de trofia para mesotróficas em 2016 (Figura 7). TI3 não sofreu variação acentuada, permanecendo nos dois anos e estações, oligotrófica, porém próximo à mesotrófica. A lagoa do Violão apresenta comportamento similar, sendo que em 2015 era oligotrófica e passou a ser mesotrófica em 2016, porém com valores de IET próximos ao limite inferior desta classe. Já a lagoa do Amendoim, apresentou menor grau de trofia em comparação às demais e se situa na transição entre oligotrófica e ultraoligotrófica.

As lagoas TI1 e TI2 evidenciaram maior influência da sazonalidade, apresentaram maior concentração de Fósforo Total, e exibem maior grau de trofia, em relação às demais (Figura 7; Tabela 11). Amendoim teve menores valores de fósforo e, conseqüentemente, de clorofila a, maior transparência da água conforme indicado pelo parâmetro de Secchi (m), e apresentou melhor estado de trofia. Já as lagoas do Violão e TI3, tiveram maior variação de clorofila a e ficaram em grau intermediário de trofia (Tabela 11).

A categoria em que se enquadram os corpos hídricos depende tanto da qualidade da água, quanto da concentração de nutrientes, tais como fósforo total e clorofila-a. O fósforo total se associa ao crescimento excessivo das algas ou de macrófitas aquáticas. Segundo ANA (2005), deve-se levar em consideração o fósforo total como principal agente causador da eutrofização de lagoas, mas também deve ser considerado o nutriente nitrogênio total, pois favorece igualmente a trofia, bem como o nitrato e nitrogênio em forma de amônio. Estes três últimos nutrientes

apresentam valores bem baixos (Tabela 9) e não parecem exercer grande influência na trofia das lagoas estudadas, ao contrário de Fósforo Total que, conforme evidenciado em TI1 e TI2, deve exercer maior influência.

Figura 7: Gráfico de índice de Estado Trófico para as cinco lagoas de estudo, nos anos 2015 e 2016 nos períodos chuvoso e de estiagem, mostrando seu enquadramento nas diferentes classes da classificação baseada em CETESB (2016) e Lamparelli (2004).



5.5 Análise de Componentes Principais (PCA)

A partir do tratamento dos dados multivariados por análise de componentes principais, obteve-se o diagrama de ordenação PCA, onde as sete variáveis com maior contribuição, estão representadas por setas direcionais, sendo seu grau de influência nas águas das lagoas indicada pelo tamanho destas (Figura 8). Essa modelagem estatística ajuda a compreender o comportamento das variáveis em cada lagoa de estudo e mostra como se dá sua distribuição. A análise foi feita com os dados de 2015 e 2016 e nas duas estações. Os dois primeiros eixos de ordenação das componentes principais, acumulados, explicam o máximo da variabilidade total de 57,8% dos dados (Figura 8).

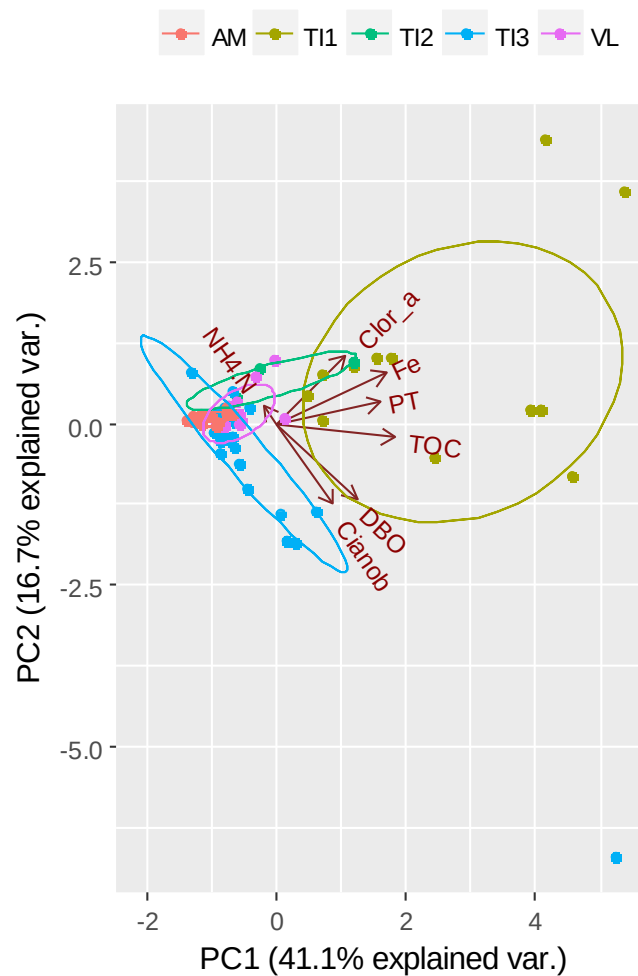
As variáveis distribuídas nas componentes indicam a trofia das lagoas. TI1 está relacionada positivamente e fortemente com Ferro Dissolvido, Clorofila a, Fósforo Total e Carbono Orgânico Total (TOC) e possui grau de trofia elevado, sendo mesotrófica à eutrófica, com expressiva contribuição de fósforo que é acompanhado pelo crescimento de algas e macrófitas, como indicado indiretamente pelas setas correspondentes à clorofila a e TOC. Estes fatores influenciam na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que cresce nas duas estações, principalmente nessa lagoa (Figuras 5 e 8; Tabelas 5 e 6). Outro fator de influência é o parâmetro Ferro dissolvido, que alcança valores elevados nesta lagoa. Ele pode estar associado ao fósforo que, em condições de baixo Oxigênio Dissolvido e baixo pH, têm maior dissolução, e pode tornar-se biodisponível para assimilação por algas e bactérias.

Em termos de características, a lagoa TI2 está próxima de TI3 pelo fator clorofila a, porém apresenta associação positiva maior com o nutriente amônio do que com Fósforo Total. Entretanto, em TI2, as concentrações de amônio pouco influenciam as concentrações de DBO, conforme é indicado pela seta de direção divergente (Figura 8), diferentemente do que acontece com TI3 que, devido à concentração elevada de fósforo, já interfere nas concentrações de DBO.

A alta concentração de clorofila a é indicativa da presença de algas, porém não seriam tóxicas, pois, a seta correspondente a cianobactérias é divergente e distante do fator clorofila a na lagoa TI2 (Figura 8).

A lagoa TI3 está sendo influenciada pelo fator amônio e alguns pontos de amostragem indicam altas concentrações de cianobactérias. Há associação desta lagoa com as lagoas do Violão e Amendoim pela mesma razão (Figura 8).

Figura 8: Gráfico Biplot mostrando a variabilidade dos parâmetros ambientais nas lagoas do Violão (VL), Amendoim (AM) e Três Irmãs (TI1, TI2 e TI3), nas duas estações e anos deste estudo, presentes nos dois componentes principais PC1 e PC2.



6 DISCUSSÃO

Os estudos efetuados nas águas das lagoas, por meio de análise estatística descritiva e de aplicação de índices, mostraram que os parâmetros de qualidade da água são influenciados pelas características naturais da bacia hidrográfica e em parte pela sazonalidade. Em sua maioria, os elementos traços são essenciais para a biota e mantiveram-se com conteúdos baixos e dentro do estipulado pela resolução Conama 357/05 Classe II, com exceção dos elementos, Ferro Dissolvido, Zinco Total e, muito localmente, na Lagoa do Violão, Cádmio Total. Para Naidoo e Chirkoot (2004), os dois primeiros são essenciais para fauna e flora, porém em casos de deposição aérea podem recobrir plantas e afetar sua fotossíntese e se houver dissolução de rochas em pH ácido podem atingir altas concentrações nas plantas e se tornar nocivos (CAMARGO; FREITAS, 1985; SOUZA et al., 2010). Porém, tais processos não parecem estar afetando de modo acentuado as lagoas estudadas. Sobretudo a lagoa TI1, pois nela, apesar da grande quantidade de ferro, há também expressiva presença de fósforo que influencia na quantidade de biomassa algal, causando aumento de Oxigênio Dissolvido e do pH. Isto leva à diminuição da dissolução de ferro no corpo hídrico (REYNOLDSON, 1987), pois tende a haver um balanceamento entre essas variáveis, como é indicado pela moderada correlação entre Fósforo e Ferro na estiagem (Tabela 5). Já as concentrações elevadas de cádmio, identificadas somente na lagoa do Violão, podem ser devidas às ocorrências de rochas máficas nas margens da porção noroeste da lagoa (Sahoo et al., 2015), já que o cádmio está fortemente associado ao zinco e sulfetos, que poderiam estar presentes naquele tipo de rocha (BOEIRA, 2007).

