

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

ANAMÁLIA FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE
NOSSA SENHORA DAS DORES - SE ATRAVÉS DO ÍNDICE DE
QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO-IQAR**

São Cristóvão - SE

2017

ANAMÁLIA FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE
NOSSA SENHORA DAS DORES - SE ATRAVÉS DO ÍNDICE DE
QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO-IQAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia

São Cristóvão - SE

2017

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S586a Silva, Anamália Ferreira da.
Avaliação da qualidade da água do reservatório de Nossa Senhora das Dores - SE através do índice de qualidade da água de reservatório - IQAR / Anamália Ferreira da Silva; orientador Carlos Alexandre Borges Garcia. – São Cristóvão, 2017.
65 f.: il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos)– Universidade Federal de Sergipe, 2017.

1. Água – Qualidade – Nossa Senhora das Dores, SE. 2. Reservatórios. 3. Indicadores. I. Garcia, Carlos Alexandre Borges, orient. II. Título.

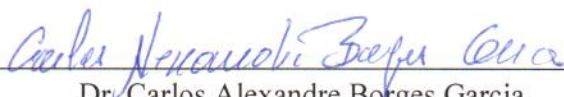
CDU 628.16

ANAMÁLIA FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO
DE NOSSA SENHORA DAS DORES - SE ATRAVÉS DO ÍNDICE
DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO-IQAR**

Dissertação apresentada ao Núcleo de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos de obtenção do
título de Mestre em Recursos Hídricos.

Aprovada: 22 de fevereiro de 2017.



Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia
(Orientador)



Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas
(Examinador interno)



Profa. Dra. Elisangela de Andrade Passos
(Examinador externo)

São Cristóvão - SE
2017

Dedico este trabalho os meus pais, Aparecida (Cida) e João, pelo amor incondicional e ao meu marido Rodrigo, pelo carinho e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua bondade, que me concedeu serenidade e sabedoria durante todo o momento desta caminhada, através da minha fé.

Aos meus pais João Ferreira e Maria Aparecida Ferreira por todo amor e dedicação, Ao meu marido, amigo e companheiro, Rodrigo Fernandes, por seu amor e compreensão.

Ao meu orientador, professor Dr. Carlos Alexandre, pela gentileza e contribuição técnica para execução deste trabalho.

À minha família, sobretudo a minha tia Cida Silva e Cláudio César pela gentileza e contribuição para adequação das normas deste trabalho.

Aos amigos, David Beserra e Gabriel Galvan pela companhia na salinha de estudos, pelas conversas sobre o futuro e pela grande ajuda computacional, minha gratidão.

Às queridas, Amanda Souza e Caroline Mendonça, pela amizade e colaboração nos estudos. À Ivane Sena, pela amizade e hospedagem, e aos demais colegas e professores do PRORH.

Ao Laboratório de Química Ambiental do Departamento de Química da Universidade Federal de Sergipe e ao ITPS, em especial, a técnica Ana Carla e Silvanio por todo tempo disponibilizado ao me acompanhar nas coletas e análises de água. Nesta oportunidade, aos atenciosos, Thiago Nascimento e Diego Dantas, pelo apoio logístico em dispor de um excelente barco, além de me acompanhar nas coletas.

À Universidade Federal de Alagoas - Campus Sertão, pela oportunidade de aprender a arte de lecionar através do estágio docência com o apoio do professor Thiago Pereira.

À Emagro pela disponibilização dos dados, em nome do Adalmir Jesus.

RESUMO

O atual estudo objetivou avaliar a qualidade sazonal da água do Açude Público, reservatório localizado no Município de Nossa Senhora das Dores - Sergipe. Este pertence à sub-bacia do Rio Siriri, encontrando-se nas coordenadas 10°29'31,32''S – 37°11'11,83''O. A etapa de monitoramento realizou-se no período de 2014 a 2016, com a amostragem nos períodos seco e chuvoso desses anos. Em *loco* foram realizadas as medidas de temperatura da água e profundidade, os parâmetros: pH, Turbidez (Turb), Oxigênio Dissolvido (OD), Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Clorofila *a* (Clo-*a*) Coliformes Termotolerantes (CT), Fósforo total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}), Amônia (NH₃), Nitrato (NO₃⁻), Condutividade elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foram armazenados em 3 alíquotas, refrigerados e levados ao laboratório para análise. Em relação a comparação com a legislação vigente, Resolução CONAMA 357/05, as variáveis Turbidez, Clorofila *a* e Fósforo total pertencem a Classe 4, para os Coliformes Termotolerantes o Açude Público encontra-se impróprio para o uso, o oxigênio dissolvido pertence a Classe 3, para as variáveis pH, Nitrato e Sólidos Totais Dissolvidos, Classe 2, a Amônia, Classe 1. A condutividade elétrica encontra-se acima dos limites estabelecidos pela CETESB. Quanto ao Índice de Qualidade de Água de Reservatório - IQAR, o Açude Público possui Classe IV- criticamente degradado a poluído, tanto para o períodos seco quanto para o chuvoso, atribui-se ao Nitrogênio Total e a Clorofila *a* a contribuição para o mau resultado do IQAR. Em relação a análise estatística, a Matriz de Correlação de Pearson mostrou-se significativa entre os parâmetros CE, STD, P, Clo-*a* e T. Através das análises, observou-se indícios de que o reservatório encontra-se eutrofizado e fora dos padrões da legislação vigente.