Os resultados de IQA deste estudo mostraram uma caracterização satisfatória em qualidade, variando de boa à ótima em todas as lagoas. Isto é justificado pela preservação da característica natural, por se tratar de áreas de conservação, onde não se tem influência de ação antrópica. Um quadro similar foi encontrado nos estudos dos anos de 2013 e 2014 nas lagoas do Amendoim e Violão (SAHOO et al., 2016).

De modo geral, os parâmetros analisados individualmente em boxplot na Figura 5, mostram que existem similaridades entre TI1 e TI2 e entre TI3, Violão e

Amendoim na estiagem. Já no período chuvoso, há ampla variação até mesmo das medianas dos parâmetros medidos nas diversas lagoas, não ficando claras as possíveis similaridades existentes entre elas.

O índice que possibilitou melhor discriminação entre os vários corpos d'água foi IET, que caracterizou o estado de trofia das lagoas. Em geral as lagoas TI1 e TI2 apresentam maior grau de trofia, devido à concentração de nutrientes e de matéria orgânica. Já a lagoa do Amendoim é ultraoligotrófica à oligotrófica, tal como observado em estudos anteriores (AFFONSO; QUEIROZ; NOVO, 2011; ALVES et al., 2012), apresenta pouquíssima matéria orgânica e é considerada de água limpa. A partir do nível mesotrófico, este quadro se modifica, tanto pelo aporte de modo natural de matéria orgânica para as lagoas, quanto pelo seu crescimento em função da maior concentração de nutrientes, como o fósforo. Isto foi verificado em TI1 e TI2, principalmente na estiagem.

O alto grau de trofia pode afetar a oxigenação de lagoas em função da mortandade de algas, no final do seu ciclo, afetando principalmente a camada do hipolímnio (CHAPMAN, 1996). Em estudos anteriores, a lagoa do Violão variou de mesotrófica a supereutrófica no período chuvoso, enquanto no presente estudo, variou entre oligotrófica a mesotrófica e não exibiu variação sazonal, apenas anual. A supertrofia observada na lagoa do Violão nos anos anteriores pode ser devida à alta precipitação e, conseqüentemente, intensificação do arraste de material fosfatado para o interior da lagoa, levando à um aumento no nível trófico (SAHOO et al., 2016). O aumento da temperatura naquele período também poderia afetar a dissolução e disponibilização de nutrientes, favorecendo o crescimento de clorofila a (DELPLA et al., 2009; JACKSON et al., 2007).

Em 2013 e 2014, de modo geral a lagoa do Violão apresentou maior trofia e maiores concentrações de clorofila a e cianobactérias, com relação à lagoa do Amendoim. O mesmo foi observado no presente estudo. Em termos comparativos as lagoas TI1 e TI2 apresentaram grau de trofia similar e maior do que a do Violão e TI3, sendo o menor grau de trofia registrado na lagoa do Amendoim.

Em estudos realizados em lagoas de platôs na China, (LI et al., 2007) também identificaram importantes variações no grau de trofia, tal como descrito nas lagoas

do platô S11 em Carajás. Eles mostraram que a lagoa Dianchi-Caohai possui características eutróficas; Dianchi-Waihai, Qilu Hu, Xingyun Hu e Yilong Hu mesotróficas e Er Hai, Fuxian Hu, Cheng Hai, Lugu Hu e Yangzong Hai ultraoligotróficas.

A análise multivariada por meio da análise de PCA permitiu visualizar e sintetizar a variabilidade do conjunto de dados. Identificou-se uma separação entre dois grupos. Um correspondendo às lagoas TI1 e TI2, outro abrangendo as lagoas TI3, Violão e Amendoim. Amônio, fósforo total e clorofila a foram os principais fatores de influência. Os dados obtidos revelam baixa concentração de cianobactérias em todas as lagoas, não havendo, portanto, concentração de espécies de algas potencialmente tóxicas. Dentre os nutrientes, a concentração de Fósforo exerceu influência na lagoa TI1 e, em parte, na lagoa TI2, pois induziu aumento nos níveis de clorofila a, indicativo da proliferação de algas, e do TOC, por meio de matéria orgânica em decomposição, muito provavelmente proveniente de algas mortas depositadas no fundo da lagoa. Diferentemente, as demais lagoas foram mais influenciadas pelo Amônio, porém sua concentração é baixa e por isso não interferiu nos demais parâmetros.

7 CONCLUSÕES

As ferramentas utilizadas (IQA, IET e PCA), foram eficazes na determinação da qualidade da água bem como na identificação dos principais fatores que à influenciam. Conclui-se que as cinco lagoas apresentaram qualidade de água satisfatória conforme a Resolução CONAMA 357/2005 e segundo os limites estipulados para classe II, sendo suas águas classificadas como boa a ótima. Segundo essa classificação, a água dos corpos hídricos estudados pode, após tratamento convencional, ser usada para consumo, recreação de contato primário, irrigação e aquicultura.

A grande maioria dos elementos traços apresentou valores dentro do limite estabelecido pela Resolução Conama 357/05, com exceção de Ferro Dissolvido, Zinco Total e, localmente, Cádmio Total. Com relação aos outros parâmetros, foram

obtidos valores acima do permitido para Fósforo Total, DBO e pH, nas duas estações, e clorofila a, somente na estiagem, comprovando a influência da característica da bacia hidrográfica e do grau de trofia das lagoas na geração de valores anômalos.

Maiores valores da Temperatura, Oxigênio Dissolvido e pH foram registrados no epilímnio decrescendo para o hipolímnio e maiores concentrações de DBO nas camadas do metalímnio e hipolímnio, o que se justifica pela boa aeração e condições favoráveis para fotossíntese nas primeiras camadas de estratificação e pela deposição de matéria em decomposição na última camada, respectivamente.

De modo geral, não se constatou variações intensas devidas à sazonalidade. Na estiagem, houve maior variação do OD entre as lagoas, maior concentração de Ecoli e decréscimo dos valores de pH. No período chuvoso, cresce a turbidez e a DBO e há maiores concentrações de Ferro, devido à dissolução, lixiviação e transporte mais intensos de rochas e materiais intemperizados para os corpos hídricos.

O mais elevado grau de trofia foi encontrado nas lagoas TI1 e TI2 e o menor na lagoa do Amendoim, sendo observado um quadro intermediário nas lagoas do Violão e TI3. O maior agente causador de trofia na lagoa TI1, segundo a análise de PCA, foi o nutriente fósforo total. Nas demais lagoas há um conjunto de fatores, que mesmo em pequenas concentrações, levam a um estado de trofia incipiente, tais como a presença de amônio, pH ácido, TOC, produzidos de forma autóctone ou proveniente de solos alóctones.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, A. G.; QUEIROZ, H. L.; NOVO, E. M. L. M. Limnological characterization of floodplain lakes in Mamirauá Sustainable development reserve, Central Amazon (Amazonas State, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 23, n. 1, p. 95-108, Mar. 2011.

ALEM SOBRINHO, P. **Contribuição ao estudo de remoção biológica de fósforo em excesso, de esgoto sanitário, por modificação do processo de lodos ativados**. São Paulo, 1991. 372 p., v.1., Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ALVES, I. C. C et al. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 115-124. Mar. 2012.

ARENS, S. J. T. et al. **Land Use Patterns in Relation to Lake Water Quality in the Lake Wesserunsett Watershed**. Waterville, Estados Unidos, 2000. 225 p. (Problems in Environmental Science course Biology 493, Colby College and Colby Environmental Assessment Team), 2001.

ARMENGOL, J.; MORENO-AMICH, R.; PALAU, A. The ecology of the Iberian inland Waters: Homage to Ramon Margalef. **Limnética**, Espanha, v. 25, p. 612, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10664: Águas – Determinação de Resíduos (Sólidos) – Método Gravimétrico**. Rio de Janeiro, 1989.

AYENI, A. O.; SONEYE, A. S. O. Interpretation of surface water quality using principal components analysis and cluster analysis. **Journal of Geography and Regional Planning**, Nigeria, v. 6, p. 15, jun. 2013.