Palavras-chave: IQAR , qualidade da água, sazonalidade.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the seasonal quality of the water from the Public Water Reservoir located in the municipality of Nossa Senhora das Dores - Sergipe. This reservoir belongs to the sub-basin of the Siriri River, located in the coordinates 10 ° 29'31,32 "S - 37 ° 11'11,83"O. The monitoring activities were performed in the period between 2014 and 2016. The water samples were collected in the dry and rainy periods and water temperature and depth of sampling were measured in situ. The samples were stored in 3 aliquots, refrigerated and taken to the laboratory for analysis of pH, Turbidity (Turb), Dissolved Oxygen (DO), Dissolved Organic Carbon (DOC), chlorophyll a (Chlo-a) Coliform Thermotolerant (CT), Total Phosphorus, Total Nitrogen, Ammonia (NH₃), Nitrate (NO₃⁻), Electrical Conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (TDS). Regarding the comparison with current legislation, CONAMA Regulation 357/05, the variables Turbidity, Chlorophyll and Total phosphorus belong to Class 4; According to the observed values for thermotolerant coliforms and dissolved oxygen, the water from the reservoir is unfit for use and belongs to Class 3; The values for pH, Nitrate and Total Dissolved Solids classify the reservoir as class 2, and Ammonia, as class 1. The electrical conductivity is above the limits established by CETESB. The Reservoir Water Quality Index (RWQI) indicates Class IV- critically degraded and polluted, for both dry and rainy periods. It is attributed to Total Nitrogen and Chlorophyll the contribution to the poor RWQI result. Regarding the statistical analysis, the Pearson Correlation Matrix was significant among the parameters EC, TDS, P, Chlo-a and T. Through the analyzes, it was possible to observe evidence that the reservoir is eutrophic and out of the current legislation standards.

Keywords: RWQI, water quality, seasonality.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Características dos lagos e reservatórios	14
Tabela 2 - Limites estabelecidos para algumas variáveis em água doce de Classes 1, 2, 3 ou 4 pela Resolução CONAMA 357/2005	22
Tabela 3 - Precipitação média mensal de precipitação do município de Nossa Senhora das Dores.....	26
Tabela 4 - Variáveis físico-químicas e biológicas para análise da qualidade da água	27
Tabela 5 - Variáveis selecionadas e seus respectivos pesos.....	29
Tabela 6 - Classes de qualidade da Água	29
Tabela 7 - Matriz de Qualidade da Água.....	30
Tabela 8 - Resultado sazonal do IQAR e sua classificação para as campanhas realizadas no reservatório de Nossa Senhora das Dores - SE.....	32
Tabela 9 - Resultados do IQAR - M em relação sazonalidade.....	34
Tabela 10 - Resultado IQAR-M com os parâmetros utilizados para o seu cálculo.....	37
Tabela 11 - Estatística básica dos parâmetros de qualidade da água no período seco e chuvoso e durante todo o período de amostragem no Reservatório de Nossa Senhora das Dores.....	38
Tabela 12 - Matriz de correlação das variáveis físico-químicas e biológicas significativas.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo Sub-bacia Hidrográfica do rio Siriri.....	24
Figura 2 - Local de amostragem, Açude Público	25
Figura 3 - Gráfico dos valores do IQAR ao longo das campanhas	33
Figura 4 - Percentagem dos parâmetros	36
Figura 5 - Gráfico de box-plot e histograma das variações da temperatura	40
Figura 6 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do oxigênio dissolvido	41
Figura 7 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do pH.....	42
Figura 8 - Gráfico de box-plot e histograma de variações da amônia	43
Figura 9- Gráfico de box-plot e histograma de variações do nitrato	44
Figura 10 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do nitrogênio total.....	45
Figura 11 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do fósforo total.....	46
Figura 12 - Gráfico de box-plot e histograma de variações da clorofila <i>a</i>	47
Figura 13 - Gráfico de box-plot e histograma das variações dos coliformes termotolerantes	49
Figura 14 - Gráfico de box-plot e histograma de variações da Turbidez	50
Figura 15 - Gráfico de box-plot e histograma de variações da condutividade elétrica	51
Figura 16 - Gráfico de box-plot e histograma das variações dos sólidos totais dissolvidos	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS	14
3.2	QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS	16
3.2.1	Parâmetros físicos-químicos.....	17
3.2.2	Parâmetros biológicos.....	19
3.3	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO - IQAR	20
3.4	LEGISLAÇÃO APLICADA AOS RECURSOS HÍDRICOS.....	20
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
4.2	PERÍODO E AMOSTRAGEM.....	25
4.3	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS	26
4.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE PÚBLICO	28
4.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO - IQAR	32
5.2	PARÂMETROS QUE INFLUENCIARAM OS RESULTADOS DE IQAR.....	35
5.3	ANÁLISE SAZONAL DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS.....	38
5.3.1	Temperatura da água.....	39
5.3.2	Oxigênio Dissolvido	41
5.3.3	Potencial Hidrogeniônico (pH)	42
5.3.4	Série nitrogenada: nitrogênio amoniacal (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrogênio total (N_{total})	43
5.3.5	Fósforo total	45
5.3.6	Clorofila <i>a</i>	47
5.3.7	Coliformes Termotolerantes.....	48
5.3.8	Turbidez	50
5.3.9	Condutividade Elétrica	51
5.3.10	Sólidos Totais Dissolvidos.....	52
5.4	MATRIZ DE CORRELAÇÃO	53
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a água possui vários usos múltiplos, assumindo sua importância em âmbito ambiental, social e industrial. Entretanto, o abastecimento de água ocupa o lugar de maior destaque, pois sua função básica é garantir condições básicas para a vida, como prevenção de doenças (TUCCI & MENDES, 2006).

E, apesar do Brasil possuir vazão hídrica em permanência satisfatória para atender à população brasileira, a Região Nordeste possui grande ocorrência de rios classificados com criticidade quantitativa devido à baixa disponibilidade hídrica dos corpos d'água, de acordo com ANA (2015). Logo, reservatórios são construídos para reter uma parcela da precipitação excedente ou a montante de um rio, de forma a suprir a grande demanda dos municípios durante o período de estiagem.

Assim, torna-se compreensível que a qualidade e quantidade da água são aspectos de maior prioridade. Tendo em vista a falta de saneamento básico, lixões, crise hídrica, lançamento de efluentes em mananciais, torna os principais fatores de impactos ambientais emergentes da sociedade.

Em reservatórios, esse problema é potencializado por se tratar de um ambiente cujo ecossistema é caracterizado como lântico. Segundo Chin (2013), sistemas lânticos, tais como lagos, reservatórios e lagoas são mais vulneráveis a poluição. Sendo assim, a avaliação da qualidade da água nesses ambientes torna-se necessário para inferir os fatores que ocasionam o processo de deterioração através das atividades antrópicas e naturais de seu entorno.

De uma forma geral, os resultados dos parâmetros de qualidade da água são agrupados e traduzidos em informações claras e objetivas de acordo com uma classificação, essa informação é transmitida para os indivíduos que compõem o corpo hídrico. Diante desse contexto, indicadores ambientais são ferramentas de fundamental relevância para gestão ambiental de corpos hídricos, especificamente, os Índices de Qualidade da Água (IQA). No caso em estudo, Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR) criado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), será utilizado nesta pesquisa pelo fato de ser tratar do Reservatório.

Em um breve histórico, a população do município de Nossa Senhora das Dores, ao longo dos anos, vem expandindo sua ocupação no entorno do Açude Público, importante recurso natural para manutenção da saúde e bem-estar do local. A realidade sanitária do

município não difere de outras cidades brasileiras, que de maneira geral, quanto ao tratamento dos esgotos, observa-se que o índice médio do país chega a 40,8% (Brasil, 2016). Segundo o ATLAS de Saneamento básico de 2011, o município possui um percentual de água tratada de 100%, ausência de uma rede coletora de esgoto, além de ter como destino final dos resíduos sólidos, os vazadouros a céu aberto (lixão).

Atendendo as questões apresentadas, esta dissertação consiste em um estudo sobre a qualidade da água do Reservatório de Nossa Senhora das Dores utilizando o monitoramento da qualidade da água através das variáveis físico-químicas e biológicas deste ambiente, e também, classificando-o pelo índice de qualidade de água de reservatório, o IQAR, em busca de oferecer informações que possam auxiliar os gestores a manter o monitoramento deste reservatório, e consequentemente, medidas de melhoria da qualidade da água, além de outros trabalhos relacionados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade do Reservatório de Nossa Senhora das Dores/ SE através do Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Seguido desse pressuposto, o trabalho visa:

- i. Analisar as características físicas, químicas e microbiológicas da água no reservatório;
- ii. Avaliar a qualidade espaço-temporal da água no Reservatório;
- iii. Comparar as concentrações dos parâmetros com a Legislação pertinente;
- iv. Aplicar o Índice de Qualidade de Água de Reservatório - IQAR.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS

Reservatórios caracterizam-se como lagos artificial criados pelo homem para atender finalidades específicas. Cujo objetivo é suprir as demandas hídricas de uma determinada região, seja ele utilizado para o abastecimento humano, práticas agrícolas, dessedentação de animais, navegação controle de cheias, recreação e geração de energia hidrelétrica (BRASIL, 2005).

Em termos hidrológicos, reservatórios são formados tanto pelo represamento de um rio ou riacho, chamados de barragens, ou através da construção de paredes em um local impermeável com fornecimento de um canal, chamado de represas (TUNDISI et al, 1993).

Apesar de receberem o nome de lagos artificial, as características existentes entre reservatórios e lagos natural os diferem em relação ao funcionamento do seu ecossistema. A Tabela 1, mostra algumas dessas diferenças de acordo com Tundisi et al (1993).

Tabela 1- Características dos lagos e reservatórios.

Características	Lagos	Barragens
DIFERENÇAS QUALITATIVAS		
Natureza	natural	artificial
Idade geológica	velho ($\geq$ pleistoceno)	jovem (< 50 anos)
Envelhecimento	lento	rápido (primeiros anos)
Processo de formação	depressões	vales fluviais
Forma	regular	dentrítico
Hidrodinâmica	regular	altamente variável
Profundidade máxima	no centro	nas extremidades
Sedimentos de fundo	autóctone	alóctone

Fonte: adaptado de Tundisi et al (1993).

Historicamente os primeiros reservatórios de água no nordeste brasileiro foram construídos a partir de 1987, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - (DNOCS). O principal objetivo para a construção desses açudes e barragens foi a preocupação com a seca, que atingiu o semiárido brasileiro, ocasionando miséria e migração da população rural para a região sul e sudeste, de acordo com Mello (2011).

O Polígono das Secas compreende todo o Semiárido brasileiro, o mesmo compreende um extenso território que está dividido por regiões. O Reservatório onde se situa o estudo está parcialmente inserido no Polígono das Secas, apresentando um regime pluviométrico marcado por extrema irregularidade de chuvas, no tempo e no espaço (BOMFIM, 2002).

A seca é o motivo de impactos negativos, estes possuem dimensões que vão deste o âmbito ambiental até o social. Para Denys et al (2016), *a seca costuma decorrer de um índice de disponibilidade de água natural abaixo da média devido à variabilidade climática, resultando em taxas de precipitação baixas e/ou taxas de evaporação altas.*

Com o objetivo de solucionar os impactos ocasionados pelo baixo índice de precipitação, a construção de reservatórios é de fundamental importância para suprir as demandas existentes pela população que reside na região semiárida brasileira. Eles são vistos como uma tecnologia acessível, esses impactos perpassam do âmbito ambiental e chegam a níveis sociais, econômicos, políticos e culturais (BRASIL, 2006).

Contudo, essas construções trazem consigo danos inerentes ao seu novo sistema hídrico. Segundo Ferreira e Cunha (2013), a transformação de um ambiente lótico em lântico modifica o regime térmico dos fluxos, além de provocar mudanças nas condições químicas e biológicas do ambiente.

Dentre os impactos gerados pela construção de reservatórios, os danos provocados à fauna e flora do rio e de suas margens é devido à modificação do regime de vazões, dano social, em alguns casos há desapropriação e remoção de habitantes dentro da zona de inundação do reservatório, interrupção parcial do transporte de sedimentos e nutrientes para jusante e as perdas pelo aumento do volume evaporado pelo espelho d'água do reservatório, (TUNDISI & MATSUMURA TUNDISI, 2008).

Reservatórios, em termos regionais, estão integrados a microbacias hidrográficas, com vegetação natural remanescente, áreas de relevância ambiental para manter a qualidade e abastecimento de água. Essas áreas naturais são responsáveis pela proteção do solo contra a erosão, a sedimentação e a lixiviação excessiva dos nutrientes (Sopper, 1975). Outra função importante, intrínseca à microbacia é o monitoramento da qualidade da água, de forma a torna-se referencial para outras microbacias (PEREIRA-SILVA, 2011).