BARROS, C. F. A. **Diversidade e ecologia do Fitoplâncton em 18 lagoas naturais do médio Rio Doce**. Minas Gerais, 2010. 128 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre), Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010.

BASÍLIO, M. S. **Geoquímica dos sedimentos associados aos minérios de ferro da região leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG e seu potencial para adsorção e dessorção de metais traço**. Ouro Preto: UFOP, 2005. 230 p. (Contribuições às Ciências da Terra, 13). ISSN 85-230-0108-6.

BERG, E. **Handbook for sampling and sample preservation of water and wastewater**. U. S. Environmental Protection Agency – USEPA, Washington. BiblioGov. 282 p, 2013.

BOEIRA, R. C. Fertilizantes. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**, Jaguariúna, jan. 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_82_1211200710211.html>. Acesso em: 23 Mar. 2016.

BORG, H. **Trace elemento in lakes**. In: SALBU, B.; STEINNES, E. Trace elements in natural Waters. CRC Press, Boca Raton (Florida), p. 177-202, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos**. - Brasília: ANA, 176 p., il. Cadernos de Recursos Hídricos. ISBN 85-89629-06-6, 2005.

BRASIL. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Série A. Normas e Manuais Técnicos. 1. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 84 p.

BRASIL. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Fundação Nacional de Saúde - Funasa. 1. ed. Brasília, 2014. 112 p.

CAMARGO, C. E. O.; FREITAS J. G. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. **Bragantia**. Campinas, v. 44, n. 1, p. 65-75, 1985.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. In: _____. **Limnology and Oceanography**, v. 22. 2. ed. Minneapolis, 1977, p. 361- 369.

CARR, G. M.; NEARY J. P. **Water Quality for Ecosystem and Human Health**. New York: United Nations, 2009. 128 p., 2. ed. (United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System). ISBN-13: 978-9295039513.

CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L.; STAPELFELDT, F. Qualidade das Águas do Ribeirão Ubá – MG. **Revista Escola Minas**. Ouro Preto, v. 3, n. 57, p 165 – 172, 2004.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. 2. ed. Reino Unido: UNESCO, WHO, e UNEP; E e FN Spon, 1996. 609 p.

CHAPRA, S. C. **Surface Water-Quality Modeling**. Nova Iorque: The McGraw-Hill Companies, 1997. 844 p. ISBN 1-57766-605-4.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Método de Ensaio L5.303 Dez/2005 Fitoplâncton de água doce métodos qualitativo e quantitativo**. São Paulo, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Método de Ensaio L5.306 Fev/2014 Determinação de pigmentos fotossintetizantes Clorofila abc e Feofitina a**. São Paulo, 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Relatório de Qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2003**. Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103, São Paulo, v.2 : il.; 30 cm, 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2007**. São Paulo: CETESB, 2008, 537 p, il. ; 29,7 x 21 cm. ISSN 0103-4103.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas.** 2016. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas-1.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias analíticas e de amostragem.** Relatório Técnico, São Paulo: CETESB, 2009, 43 p.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. CONAMA. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005 e suas alterações.

DAVIS, D. S.; BROWNE, S. **Natural History of Nova Scotia: Topics and habitats.** Nova York: Nova Scotia Museum, v. 1, 304 p, 2009.

DELPLA I. et al. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. **Environment International**, França, v. 35, p. 1225-1233, Nov. 2009.

EATON, A. D. et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21. ed. 1496 p. Washington: American Public Health Association (APHA), 2005.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p, 2. ed.

FAUST, S. D.; ALY, O. M. **Chemistry of natural waters.** California: Ann Arbor Science, 1981, 400 p. ISBN 0250403870.

GANOULIS, J. Water Resources: Quantity and Quality. In: _____. **Risk Analysis of Water Pollution.** 2. ed. Germany, 2009. cap. 1. 320 p.

GASHI, F et al. Assessment of the effects of urban and industrial development on water and sediment quality of the Drenica River in Kosovo. **Environmental Earth Sciences**, Kosovo, v. 75, n. 9, 10. p, 2016.

GAT. Itacaiúnas: Estudo de Gestão Ambiental Territorial da Bacia do Itacaiúnas. Caderno 3: Água, Relatório interno, Marabá, 2007.

GAUCH, H. G. **Multivariate analysis in community ecology.** Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

GHOLAMI, M. Identification and Investigation of the Seasonal Variations of Zooplankton in Zarivar Lake–Kurdistan, Iran. **Marine Science**, Irã, v. 4, n. 1, p. 26-32, 2014.

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. **Estudo de Impacto Ambiental, EIA Projeto Ferro Carajas S11D**. Anexo IV – Geologia. Belo Horizonte, 2010.

GOMES. A. S.; CLAVICO. E. **Propriedades Físico-Químicas da Água**. Niterói: UFF, 2005.

GUIMARÃES, J. T. F et al. Source and distribution of pollen and spores in surface sediments of a plateau lake in southeastern Amazonia. **Quaternary International**, Carajás, v. 352, p. 181-196, 2014.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA, 724 p, 2014.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. Washington: United States Government Printing Office, 272 p, 1985.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. IGAM. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013**. Resumo executivo, Belo Horizonte, 68 p., 2014.

JACKSON, L. J et al. A comparison of shallow Danish and Canadian lakes and implications of climate change Freshwater. **Freshwater Biology**, v. 52, n. 9, p. 1782-1792, Set. 2007.

KARR, J.; CHU, E. W. **Restoring life in running waters: better biological monitoring**. Washington: Inland Press, 1999.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo, 2004. 235 f. Tese de doutorado: USP/ Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo.

LEMO, M.; NETO, M. F.; DIAS, N. S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.155–164, 2010.

LEMO, W. E. D. **Monitoramento e gestão da qualidade da água em reservatórios incorporando processos hidrodinâmicos e climáticos de regiões tropicais semiáridas**. Fortaleza, 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

LI, R et al. Assessment of Water Quality and Identification of Pollution Sources of Plateau Lakes in Yunnan (China). **Journal of Environmental Quality**, China, v. 36, n. 1, p. 291-297, 2007.

LIRA, S. A. **Análise de Correlação: Abordagem teórica e de construção de coeficientes com aplicações**. Curitiba, 2004. 209 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos, Universidade Federal do Paraná.

LOPES, P. M et al. Concordance among assemblages of upland Amazonian lakes and structuring role of spatial and environmental factors. **Ecological Indicators**, Rio Grande do Norte, v. 11, n. 5, 1171-1176, set. 2011.

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008.

MAURITY C. W.; KOTSCHOUBEY, B. Evolução das feições pseudo-carsticas na cobertura intemperica do platô N1, Serra dos Carajas, Para. Degradação, Pseudocarstificação, Espeleotemas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Série Ciências da Terra**, Belém, v. 7, p. 331-362, 1995.

MAURITY, C. W. Relatório do Projeto Lateritas. Instituto Tecnológico Vale. Inédito. Carajás, 30 p, 2015.

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. Reino Unido: UNESCO, WHO, e UNEP; E e FN Spon, 1996. 609 p., 2. ed.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297 p. ISBN 978-85-7041-451-9.

MORAES, B. C et al. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 207 – 214, jun. 2005.

NAIDOO, G.; CHIRKOOT, H. D. The effects of coal dust on photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina* in Richards Bay, South Africa. **Environmental Pollution**, África, v. 127, n. 3, p. 359-366, 2004.

NIERING, W. A. **Wetlands: A comprehensive field guide, fully illustrated with color photographs, to the trees, wildflowers, fishes, insects, birds, and other natural wonders of North America's rivers, lakes, and swamps**. New York: Editora Alfred a. knopf, 1988.

Norma Técnica Interna. **SABESP NTS 013**. Sólidos: Método de Ensaio. SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo, 1999.

PARREIRA, T. F. **Utilização de Métodos Quimiométricos de Natureza Multivariada**. São Paulo, 2003. 220 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. PROSAB. **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive o desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 427 p, 2006.

RAMALHO, F. L. **Qualidade das águas no córrego matriz, em cachoeira alta – Goiás**. Goiás, 2017. 115 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGGEO- Stricto Sensu - Universidade Federal de Goiás.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2012. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org/>.

REYNOLDSON, T. B. Interactions between sediment contaminants and benthic organisms. **Hydrobiologia**. v. 149, n. 1, p. 53-66, jun. 1987.

RIBEIRO, F. A. L. **Aplicação de Métodos de Análise Multivariada no estudo de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos**. Campinas, 2001. 247 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química. Universidade Estadual de Campinas.

RIBEIRO, P. C. **Análise de fatores que influenciam a proliferação de cianobactérias e algas em lagoas de estabilização**. Campina Grande, 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande.

RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de Avaliação Rápida: Instrumentos Complementares no Monitoramento dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 161-170, 2008.

SAHOO, P. K et al. Influence of seasonal variation on the hydro-biogeochemical characteristics of two upland lakes in the Southeastern Amazon, Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 88, n. 4, p. 2211-2227. ISSN 0001-3765, ago. 2016.

SAHOO, P. K et al. Limnological characteristics and planktonic diversity of five tropical upland lakes from Brazilian Amazon. **Ann. Limnol. - Int. J. Lim**, v. 53, p. 467- 483, Nov. 2017.

SAHOO, P. K et al. Use of multi-proxy approaches to determine the origin and depositional processes in modern lacustrine sediments: Carajás Plateau, Southeastern Amazon, Brazil. **Appl Geochem**, v. 52, p. 130-146, 2015.

SANT'ANA, A. C. **Análise Multivariada da Qualidade da Água Superficial no Município de Boa Vista – RR**. Boa Vista, 2006. 104 f. (Dissertação de Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PRONAT). Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2006.

SANTOS, J. S et al. Evaluation of the salt accumulation process during inundation, in water resource of Contas river basin (Bahia–Brazil) applying principal component analysis. **Water Research**, v. 38, n. 6, p. 1579-1585, Mar. 2004.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **SEMA**. Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Pará – Brasil. Belém-PA, 2012.

SILVA, A. Q et al. Evaluation of Digital Classification of Polarimetric SAR Data for Iron-Mineralized Laterites Mapping in the Amazon Region. **Journal Remote Sensing**, v. 5, p. 3101-3122, ISSN 2072-4292. Jun. 2013.

SILVA, F. P.; LOURENÇO, E. S. O. Avaliação qualitativa e índice de qualidade das águas do Arroio Ouro Verde – Foz do Iguaçu – PR. **Revista Cultivando o Saber**, v. 9, n. 1, p. 51-69, mar. 2016. ISSN 2175-2214.

SILVEROL, A. C. **Processo Humifert para fertilizantes alternativos organofosfatados**: obtenção a partir do minério de angico do dias, caracterização dos compostos e avaliação da eficiência agrônômica. 2006. Dissertação (Mestrado em Geoquímica dos Processo Exógenos) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUSA, A. C et al. Análise exploratória da qualidade da água tratada, armazenada em caixas-d'água do bairro do Roger, em João Pessoa-PB. **Revista Principia**, n. 29, p. 1-9, Jun. 2016.

SOUZA FILHO, P. W. M et al. Changes in the land cover and land use of the Itacaiúnas river watershed, arc of deforestation, Carajás, southeastern amazon. In: **the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences**, xl-7/w3, international symposium on remote sensing of environment, 36, Berlin. Anais... Berlin, Germany, p. 11–15. may. 2015.

SOUZA, L. H et al. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1641-1652, Out. 2010.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. **SMEWW**. 1060 - Collection and preservation of samples, 2005.

STUMM, W.; SULZBERGER, B. The Cycling of iron in natural environments: Considerations based on laboratory studies of heterogeneous redox processes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 56, n. 8, p. 3233-3257, Ago. 1992.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA, 2004. **Total organic carbon in water; Method 415.1 (Combustion or Oxidation); Method 415.2 (UV Promoted, Persulfate Oxidation) Bor SW-846 Method 9060**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/9060a.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

VEIGA, B. V. **Fatores Intervenientes na dinâmica do Fósforo em ambientes lênticos – investigação sobre o reservatório de Alagados no Estado do Paraná**, 2010, 112 f. Tese de Doutorado. (Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

VIANA, P. L et al. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. **Rodriguésia**, v. 67, n. 5, p. 1107-1124, 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014, 472 p., il (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

WETZEL, R. G. **Limnology, Lake and River Ecosystem**. San Diego: Academic Press, 3. ed., 2001.

YODER, J. A.; KENNELLY, M. A. Seasonal and ENSO variability in global ocean phytoplankton chlorophyll derived from 4 years of SeaWiFS measurements. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 17, n. 4, p. 1112, Dec. 2003.

APÊNDICES

Tabela 9: Parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos das águas das lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs, em cada ponto de amostragem.

LAGOA TRÊS IRMÃS (TI1)															
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Temp (°C)	NO3 (mg/L)	NH4-N (mg/L)	PT (ug/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	CE (uS /cm)	SDT (mg/L)	Turb (UNT)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	TOC (mg/L)	Ecoli (NMP/100mL)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	29,7	< 2,2	< 0,1	<10	11,7	6,6	5,5	4	4	3,9	50	9	4
		Ponto 1 - Hipolímnio	28,6	< 2,2	< 0,1	<10	6,6	9	5,48	5	3	3,6	192	12	2
		Ponto 2 - Epilímnio	29,5	< 2,2	< 0,1	<10	10	5,4	5,1	5	4	4	22	9,8	1
		Ponto 2 - Hipolímnio	28,4	< 2,2	< 0,1	30	8,2	5,2	4,8	4	5	3,2	31	8,6	2
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	27,89	< 2,2	< 0,1	<10	10,5	5,3	5,3	12	6	5,9	173	6,5	6
		Ponto 1 - Hipolímnio	26,7	< 2,2	< 0,1	<10	8,5	4,7	5,2	11	6	5,1	105	7,1	11
		Ponto 2 - Epilímnio	29,7	< 2,2	< 0,1	<10	9	5,5	5,2	9	6	5,2	102	6,1	4
		Ponto 2 - Hipolímnio	28,5	< 2,2	< 0,1	40	8,4	5,4	4,99	11	6	6	86	7,2	9
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	28,24	< 2,2	< 0,1	<10	6,5	< 3	5,6	9	5	7,7	238	7,2	2
		Ponto 1 - Hipolímnio	27	< 2,2	< 0,1	20	7,3	< 3	5,48	16	8	5,9	792	7,8	19
		Ponto 2 - Epilímnio	28,43	< 2,2	< 0,1	<10	7,6	< 3	5,6	8	5	9,2	344	6,6	2

		Ponto 2 - Hipolímnio	27,12	< 2,2	< 0,1	<10	8,1	< 3	5,49	14	7	7,3	914	6,6	12
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	29,74	< 2,2	< 0,1	30	6,1	< 3	5,6	2	2	7,1	556	10	10
		Ponto 1 - Hipolímnio	27,7	< 2,2	< 0,1	30	5,2	7	6,27	2	2	7,3	504	9,5	20
		Ponto 2 - Epilímnio	30,1	< 2,2	< 0,1	30	5,8	6,8	5,8	2	2	6,8	520	9,8	20
		Ponto 2 - Hipolímnio	27,6	< 2,2	< 0,1	30	7,7	8,1	5,3	2	2	6,3	279	9,5	<10
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Cianobactéria (cel/mL)	Clor-a (ug/L)	Secchi (m)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cd (mg/L)	Ca (mg/L)	Pb (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	<3	3	1,8	0,0177	<0,001	<0,001	<0,001	0,803	<0,001	<1	0,0035	<0,001	
		Ponto 1 - Hipolímnio	<3	3		0,0202	<0,001	<0,001	<0,001	0,324	<0,001	<1	<0,001	<0,001	
		Ponto 2 - Epilímnio	<3	3	1,7	0,0353	<0,001	<0,001	<0,001	0,115	<0,001	<1	<0,001	<0,001	
		Ponto 2 - Hipolímnio	603	3		0,0132	<0,001	<0,001	<0,001	0,185	<0,001	<1	<0,001	<0,001	
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	<3	18	1	0,0109	<0,001	<0,001	<0,001	0,0951	<0,001	1,5	<0,001	<0,001	
		Ponto 1 - Hipolímnio	<3	46		0,0217	<0,001	<0,001	<0,001	0,107	<0,001	<1	<0,001	<0,001	
		Ponto 2 - Epilímnio	111	6	1	0,0153	<0,001	<0,001	<0,001	0,251	<0,001	<1	<0,001	<0,001	
		Ponto 2 - Hipolímnio	<3	31		0,0268	<0,001	<0,001	<0,001	1,81	<0,001	<1	<0,001	<0,001	
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	121	<3	1	0,0253	<0,001	<0,001	<0,001	0,121	<0,001	1,6	<0,001	<0,001	
		Ponto 1 - Hipolímnio	223	8		0,00569	<0,001	<0,001	<0,001	0,128	<0,001	1,6	<0,001	<0,001	