Em vista disto, programas de monitoramento foram lançados para avaliação da qualidade da água em reservatório. Barreto (2010) avaliou a qualidade da água do açude Buri e Frei Paulo, em Sergipe, ambos localizados no Polígono das Secas. Neste estudo, os impactos ambientais encontrados no açude foram: a diminuição da biodiversidade; inexistência da mata ciliar; desmatamento e erosão do solo; antropização da paisagem e criação bovina as margens do açude. Os parâmetros físico-químicos estiveram dentro das normas estabelecidas pela legislação, porém a condutibilidade elétrica excedeu o limite estabelecido pela legislação.

No mesmo estado, no reservatório de Jacarecica I, foram avaliados o nível trófico e o nutriente limitante do mesmo. Os resultados encontrados mostraram que o reservatório apresentou características de sistemas oligotróficos a eutróficos, o nutriente limitante do reservatório no período de estiagem foi o nitrogênio, já no período chuvoso, o fósforo (GARCIA, 2012).

Em estudos realizados por Barbosa e Cirillo (2015), o reservatório Jucazinho localizado na bacia do Capibaribe, em Pernambuco, apresenta impactos consideráveis em função da qualidade da água. A elevada contribuição de nutrientes tem desencadeado o processo de eutrofização decorrente do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica contribuinte.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS

Além da preocupação com a quantidade de água num reservatório, sua qualidade deve ser investigada e monitorada para preservação da vida aquática, e principalmente, para fins de abastecimento humano (TUNDISI et al, 1993).

A qualidade da água, componente básico para avaliar o estado de poluição, degradação ou conservação de rios, lagos e represas é utilizada como uma medida indicadora das condições ambientais de um sistema aquático (VASCONCELOS, 2009).

Ainda segundo Vasconcelos (2009), a degeneração das águas continentais é resultado do aumento dos impactos que as atividades antrópicas provocam nesse riquíssimo ecossistema, alterando significativamente as reações e interações físicas e químicas naturais presentes nesse ecossistema. Por consequência, seus impactos socioambientais são mensurados pelo custo no tratamento da água e recuperação dos mesmos.

O processo de eutrofização é conhecido pelo excesso de nutrientes (fósforo e nitrogênio) em corpos hídricos, introduzidos pelo despejo de efluentes domésticos, industriais e agrícolas.

As consequências desse processo em ambientes aquáticos são identificadas, de acordo com Chin (2013), pelo crescimento excessivo de plantas, odores indesejáveis, flutuações significativas nos níveis de oxigênio e dióxido de carbono (fotossíntese), aumento do pH associado com produção de dióxido de carbono e consequentemente aumento da toxicidade de certos compostos.

Para Khalil et al (2010), os programas monitoramento da qualidade da água proporcionam a compreensão de vários processos de qualidade da água, fornecendo informações relevantes aos gestores de recursos hídricos para um melhor gerenciamento dos corpos hídricos.

3.2.1 Parâmetros físicos-químicos

O Potencial Hidrogeniônico – pH é definido pela relação numérica que expressa o equilíbrio entre íons (H^+) e íons (OH^-). A faixa de variação do pH é de 0 a 14, sendo 7 valor considerado como neutro, onde a concentração de íons (H^+) é igual a concentração de íons (OH^-). Chamamos de pH alcalino quando o pH for maior que 7 e ácido quando o pH for inferior a 7 (DERISIO, 2000).

Em corpos hídricos, as alterações de pH podem ter origem natural, através da dissolução de rochas/fotossíntese ou antropogênica, pelos despejos domésticos e industriais. No caso de acidificação, o fenômeno pode ser causado pela poluição atmosférica. Em contrapartida, existem ambientes aquáticos naturalmente alcalinos, em função da composição química de suas águas (BRASIL, 2014).

Ainda de acordo com Brasil (2014), segundo as definições da Fundação Nacional da Saúde, o oxigênio dissolvido é um importante parâmetro para avaliação da qualidade da água em um ambiente aquático. As variações nos teores de oxigênio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. Eles determinam um intervalo de concentração mínima de OD para a manutenção da vida aquática aeróbica de 2 mg.L^{-1} a 5 mg.L^{-1} , exigência de cada organismo.

Para Baird (2002), a matéria orgânica resultante de plantas e animais mortos é normalmente oxidada pelo oxigênio dissolvido. Outra forma de consumo do OD é pela oxidação da amônia (NH_3) e do íon amônio (NH_4^+) dissolvidos na água como resultado de

atividade biológica, para formar íon nitrato (NO_3^-). Em corpos d'água eutrofizados e que estão significativamente poluídos são caracterizados pela baixa concentração de OD.

Outro parâmetro relevante é a turbidez da água, cujo o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte e argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc. A erosão das margens dos rios em estações chuvosas podem aumentar a turbidez muitas vezes exigindo adequações nas estações de tratamento de água, como aumento da dosagem de coagulantes. Este é um exemplo típico do caráter sistêmico da poluição, em que há interrelações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro (ZUIN ET AL., 2009; PIVELI; KATO, 2005).

Clorofila *a*, as algas são organismos fitoplanctônicos comumente encontradas em lagos e reservatórios que estão associadas com a qualidade do manancial, considerando-se que a concentração da clorofila pode ser determinada pela quantidade de algas existentes no corpo hídrico. Para Chin (2013), lagos e reservatórios eutrofizados possuem altas concentrações de algas que podem causar sabores e odores desagradáveis para a água.

Quanto a condutividade elétrica, este parâmetro é bastante significativo no que se refere à intrusão de íons no corpo hídrico. A Cetesb (2014), concorda que quando as concentrações ultrapassarem $100 \mu\text{S.cm}^{-1}$, o ambiente pode estar impactado por ações antrópicas além de que valores elevados de CE podem indicar características corrosivas da água.

A introdução de matéria orgânica nos corpos d'água consome oxigênio através da oxidação química e principalmente da bioquímica, via respiração dos microorganismos, depurando assim a matéria orgânica (VALENTE et. al, 1997). A DQO é um indicador de matéria orgânica baseado na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica em meio ácido e condições pela ação de um agente químico, como dicromato de potássio. Níveis altos da concentração de DQO num corpo hídrico são caracterizados pelo despejo de efluentes industriais (CETESB, 2014).

A determinação deste parâmetro é bastante relevante para determinação do grau de poluição das águas. Para Chin (2013), o procedimento de oxidação quase sempre resulta num consumo maior oxigênio do que a DBO, uma vez que muitas substâncias orgânicas que não estão imediatamente disponíveis como alimento para os organismos aquáticos micróbios (por exemplo, celulose).

O fósforo é um constituinte dos principais nutrientes para os processos biológicos, isto significa que ele é um dos chamados macronutrientes, por ser exigido em grandes quantidades

pelas células e por fazer parte da composição dos compostos celulares é indispensável para o crescimento das algas (ESTEVES, 1998).

A introdução do fósforo em águas naturais se dá pelo despejo de efluentes domésticos, excrementos de animais, fertilizantes e efluentes industriais (alimentícias, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios). Outra fonte da disposição de fósforo em corpos hídricos é de origem natural, através da dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica e fósforo de composição celular de microrganismos (VON SPERLING, 2005).

Quanto a presença de nitrogênio em águas naturais, estimula o crescimento de algas e consumir quantidades significativas de oxigênio. Existem várias formas de se encontrar nitrogênio em corpos d'água como o nitrogênio orgânico (proteínas, aminoácidos, e ureia), nitrogênio amoniacal (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), o nitrato (NO_3^-) e nitrogênio dissolvidos (gás N_2). O nitrogênio total dado pela soma nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal através do método de Kjeldahal (TKN) (CHIN, 2013).

Assim como o fósforo a entrada de nitrogênio nos ambientes aquáticos pode ser oriunda de diversas fontes. As de origens naturais, podem ser através de constituintes de proteínas e vários outros compostos biológicos, além de nitrogênio de composição celular dos microrganismos, já a intrusão em corpos hídricos por origem antrópica, são de fontes idênticas ao do fósforo (von Sperling, 2005).

O processo de eutrofização em ambiente aquático é acelerado pela disponibilidade de nutrientes, sendo o nitrogênio e o fósforo os principais responsáveis, ocasionados por altas cargas de matéria orgânica de esgotos domésticos. Por outro lado, esse processo pode ser limitado pela insuficiência de nutriente. Na maioria dos ecossistemas aquáticos, o fósforo é o nutriente limitante (BRAGA et al, 2005).

3.2.2 Parâmetros biológicos

A maneira mais segura para verificar a qualidade sanitária da água é a pesquisa por organismos indicadores de contaminação fecal. Um bom indicador de contaminação deve atender aos seguintes requisitos, (WHO, 1993): (i) devem estar presentes em grande número nas fezes de seres humanos e animais de sangue quente, (ii) facilmente detectáveis através de métodos simples, (iii) não devem crescer em águas naturais, e (iv) sua persistência em água e seu grau de remoção durante o tratamento da água devem ser semelhantes aos dos patógenos.

Esses organismos dão uma indicação de contaminação da água por material fecal

(humano ou de animais), e, portanto, demonstram a potencialidade que a água tem em transmitir doenças (LIBÂNIO, 2010).

Coliformes termotolerantes, são definidos como bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidasnegativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44 - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (BRASIL, 2005).

3.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO - IQAR

Para Toledo e Nicolella (2002), a complexidade de um corpo hídrico implica na dificuldade em se estabelecer um único parâmetro que seja um indicador universal, isto porque cada ambiente aquático possui uma peculiaridade. Deste modo, torna-se necessário estabelecer parâmetros que indiquem a qualidade para cada ambiente.

Em um breve histórico o Índice de Qualidade das Águas foi criado em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* e em 1975 começou a ser utilizado pela CETESB. Atualmente os Estados brasileiros adotaram o IQA, como o principal índice de qualidade da água utilizado no país, (ANA, 2015).

Índice de Qualidade da Água – IQA pode ser definido como uma ferramenta que busca agrupar em um único valor diversas variáveis, e que expresse os diversos parâmetros que caracterizam a qualidade da água de um manancial ou de outro tipo sistema (ABBASI, 2012). Assim seu objetivo é informar a todos os responsáveis públicos e civis sobre as condições de um corpo hídrico, a qualidade da água de uma forma simplificada.

De acordo com o IAP (2014), o Índice de Qualidade da Água de Reservatórios classifica os reservatórios em diferentes classes de acordo com o grau de degradação da qualidade de suas águas. Os parâmetros utilizados para a determinação do Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR) são classificados como: déficit de oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio inorgânico total, demanda química de oxigênio, transparência, clorofila *a*, tempo de residência e profundidade média.

3.4 LEGISLAÇÃO APLICADA AOS RECURSOS HÍDRICOS

No Brasil, a Política Nacional de Meio Ambiente, Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, compete ao Sistema Nacional de Meio Ambiente, através do Art 6º - "constituir os órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios, bem como as fundações instituídas pelo Poder Público", para a melhoria da qualidade ambiental.

Ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, compete 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.

Por conseguinte, para estabelecer padrões de qualidade da água, o CONAMA classifica os corpos hídricos de acordo com as seguintes classes:

Classe Especial – águas destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Classe 1 – águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Classe 2 – águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aquicultura e à atividade de pesca.

Classe 3 – águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.

Classe 4 – águas que podem ser destinadas: a) à navegação; e b) à harmonia paisagística (BRASIL, 2005).

Segundo Cunha et al (2013), em escalas de tempo e espaço, há uma lacuna no que diz respeito ao enquadramento de rios e reservatórios nos padrões de qualidade, em termos de não adequação.

Ainda assim, a Resolução CONAMA 357/05 estabelece, para esse tipo de manancial, os seguintes padrões de qualidade da água, e os classifica de acordo com as seguintes classes, e seus respectivos parâmetros, de acordo com os limites estabelecidos, Tabela 2.

Tabela 2 - Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos de água doce de acordo com as Classes 1, 2, 3 e 4.