		Ponto 2 - Epilímnio	184	9	1	0,0035	<0,001	<0,001	<0,001	0,178	<0,001	1,6	<0,001	<0,001
		Ponto 2 - Hipolímnio	194	5		0,0158	<0,001	<0,001	<0,001	0,137	<0,001	2,2	<0,001	<0,001
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	22000	5	0,8	0,0242	<0,001	<0,001	<0,001	0,154	<0,001	0,94	<0,001	<0,001
		Ponto 1 - Hipolímnio	28300	5		0,0256	<0,001	0,024	<0,001	0,136	<0,001	1,01	<0,001	<0,001
		Ponto 2 - Epilímnio	2850	5	0,8	0,00759	<0,001	<0,001	<0,001	0,199	<0,001	0,91	<0,001	<0,001
		Ponto 2 - Hipolímnio	4890	5		0,0393	<0,001	<0,001	<0,001	0,381	<0,001	0,86	<0,001	<0,001
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Mn (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Ag (mg/L)	Se (mg/L)	SO4 (mg/L)	U (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	0,00938	0,403	<0,05	0,00733	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,0675
		Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	0,342	<0,05	0,00722	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,0275
		Ponto 2 - Epilímnio	<0,001	0,389	<0,05	0,00652	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,321
		Ponto 2 - Hipolímnio	<0,001	0,284	<0,05	0,00962	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,0247
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	<0,001	0,126	<0,05	0,00713	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,00675
		Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	0,637	<0,05	0,00796	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,00562
		Ponto 2 - Epilímnio	<0,001	0,202	0,17	0,0107	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,0464
		Ponto 2 - Hipolímnio	<0,001	0,601	<0,05	0,0106	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,0823
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	<0,001	0,566	0,36	0,00903	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,00364

		Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	0,287	<0,1	0,0102	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,0063
		Ponto 2 - Epilímnio	<0,001	0,215	<0,1	0,00993	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,00666
		Ponto 2 - Hipolímnio	<0,001	0,213	0,12	0,0111	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5	<0,001	<0,001	0,00436
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	<0,001	0,521	<0,05	0,0107	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,5	<0,001	0,00199	<0,001
		Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	0,553	<0,05	0,00872	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,5	<0,001	0,00171	<0,001
		Ponto 2 - Epilímnio	<0,001	0,0125	<0,1	0,00965	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	0,65	<0,001	0,00186	<0,001
		Ponto 2 - Hipolímnio	<0,001	0,528	<0,05	0,0107	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,5	<0,001	0,00105	0,0149

LAGOA TRÊS IRMÃS (TI2)

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Temp (°C)	NO3 (mg/L)	NH4-N (mg/L)	PT (ug/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	CE (uS/cm)	SDT (mg/L)	Turb (UNT)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	TOC (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	29	<2,2	0,117	<10	12,3	10,9	5,7		6	7,5	79	7,6
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	29,7	<2,2	0,201	<10	10,4	6	4,8	27	13	6,9	44	2,5
2016	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	27,8	<2,2	0,109	30	8,2	<3	5,29	15	8	3,4	457	4,5
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	29,63	<2,2	0,168	<10	10,2	<3	5,24	2	2	2,6	279	5,2
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Ecoli (NMP/100mL)	Cianobactéria (cel/mL)	Clor-a (ug/L)	Secchi (m)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cd (mg/L)	Ca (mg/L)	Pb (mg/L)	Cloreto (mg/L)	
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	4	<3	<3		0,0677	<0,001	<0,001	<0,001	0,487	0,00469	<1	
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	<1	<3	8	0,5	0,0621	<0,001	<0,001	<0,001	0,394	<0,001	1,8	

2016	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	3	211	7	1	0,0543	<0,001	<0,001	<0,001	0,497	<0,001	1,9
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	20	<3	<3	1,4	0,0399	<0,001	0,0239	<0,001	0,59	<0,001	1,4
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Mn (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Ag (mg/L)	Se (mg/L)	SO4 (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	<0,001	<0,001	0,00137	0,184	<0,05	0,00776	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	0,00167	<0,001	0,168	<0,05	0,0147	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5
2016	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	<0,001	<0,001	<0,001	0,118	<0,1	0,00776	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<5
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	0,00286	<0,001	0,0322	<0,05	0,0154	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	1,34

Ano	Período	Pontos de Amostragem	U (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	<0,001	<0,001	0,0701
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	<0,001	0,0277
2016	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	<0,001	<0,001	0,0122
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	<0,001	0,00217	0,0276

LAGOA TRÊS IRMÃS (TI3)

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Temp (°C)	NO3 (mg/L)	NH4-N (mg/L)	PT (ug/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	CE (uS/cm)	SDT (mg/L)	Turb (UNT)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	TOC (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	28,5	< 2,2	< 0,1	<10	8	5,1	5,2	5	3	1,59	<1	3,5

	Ponto 1- Metalímnio	28	< 2,2	< 0,1	<10	7	< 3	5,1	7	4	0,74	33	4,9
	Ponto 1 - Hipolímnio	27,6	< 2,2	< 0,1	<10	6,44	< 3	4,5	7	4	0.12	88	3,3
	Ponto 2 - Epilímnio	28,8	< 2,2	< 0,1	40	8,6	< 3	5,34	7	7	2,3	<1	4
	Ponto 2 - Metalímnio	27,7	< 2,2	< 0,1	<10	8,2	6,3	4,74	7	5	1,3	3	5,6
	Ponto 2 - Hipolímnio	27,6	< 2,2	< 0,1	<10	8	4,1	3,6	7	5	0,48	7	3,7
	Ponto 3 - Epilímnio	28,8	< 2,2	< 0,1	<10	8,6	< 3	5,34	7	7	2,31	3	3,8
	Ponto 3 - Metalímnio	27,8	< 2,2	< 0,1	30	8,3	< 3	4,1	7	5	0,6	10	3,3
	Ponto 3 - Hipolímnio	27,6	< 2,2	< 0,1	<10	8,02	< 3	3,6	7	5	0,4	17	4,1
Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	26,18	< 2,2	< 0,1	<10	10,2	< 3	5,55	10	5	0,8	12	2,3
	Ponto 1- Metalímnio	26,01	< 2,2	< 0,1	20	9,4	< 3	5,04	11	5	0,9	24	1,6
	Ponto 1 - Hipolímnio	25,8	< 2,2	< 0,1	<10	7,7	< 3	4,13	11	6	0,7	8	2
	Ponto 2 - Epilímnio	26,37	< 2,2	< 0,1	<10	8,2	< 3	4,95	15	8	0,6	<1	2,1
	Ponto 2 - Metalímnio	26,13	< 2,2	< 0,1	<10	8,5	27,4	4,76	13	6	0,6	7	13,2
	Ponto 2 - Hipolímnio	25,69	< 2,2	< 0,1	<10	7,4	3,6	3,98	14	7	1,2	9	2,7
	Ponto 3 - Epilímnio	26,9	< 2,2	< 0,1	<10	8,2	< 3	5,18	16	8	1,4	12	1,8
	Ponto 3 - Metalímnio	26,47	< 2,2	< 0,1	<10	6,5	< 3	5	14	7	0,5	5	1,9
	Ponto 3 - Hipolímnio	26,4	< 2,2	< 0,1	<10	7,2	< 3	4,95	13	6	0,6	10	2,1

Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	27,82	< 2,2	0,223	<10	7,6	< 3	5,4	7	5	2,8	15	2,7
	Ponto 1- Metalímnio	27,2	2,66	< 0,1	<10	6,4	< 3	5,37	26	12	2,2	914	2,2
	Ponto 1 - Hipolímnio	26,89	< 2,2	0,121	<10	6,1	< 3	5,38	22	11	2,5	961	2,1
	Ponto 2 - Epilímnio	27,7	3,1	< 0,1	<10	7,4	< 3	5,48	9	4	2,6	88	2,9
	Ponto 2 - Metalímnio	27,1	< 2,2	< 0,1	<10	6,5	< 3	5,35	21	10	2,5	961	2,3
	Ponto 2 - Hipolímnio	26,89	3,1	< 0,1	<10	6,4	< 3	5,34	20	10	2,5	39	3,7
	Ponto 3 - Epilímnio	27,85	< 2,2	0,106	<10	8,1	< 3	5,38	16	7	1,9	76	2,4
	Ponto 3 - Metalímnio	27,04	< 2,2	< 0,1	<10	7,6	< 3	5,33	21	11	2,8	792	3,8
	Ponto 3 - Hipolímnio	26,9	3,1	< 0,1	<10	7,1	< 3	5,35	19	10	3,4	914	2,3
Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	27,81	< 2,2	< 0,1	<10	6,1	< 3	5,09	2	2	1,2	97	3,9
	Ponto 1- Metalímnio	27,39	< 2,2	< 0,1	<10	6,1	< 3	4,75	2	2	1,4	75	4,1
	Ponto 1 - Hipolímnio	27,25	< 2,2	< 0,1	<10	10,4	< 3	4,45	2	2	1,4	31	2,9
	Ponto 2 - Epilímnio	28,14	< 2,2	< 0,1	<10	6,4	< 3	4,45	2	2	1,4	134	3,8
	Ponto 2 - Metalímnio	27,26	< 2,2	< 0,1	<10	6,1	< 3	5,23	2	2	1,7	<10	3,4
	Ponto 2 - Hipolímnio	27,09	< 2,2	< 0,1	<10	5,7	< 3	4,9	2	2	1,9	10	3,4
	Ponto 3 - Epilímnio	27,76	< 2,2	< 0,1	<10	9,2	< 3	4,55	2	2	17,5	<10	2,4
	Ponto 3 - Metalímnio	27,64	< 2,2	< 0,1	<10	5,5	< 3	5,19	2	2	19,5	52	3

Ponto 3 - Hipolímnio	27,31	< 2,2	< 0,1	<10	5,6	< 3	4,7	2	2	8,1	31	2,8
----------------------	-------	-------	-------	-----	-----	-----	-----	---	---	-----	----	-----

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Ecoli (NMP/100mL)	Cianobactéria (cel/mL)	Clor-a (ug/L)	Secchi (m)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cd (mg/L)	Ca (mg/L)	Pb (mg/L)	Cloreto (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 1	639	< 3	2,5	0,011	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,152	< 0,001	< 1
		Ponto 1- Metalímnio	< 1	1090	< 3		0,00923	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,128	< 0,001	< 1
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 1	1490	< 3		0,00929	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,188	< 0,001	< 1
		Ponto 2 - Epilímnio	< 1	463	< 3	2,5	0,00764	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,167	< 0,001	< 1
		Ponto 2 - Metalímnio	< 1	372	< 3		0,00762	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,152	< 0,001	< 1
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 1	275	< 3		0,00935	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,159	< 0,001	< 1
		Ponto 3 - Epilímnio	< 1	35	< 3	2,5	0,00704	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,51	< 0,001	4,4
		Ponto 3 - Metalímnio	< 1	1980	< 3		0,00928	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,115	< 0,001	< 1
		Ponto 3 - Hipolímnio	< 1	1190	< 3		0,0159	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,165	< 0,001	< 1
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 1	33400	7	2,5	0,00354	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,577	< 0,001	< 1
		Ponto 1- Metalímnio	< 1	1630	3		0,00681	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0929	< 0,001	< 1
		Ponto 1 - Hipolímnio	1	4200	5		0,00287	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0896	< 0,001	< 1
		Ponto 2 - Epilímnio	< 1	40700	7	2,5	0,00295	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0931	< 0,001	< 1
		Ponto 2 - Metalímnio	< 1	35900	5		0,00502	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0857	< 0,001	< 1

2016		Ponto 2 - Hipolímnio	1	38300	12		0,00562	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,146	< 0,001	1,1
		Ponto 3 - Epilímnio	< 1	21800	3	2,5	0,00485	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,216	< 0,001	< 1
		Ponto 3 - Metalímnio	< 1	44200	9		0,00364	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,133	< 0,001	< 1
		Ponto 3 - Hipolímnio	1	15500	5		0,00448	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,15	< 0,001	< 1
	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	1	775	< 3	2,5	0,00728	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,18	< 0,001	1
		Ponto 1- Metalímnio	3	167	< 3		0,0166	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,15	< 0,001	< 1
		Ponto 1 - Hipolímnio	3	184	< 3		0,0115	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,159	< 0,001	1
		Ponto 2 - Epilímnio	< 1	369	< 3	2,5	0,0109	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,159	< 0,001	1,9
		Ponto 2 - Metalímnio	< 1	84	4		0,0178	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,242	< 0,001	2,3
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 1	184	3		0,0127	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,155	< 0,001	2,7
		Ponto 3 - Epilímnio	1	1560	3	2,5	0,0151	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,157	< 0,001	1,3
		Ponto 3 - Metalímnio	3	351	3		0,0138	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,171	< 0,001	1,8
		Ponto 3 - Hipolímnio	140	340	3		0,0161	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,166	< 0,001	2,7
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 10	5540	< 3	2,15	0,00769	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,736	< 0,001	0,7
		Ponto 1- Metalímnio	< 10	2260	< 3		0,00218	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,19	< 0,001	0,74
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 10	4710	< 3		0,00833	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,317	< 0,001	0,68
		Ponto 2 - Epilímnio	< 10	3500	< 3	1,95	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,115	< 0,001	0,92

Ponto 2 - Metalímnio	< 10	1860	< 3		0,00321	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,597	< 0,001	0,96
Ponto 2 - Hipolímnio	< 10	2410	< 3		0,00885	< 0,001	0,0109	< 0,001	0,245	< 0,001	1,13
Ponto 3 - Epilímnio	< 10	8430	< 3	2	0,00222	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,137	< 0,001	0,69
Ponto 3 - Metalímnio	< 10	2500	< 3		0,00186	< 0,001	0,00487	< 0,001	0,148	< 0,001	1,16
Ponto 3 - Hipolímnio	< 10	2130	< 3		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,12	< 0,001	0,71

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Mn (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Ag (mg/L)	Se (mg/L)	SO4 (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,037	< 0,05	0,00735	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0236	< 0,05	0,00676	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,00174	0,0139	< 0,05	0,00794	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,13	0,00811	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	0,00762	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0355	< 0,05	0,00754	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00145	< 0,05	0,0106	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	0,00717	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0163	< 0,05	0,00945	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
	Estimativa	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0515	< 0,05	0,00635	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5

Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0471	< 0,05	0,00696	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0365	< 0,05	0,00648	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0381	0,16	0,00538	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0432	< 0,05	0,00551	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0554	< 0,05	0,00637	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,077	< 0,05	0,00552	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0314	< 0,05	0,0052	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0352	< 0,05	0,00667	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0168	0,12	0,0101	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0696	< 0,1	0,0105	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,179	< 0,1	0,0109	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0619	< 0,1	0,0106	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,09	< 0,1	0,0117	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0516	< 0,1	0,0112	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0768	< 0,1	0,0105	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0536	< 0,1	0,00989	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,073	< 0,1	0,00949	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,87

	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00319	< 0,05	0,0101	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,5
		Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00126	< 0,05	0,00976	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,5
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00438	< 0,05	0,00982	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,53
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	0,00894	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,61
		Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00378	< 0,1	0,01	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,5
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00351	< 0,05	0,00865	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,5
		Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	0,00928	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,5
		Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00269	< 0,05	0,00928	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,65
		Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	0,00933	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,81
Ano	Período	Pontos de Amostragem	U (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)								
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,027								
		Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0184								
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0296								
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,14								
		Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0276								
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0916								

Estiagem	Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0761
	Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0245
	Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,00942
	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0145
	Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0123
	Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,00699
	Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0332
	Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0151
	Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0397
	Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,017
	Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0161
	Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,009
Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,00265
	Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,00762
	Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0252
	Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0371
	Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0348

Estiagem	Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,00423
	Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,00323
	Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	< 0,001	0,0116
	Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0095
	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	0,00173	0,0103
	Ponto 1- Metalímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	0,00112	< 0,001
	Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	0,00254	< 0,001
	Ponto 2 - Metalímnio	< 0,001	0,00249	0,0105
	Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	0,00133	0,0238
	Ponto 3 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Ponto 3 - Metalímnio	< 0,001	0,00137	< 0,001
	Ponto 3 - Hipolímnio	< 0,001	0,00114	< 0,001