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
P_{total}	(mg.L ⁻¹)	0,02	0,03	0,05	b
		3,7 (pH ≤ 7,5)	3,7 (pH ≤ 7,5)	13,3 (pH ≤ 7,5)	
NH₄	(mg.L ⁻¹)	2 (7,5 < pH ≤ 8,0)	2 (7,5 < pH ≤ 8,0)	5,6 (7,5 < pH ≤ 8,0)	b
		1 (8,0 < pH ≤ 8,5)	1 (8,0 < pH ≤ 8,5)	2,2 (8,0 < pH ≤ 8,5)	
		0,5 (pH > 8,5)	0,5 (pH > 8,5)	1 (pH > 8,5)	
NO₃	(mg.L ⁻¹)	10	10	10	b
OD	(mg.L ⁻¹)	6 ^a	5 ^a	4 ^a	2 ^a
Turb	(UNT)	40	100	100	b
Cl-a	(µg.L ⁻¹)	10	30	60	b
STD	(mg.L ⁻¹)	500	500	500	b
pH		6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9

P_{total}: fósforo total; NH₄: amônia; NO₃: nitrato; OD: oxigênio dissolvido; Turb: turbidez; Cl-a: clorofila *a* ; STD: sólidos totais dissolvidos; pH: potencial hidrogeniônico; a: Superior; b: Não há limite. Fonte: adaptado de Brasil (2005).

Em âmbito Estadual, com base na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei N° 9.433/97, a Lei N° 3.870/97 dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe, e institui em seu artigo 6 inciso III, o *balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais* e inciso IV , *as metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis*.

Logo, dentre outras medidas, o Plano Estadual de Recursos Hídricos tem por objetivo fornecer dados relativos às disponibilidades hídricas, adotadas como padrão para a gestão de recursos hídricos no Estado. Neste documento, o comportamento hidrológico do Rio Siriri

(Bacia Hidrográfica de Japaratuba) é caracterizado, juntamente com as demandas humana, animal, industrial e irrigação e de qualidade da água.

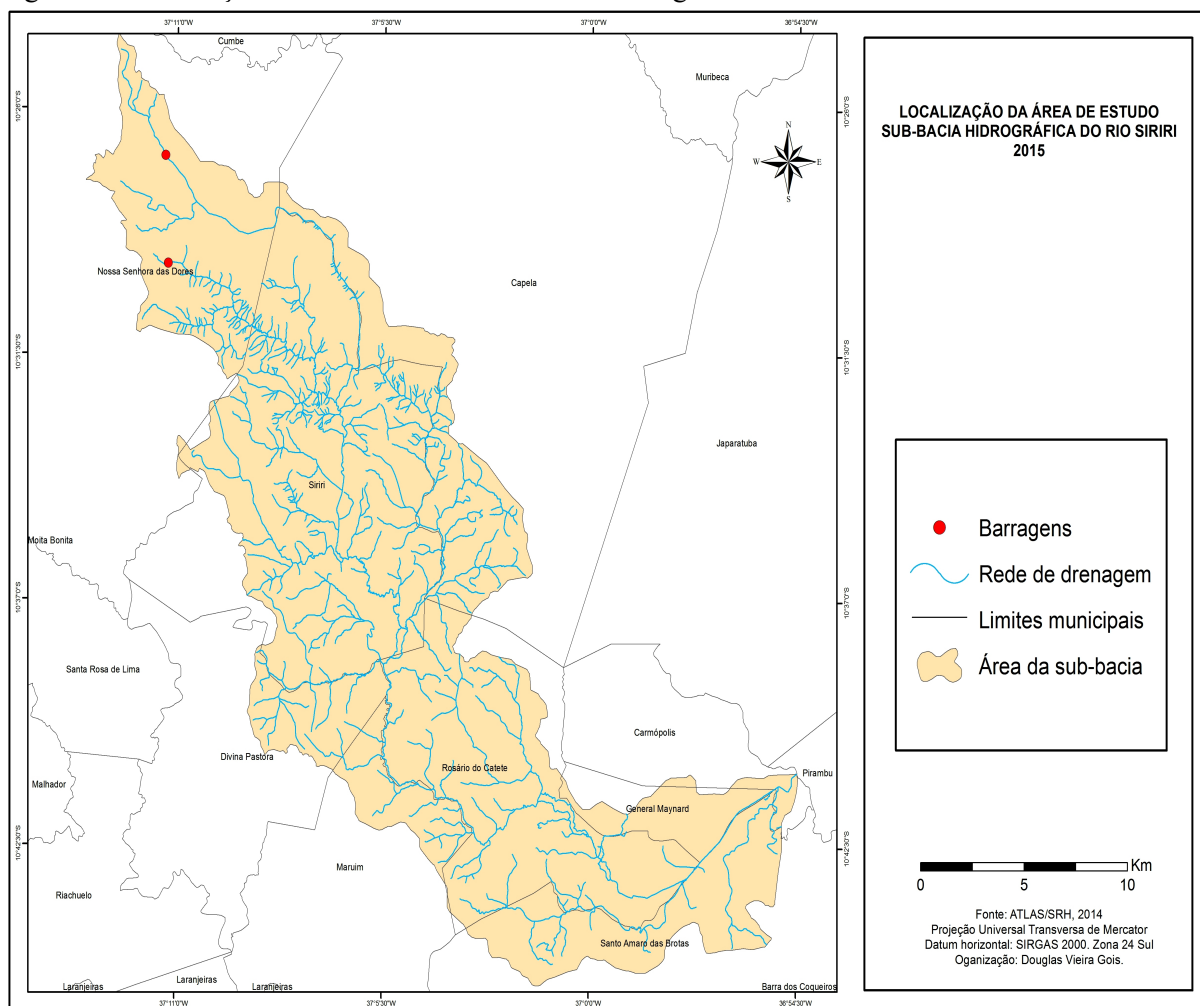
4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, o desenvolvimento metodológico foi direcionado através das etapas listadas a seguir: caracterização da área de estudo; período e amostragem; avaliação da qualidade da água do Açude Público; análises estatísticas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O reservatório conhecido como Açude Público está inserido na sub-bacia do Siriri, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba, encontrando-se nas coordenadas $10^{\circ}29'31,32''\text{S}$ – $37^{\circ}11'11,83''\text{O}$, Figura 1.

Figura 1. Localização da área de estudo Sub-bacia Hidrográfica do rio Siriri.



Fonte: Adaptado de Sergipe (2014).