LAGOA VIOLÃO (VL)

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Temp (°C)	NO3 (mg/L)	NH4-N (mg/L)	PT (ug/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	CE (uS/cm)	SDT (mg/L)	Turb (UNT)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	TOC (mg/L)
2015	junho	Ponto 1- Epilímnio	29,9	< 2,2	< 0,1	<10	12,3	< 3	5,2	4	3	3,8	1	4,1

2016	Estiagem	Ponto 2 - Epilímnio	28,5	< 2,2	0,09	<10	11,3	< 3	5,3	5	5	2	23	3,4
		Ponto 1- Epilímnio	27,33	< 2,2	< 0,1	<10	6,2	< 3	5,25	8	4	0,2	2	3,5
		Ponto 1 - Hipolímnio	25,8	< 2,2	< 0,1	<10	6,7	< 3	4,6	9	5	2,4	1	4,4
		Ponto 2 - Epilímnio	27,36	< 2,2	< 0,1	<10	8,2	< 3	5,4	5	3	0,6	< 1	3,5
		Ponto 2 - Hipolímnio	25,73	< 2,2	< 0,1	<10	7,1	< 3	4,01	9	5	2	12	4,1
	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	28,57	< 2,2	< 0,1	<10	9,6	< 3	5,8	6	5	2,5	154	3,3
		Ponto 1 - Hipolímnio	27,9	< 2,2	< 0,1	<10	8,5	< 3	5,7	67	40	2,6	172	2,1
		Ponto 2 - Epilímnio	28,4	< 2,2	< 0,1	<10	7,4	< 3	5,7	45	23	2,6	143	2,9
		Ponto 2 - Hipolímnio	27,7	< 2,2	< 0,1	<10	8,2	< 3	5,72	39	17	2,9	143	2,8
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	28,48	< 2,2	< 0,1	<10	9,2	< 3	5,17	3	2	1,7	96	3,5
		Ponto 1 - Hipolímnio	27,79	< 2,2	< 0,1	<10	7,8	< 3	4,8	3	2	1,8	119	3,1
		Ponto 2 - Epilímnio	29,8	< 2,2	< 0,1	<10	7,6	< 3	5,03	3	2	1,6	173	3
		Ponto 2 - Hipolímnio	28,16	< 2,2	< 0,1	20	6,5	< 3	5,33	3	2	2	97	5
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Ecoli (NMP/100 mL)	Cianobactéria (cel/mL)	Clor-a (ug/L)	Secchi (m)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cd (mg/L)	Ca (mg/L)	Pb (mg/L)	Cloreto (mg/L)	
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	1	0	1,78	2,5				0,46				
		Ponto 2 - Epilímnio	10	0	1,78	2,5				0,42				

2016	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 1	< 3	< 3	2,1	0,0127	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,218	0,00128	1,4
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 1	< 3	< 3		0,0118	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,323	< 0,001	1
		Ponto 2 - Epilímnio	< 1	40	< 3	2,1	0,00907	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,323	0,00123	< 1
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 1	< 3	< 3		0,00495	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,148	< 0,001	< 1
	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	1	< 3	7	2	0,00842	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,149	< 0,001	3,2
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 1	< 3	6		0,0113	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,156	< 0,001	11,5
		Ponto 2 - Epilímnio	< 1	< 3	6	2	0,0547	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,172	< 0,001	1,7
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 1	< 3	10		0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,2	< 0,001	16,1
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 10	437	< 3	1,7	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,43	< 0,001	0,98
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 10	386	< 3		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,123	< 0,001	0,65
		Ponto 2 - Epilímnio	< 10	< 3	< 3	1,7	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,142	< 0,001	0,68
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 10	398	3		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,129	< 0,001	0,67
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Mn (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Ag (mg/L)	Se (mg/L)	SO4 (mg/L)
2015	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0221	< 0,05	0,00552	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	0,0019	< 0,001	0,0292	< 0,05	0,0072	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,102	< 0,05	0,00664	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5

2016	Chuvoso	Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0663	0,15	0,00639	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0269	< 0,1	0,00935	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,229	< 0,1	0,00891	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0337	< 0,1	0,0104	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,208	0,71	0,0106	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 5
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0137	< 0,05	0,00963	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,5
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0123	< 0,05	0,00842	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,5
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00944	0,07	0,009	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,5
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00851	< 0,1	0,00844	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,58
Ano	Período	Pontos de Amostragem	U (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)								
2015	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0207								
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0343								
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,026								
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0134								
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,00591								
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,00708								

	Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,00762
	Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,00557
Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0146
	Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	0,00187	< 0,001
	Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001

LAGOA AMENDOIM (AM)

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Temp (°C)	NO3 (mg/L)	NH4-N (mg/L)	PT (ug/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	CE (uS/cm)	SDT (mg/L)	Turb (UNT)	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	TOC (mg/L)
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	28,6	0,11	0,13	10	10	< 3	4,8	8	5	0,85	7	3,9
		Ponto 2 - Epilímnio	27,7	< 2,2		10	13,3	< 3	5,3	4	3	0,9	11	3,9
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	27,37	< 2,2	< 0,1	10	7	< 3	5,22	13	6	0	< 1	2,9
		Ponto 1 - Hipolímnio	27,3	< 2,2	< 0,1	10	8,3	< 3	5	10	5	0	162	1,2
		Ponto 2 - Epilímnio	27,69	< 2,2	< 0,1	10	6,5	< 3	4,75	16	8	0	3	1,6
		Ponto 2 - Hipolímnio	27,26	< 2,2	< 0,1	10	7	< 3	4,38	11	6	0	13	1,3
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	28,05	< 2,2	< 0,1	<10	7,02	< 3	5,16	40	21	0,5	378	2,8

		Ponto 1 - Hipolímnio	28	< 2,2	< 0,1	10	8,2	< 3	5,12	51	25	0,7	961	3,2
		Ponto 2 - Epilímnio	28,05	< 2,2	< 0,1	<10	7,7	< 3	5,1	18	10	0,6	16	2,1
		Ponto 2 - Hipolímnio	27,45	< 2,2	< 0,1	10	6,8	< 3	5,07	34	17	0,4	138	2,2
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	28,01	< 2,2	< 0,1	<10	6	< 3	4,57	3	2	0,1	624	2,1
		Ponto 1 - Hipolímnio	27,53	< 2,2	< 0,1	<10	6,9	< 3	4,29	3	2	0,1	185	3,1
		Ponto 2 - Epilímnio	28,8	< 2,2	< 0,1	<10	8,2	< 3	5,27	3	2	0,3	52	< 1
		Ponto 2 - Hipolímnio	28,35	< 2,2	< 0,1	<10	7,1	< 3	4,9	3	2	0,1	41	< 1
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Ecoli (NMP/100mL)	Cianobactéria (cel/mL)	Clor-a (ug/L)	Secchi (m)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cd (mg/L)	Ca (mg/L)	Pb (mg/L)	Cloreto (mg/L)	
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	2	0	1,78	3,5					0,55			
		Ponto 2 - Epilímnio	5	0	1	3,5					0,67			
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 1	< 3	< 3		0,00566	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,197	< 0,001	< 1	
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 1	< 3	< 3		0,00606	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,761	< 0,001	< 1	
		Ponto 2 - Epilímnio	< 1	177	< 3		0,00601	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,108	< 0,001	< 1	
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 1	< 3	< 3		0,00778	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,16	< 0,001	< 1	
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 1	< 3	< 3	4	0,0169	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,4	< 0,001	1,5	
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 1	26	< 3		0,0222	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,193	< 0,001	6,6	

		Ponto 2 - Epilímnio	< 1	< 3	< 3	4	0,0196	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,154	< 0,001	1,1
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 1	< 3	< 3		0,0204	< 0,001	0,00191	< 0,001	0,351	< 0,001	3,5
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 10	< 3	< 3	4,5	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,114	< 0,001	0,84
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 10	165	< 3		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,234	< 0,001	0,75
		Ponto 2 - Epilímnio	< 10	< 3	< 3	2,4	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,1	< 0,001	0,83
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 10	< 3	< 3		0,00417	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,91
Ano	Período	Pontos de Amostragem	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Mn (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Ag (mg/L)	Se (mg/L)	SO4 (mg/L)
2015	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio				2							
		Ponto 1 - Hipolímnio				5							
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,0263	0,25	0,00556	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,021	< 0,05	0,00598	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,04	< 0,05	0,00574	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,0544	< 0,05	0,00579	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,0805	0,55	0,0133	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,0848	0,58	0,00958	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,0533	< 0,1	0,00956	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5

Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1	0,121	0,59	0,0102	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 5
Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 10	< 0,001	0,12	0,00739	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	2,33
Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 10	< 0,001	< 0,05	0,00728	< 0,0001	< 0,001	< 0,001	< 0,5

Ano	Período	Pontos de Amostragem	U (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)
2015	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio			0,13
		Ponto 1 - Hipolímnio			
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,045
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0653
2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0213
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0222
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,0594
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0114
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	< 0,001	< 0,001	0,00564
		Ponto 1 - Hipolímnio	< 0,001	< 0,001	0,0166
		Ponto 2 - Epilímnio	< 0,001	< 0,001	< 0,001
		Ponto 2 - Hipolímnio	< 0,001	0,00209	< 0,001

Tabela 10: Valor do índice de Qualidade da Água para cada ponto de amostragem das lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs.