O reservatório pertence ao município de Nossa Senhora das Dores, localizado na região central do Estado de Sergipe, limitando-se a norte com os municípios de Feira Nova e Cumbe, a leste com Capela e Siriri, a sul com Divina Pastora, Santa Rosa de Lima e Moita Bonita e a oeste com Ribeirópolis e São Miguel do Aleixo. Segundo o IBGE, a população em 2010 foi de 24.580 habitantes, com Área da unidade territorial de 483.350 km² e sua densidade demográfica é de 50,85 hab.km⁻².

Os rios Siriri, Pintor, do Cágado e o riacho Monteiro compõem sua drenagem principal. O relevo é de superfície tabular erosiva, superfície pediplanada e dissecada em colinas e tabuleiros, com aprofundamento de drenagem de muito fraca a fraca, com uma vegetação de capoeira, vestígios de matas e cerrado (SERGIPE, 2000).

Nas Figuras 2a e 2b abaixo se visualiza uma imagem do *in loco* do Açude e a outra imagem com aplicativo *Google Earth* com a estação de amostragem onde foram realizados os monitoramentos de qualidade de água.

Figura 2 - Local de amostragem, Açude Público.



Fonte (figura 2a): autora (2016).



Fonte (figura 2b): Google Earth (2016).

4.2 PERÍODO E AMOSTRAGEM

De acordo com a classificação climática de Köppen, o município está parcialmente inserido no polígono das secas, apresenta clima do tipo megatérmico seco e sub-úmido, transição para semi-árido, temperatura média anual de 24,6°C, precipitação pluviométrica média no ano de 1.056,4 mm e período chuvoso de março a agosto (SERGIPE, 2000).

Para Aguiar Netto et al (2009), o déficit hídrico das cidades que compõem a sub-bacia do Siriri concentra-se entre os meses de setembro a março, período seco, o período chuvoso ocorre entre os meses de maio e julho, o mês de abril não apresenta excesso e nem déficit

hídrico segundo o balanço hídrico da sub-bacia do rio Siriri determinado pelo modelo de Thornthwaite & Mather – 1955 (CAMARGO, 1971; PEREIRA et al, 1997).

A Tabela 3 apresenta os valores médios mensais de precipitação do município de Nossa Senhora das Dores. A partir do balanço hídrico e dos dados de precipitação da região em estudo os períodos foram definidos para a amostragem de coletas, compreendidos como períodos seco e chuvoso.

Tabela 3 - Precipitação média mensal do município de Nossa Senhora das Dores.

Precipitação (mm)			
Mês	2014	2015	2016
Jan	8,0	0,0	113,0
Fev	41,0	97,0	15,0
Mar	70,0	34,0	34,0
Abr	161,7	45,0	48,0
Mai	186,0	253,0	95,0
Jun	137,0	203,0	121
Jul	167,0	152,0	77,2
Ago	90,0	57,0	49,6
Set	75,0	30,0	41,0
Out	58,0	46,0	19,0
Nov	62,0	0,0	1,0
Dez	6,0	4,0	16,0

Fonte: Emagro (2017).

4.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

Para obter bons resultados é necessário que o procedimento em campo seja bem executado. O espaço amostral é de suma importância, devendo ser o mais representativo possível para área a ser estudada. Assim, para o reservatório, as amostras foram coletadas em três pontos distribuídos entre as margens e o centro, obtendo-se as médias entre eles. As coletas foram iniciadas em janeiro de 2014 e finalizadas em outubro de 2016, totalizando 10 campanhas.

Para análise físico-química e microbiológica os parâmetros foram analisados segundo metodologia descrita pelo APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. (EATON, 2012).

In Loco foram realizadas as medidas de T e profundidade. Os demais parâmetros foram Os demais parâmetros foram devidamente armazenados sob refrigeração e encaminhados ao Laboratório de Química Analítica Ambiental - LQA, do departamento de Química da UFS e ao ITPS, nos Laboratórios de Química de Água e de Microbiologia. O ITPS é acreditado pelo INMETRO com base na norma NBR ISSO/IEC 17025:2005, ITPS (2016).

Em campo, as amostras foram coletadas em três recipientes (dois de polietileno) com capacidade de 0,5 litro cada. Para as amostras de oxigênio dissolvido foi utilizado um frasco de winkler, ambos fornecidos pelo Laboratório de Química da UFS. Para conservação da amostra pra análise de OD foram adicionados 2 mL de sulfato manganoso (reagente 1) e 2 mL de iodeto azida (reagente 2) no momento da coleta. Todos os frascos foram vedados, etiquetados e resfriados com gelo em caixa térmica até ser entregue ao Laboratório de Química Ambiental.

Na Tabela 4, encontram-se as variáveis analisadas neste estudo e sua unidade.

Tabela 4. Variáveis físico-químicas e biológicas para análise da qualidade da água.

Parâmetros	Unidade	Método
pH	-	Peagâmetro
Temperatura	°C	Medida em Campo
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹	Iodométrico Winkler Modificado
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	ICP - Espectômetro de Emissão Óptico com Plasma Induzido
Coliformes Termotolerantes	mg.L ⁻¹	Filtro de Membrana
Nitrogênio Amoniacal Total	mg.L ⁻¹	Cromatógrafo Líquido
Nitrato	mg.L ⁻¹	Cromatógrafo Líquido
Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹	Cromatógrafo Líquido
Condutividade Elétrica	mS.cm ⁻¹	Condutivímetro
Clorofila <i>a</i>	µg.L ⁻¹	Espectrofotômetro de Absorção Molecular UV-VIS Centrífuga SL – 700
Turbidez	UNF	Método Nefelométrico
Sólidos Totais Dissolvidos	mg.L ⁻¹	Condutivímetro
Carbono Orgânico Dissolvido	mg.L ⁻¹	Método da Combustão a Alta Temperatura
Profundidade	m	Fita graduada

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE PÚBLICO

A análise e interpretação dos dados de qualidade da água do Açude Público foi investigada através da aplicação do Índice de Qualidade de Água de Reservatório - IQAR (equação 1). Entretanto, alguns parâmetros desse índice foram desprezados por não constarem em todas as campanhas, como o número de cianobactérias e a profundidade pelo Disco de Secchi.

Vale ressaltar que para o cálculo IQAR, quando não se dispõe de um parâmetro é possível calcular o índice desconsiderando-o, assim como seu peso, conforme recomendado na literatura (CARDOSO, 2011). O parâmetro Demanda Química de Oxigênio foi substituído por Carbono Orgânico Dissolvido.