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Índice de Qualidade da Água (IQA)	Ano	Período	Pontos de Amostragem	Índice de Qualidade da Água (IQA)
TI1							
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	77	2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	80
		Ponto 1 - Hipolímnio	79			Ponto 1 - Hipolímnio	76
		Ponto 2- Epilímnio	79			Ponto 2- Epilímnio	79
		Ponto 2- Hipolímnio	75			Ponto 2- Hipolímnio	74
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	76		Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	74
		Ponto 1 - Hipolímnio	73			Ponto 1 - Hipolímnio	75
		Ponto 2- Epilímnio	78			Ponto 2- Epilímnio	74
		Ponto 2 - Hipolímnio	74			Ponto 2 - Hipolímnio	75
TI2							
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	72	2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	78
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	75		Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	73

TI3							
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	80	2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	81
		Ponto 1- Metalímnio	77			Ponto 1- Metalímnio	76
		Ponto 1- Hipolímnio	71			Ponto 1- Hipolímnio	76
		Ponto 2- Epilímnio	80			Ponto 2- Epilímnio	80
		Ponto 2- Metalímnio	76			Ponto 2- Metalímnio	78
		Ponto 2- Hipolímnio	65			Ponto 2- Hipolímnio	77
		Ponto 3- Epilímnio	81			Ponto 3- Epilímnio	81
		Ponto 3- Metalímnio	70			Ponto 3- Metalímnio	77
		Ponto 3- Hipolímnio	66			Ponto 3- Hipolímnio	67
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	82	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	71	
		Ponto 1- Metalímnio	78		Ponto 1- Metalímnio	68	
		Ponto 1- Hipolímnio	70		Ponto 1- Hipolímnio	67	
		Ponto 2- Epilímnio	78		Ponto 2- Epilímnio	67	
		Ponto 2- Metalímnio	60		Ponto 2- Metalímnio	72	
		Ponto 2- Hipolímnio	69		Ponto 2- Hipolímnio	69	
		Ponto 3- Epilímnio	80		Ponto 3- Epilímnio	67	

		Ponto 3- Metalímnio	76			Ponto 3- Metalímnio	68
		Ponto 3- Hipolímnio	77			Ponto 3- Hipolímnio	66
VIOLÃO							
2015	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	71	2016	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	84
		Ponto 2 - Epilímnio	74			Ponto 1 - Hipolímnio	85
		Ponto 1 - Epilímnio	78			Ponto 2 - Epilímnio	83
	Estiagem	Ponto 1 - Hipolímnio	72		Estiagem	Ponto 2 - Hipolímnio	84
		Ponto 2 - Epilímnio	82			Ponto 1 - Epilímnio	73
		Ponto 2 - Hipolímnio	69			Ponto 1 - Hipolímnio	74
						Ponto 2 - Epilímnio	75
						Ponto 2 - Hipolímnio	71
AMENDOIM							
2015	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	69	2016	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	78
		Ponto 2 - Epilímnio	75			Ponto 1 - Hipolímnio	79
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	79		Estiagem	Ponto 2 - Epilímnio	79
		Ponto 1 - Hipolímnio	78			Ponto 2 - Hipolímnio	77

Ponto 2 - Epilímnio	74		Ponto 1 - Epilímnio	76
Ponto 2 - Hipolímnio	71		Ponto 1 - Hipolímnio	72
		Estiagem	Ponto 2 - Epilímnio	67
			Ponto 2 - Hipolímnio	66

Tabela 11: Valor médio do Índice de Estado Trófico obtido em cada estação nas lagoas do Amendoim, Violão e Três Irmãs.

Ano	Período	Pontos de Amostragem	Índice de Estado Trófico (IET)	Categoria	Ano	Período	Pontos de Amostragem	Índice de Estado Trófico (IET)	Categoria
Lagoa TI1									
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	54	Mesotrófico	2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	57	Mesotrófico
		Ponto 1 - Hipolímnio					Ponto 1 - Hipolímnio		
		Ponto 2- Epilímnio					Ponto 2- Epilímnio		
		Ponto 2- Hipolímnio					Ponto 2- Hipolímnio		
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	61	Eutrófico		Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	59	Mesotrófico
		Ponto 1 - Hipolímnio					Ponto 1 - Hipolímnio		
		Ponto 2- Epilímnio					Ponto 2- Epilímnio		
		Ponto 2 - Hipolímnio					Ponto 2 - Hipolímnio		
Lagoa TI2									
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	55	Mesotrófico	2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	59	Mesotrófico
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	60	Eutrófico		Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	53	Mesotrófico

Lagoa TI3									
2015	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	52	Oligotrófico	2016	Chuvoso	Ponto 1- Epilímnio	51	Oligotrófico
		Ponto 1- Metalímnio					Ponto 1- Metalímnio		
		Ponto 1- Hipolímnio					Ponto 1- Hipolímnio		
		Ponto 2- Epilímnio					Ponto 2- Epilímnio		
		Ponto 2- Metalímnio					Ponto 2- Metalímnio		
		Ponto 2- Hipolímnio					Ponto 2- Hipolímnio		
		Ponto 3- Epilímnio					Ponto 3- Epilímnio		
		Ponto 3- Metalímnio					Ponto 3- Metalímnio		
		Ponto 3- Hipolímnio					Ponto 3- Hipolímnio		
	Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	52	Oligotrófico		Estiagem	Ponto 1- Epilímnio	52	Oligotrófico
		Ponto 1- Metalímnio					Ponto 1- Metalímnio		
		Ponto 1- Hipolímnio					Ponto 1- Hipolímnio		
		Ponto 2- Epilímnio					Ponto 2- Epilímnio		
		Ponto 2- Metalímnio					Ponto 2- Metalímnio		
		Ponto 2- Hipolímnio					Ponto 2- Hipolímnio		
		Ponto 3- Epilímnio					Ponto 3- Epilímnio		

Ponto 3- Metalímnio				Ponto 3- Metalímnio				
Ponto 3- Hipolímnio				Ponto 3- Hipolímnio				
Lagoa Violão								
2015	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	50	Oligotrófico	2016	Ponto 1 - Epilímnio	54	Mesotrófico
		Ponto 2 - Epilímnio				Ponto 1 - Hipolímnio		
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	52	Oligotrófico		Ponto 2 - Epilímnio		
		Ponto 1 - Hipolímnio				Ponto 2 - Hipolímnio		
		Ponto 2 - Epilímnio				Ponto 1 - Epilímnio		
		Ponto 2 - Hipolímnio				Ponto 1 - Hipolímnio	53	Mesotrófico
Ponto 2 - Epilímnio	Ponto 2 - Hipolímnio							
Lagoa Amendoim								
2015	Chuvoso	Ponto 1 - Epilímnio	47	Ultraoligotrófico	2016	Ponto 1 - Epilímnio	48	Oligotrófico
		Ponto 2 - Epilímnio				Ponto 1 - Hipolímnio		
	Estiagem	Ponto 1 - Epilímnio	49	Oligotrófico		Ponto 2 - Epilímnio		
		Ponto 1 - Hipolímnio				Ponto 2 - Hipolímnio		
		Ponto 2 - Epilímnio				Ponto 1 - Epilímnio	49	Oligotrófico

Ponto 2 - Hipolímnio

Ponto 1 - Hipolímnio

Ponto 2 - Epilímnio

Ponto 2 - Hipolímnio