Ainda segundo Cardoso (2011), para definição do déficit de oxigênio dissolvido faz-se o cálculo da diferença de 100% de saturação do oxigênio e a porcentagem de saturação média calculada para a coluna d'água.

Assim, a qualidade da água do Reservatório de Nossa Senhora das Dores foi avaliada através do IQAR-Modificado de acordo com o Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR) proposto pelo IAP, cuja classe de qualidade de água a que cada reservatório pertence é calculado através da seguinte equação.

$$IQAR = \frac{\sum (q_i w_i)}{\sum w_i} \quad (1)$$

Onde:

IQAR - Índice de Qualidade da Água de Reservatórios;

q_i = classe de qualidade de água em relação a variável "i", que pode variar de 1 a 6.

w_i = pesos calculados para as variáveis "i".

As variáveis utilizadas para o cálculo do Índice da Qualidade de Água de Reservatórios podem ser definidas em classes visando tornar-se pública e inteligível as informações sobre as condições da qualidade do corpo hídrico (reservatório).

Para o cálculo do Índice da Qualidade de Água de Reservatórios, as variáveis selecionadas receberam pesos distintos, em função de seus diferentes níveis de importância na avaliação da qualidade da água, e estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Variáveis selecionadas e seus respectivos pesos.

Variáveis “ <i>i</i> ”	Pesos w_i
Déficit de oxigênio dissolvido (%)*	17
Fósforo Total (mg/L)**	12
Nitrogênio Inorgânico total (mg/L)**	08
Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)***	15
Profundidade Secchi (m)	12
DQO (mg/L)**	12
Cianobactérias (nº de células /mL)**	08
Tempo de residência - (dias)	10
Profundidade média - (m)	06

(*) média da coluna d’água; (**) média das profundidades I e II; (***) profundidade I
Fonte: adaptado de IAP (2014).

Desta forma, as seis classes de qualidade de água de acordo com o IAP estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Classes de qualidade da Água.

Valor do IQAR	Qualificação
$0 \leq \text{IQAR} \leq 1,5$	Não impactado a muito pouco degradado
$1,51 \leq \text{IQAR} \leq 2,5$	Pouco degradado
$2,51 \leq \text{IQAR} \leq 3,5$	Moderadamente degradado
$3,51 \leq \text{IQAR} \leq 4,5$	Criticamente degradado a poluído
$4,51 \leq \text{IQAR} \leq 5,5$	Muito poluído
$\text{IQAR} > 5,51$	Extremamente poluído

Fonte: adaptado de IAP (2014).

Para o cálculo do IQAR - Modificado, as variáveis selecionadas receberam os mesmos pesos das respectivas variáveis de origem em função do seu nível de importância para a avaliação da qualidade da água do reservatório, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Matriz de qualidade da Água.

Variáveis "i"	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI
Déficit de Oxigênio dissolvido (%)	≤5	6 - 20	21-35	36-50	51-70	>70
Clorofila a (mg.m⁻³)	≤1,5	1,5-3,0	3,1-5,0	5,1-10,0	11,0-32,0	>32
Fósforo total (mg.L⁻¹)	≤0,010	0,011-0,025	0,026-0,040	0,041-0,085	0,086-0,210	>0,210
Profundidade – Disco de Secchi (m)	≥3	3-2,3	2,2-1,2	1,1-0,6	0,5-0,3	<0,3
Demanda química de oxigênio – DQO (mg.L⁻¹)	≤3	3 - 5	6 - 8	9 - 14	15-30	>30
Tempo de residência (dias)	≤10	11 - 40	41-120	121-365	366-550	>550
Nitrogênio inorgânico total (N-mg.L⁻¹)	≤0,15	0,16-0,25	0,26-0,60	0,61-2,00	2,00-5,00	>5,00
Cianobactérias (nº de células /mL)	≤1.000	1.001-5.000	5.001-20.000	20.001-50.000	50.001-100.000	>100.000
Profundidade média (m)	≥35	34 - 15	14 -7	6 - 3,1	3 - 1,1	<1

Fonte: Adaptado de IAP (2014).

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Através da análise da estatística básica é possível identificar a discrepância existente entre os dados, para análise bivariada, as variáveis físicas, químicas e biológicas podem se agrupar em dados comuns. Assim, para a análise estatística bivariada os dados foram trabalhados pelo método de estatístico, Matriz de Correlação (GUEDES et al, 2012).

Para os cálculos da média, desvio padrão, valor máximo e mínimo foi utilizada a planilha do ExcelTM. Para a matriz de correlação, o cálculo das variáveis de qualidade da água foi realizado com o auxílio do software R para Windows, versão 3.3.1.

De acordo com Vicini (2015), a Matriz de Correlação de Pearson pode ser entendida como uma outra forma de estabelecer o conceito de distância entre os objetos. Através do Coeficiente de Pearson (equação 2), a distância entre os objetos R e T, é dada pela seguinte fórmula:

(2)

$$r_{ii'} = \frac{\sum_j X_{ij} X_{i'j} - \frac{1}{p} (\sum_j X_{ij}) (\sum_j X_{i'j})}{\sqrt{\left[\sum_j X_{ij}^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_j X_{ij} \right)^2 \right] \left[\sum_j X_{i'j}^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_j X_{i'j} \right)^2 \right]}}.$$

Onde,

$r_{ii'}$ = Correlação de Pearson dos indivíduos localizados nas linhas i e i' na matriz de dados;

p = valor do conjunto de variáveis.

Esta correlação serve, essencialmente, para estabelecer a dependência entre dois indivíduos, que no caso em estudo é dado pelas variáveis de qualidade da água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO - IQAR

Os Índices de Qualidade de Água são ferramentas que auxiliam a identificação da situação ambiental ao qual um corpo hídrico está sofrendo. Tratando-se de ambientes lênticos, reservatórios de água, o IQAR possibilita caracterizar em que condições esse sistema, de forma que, a inferência de que um determinado manancial se encontra em condições inadequadas ou fora dos padrões da legislação sugere que alterações ambientais estão ocorrendo em seu entorno.

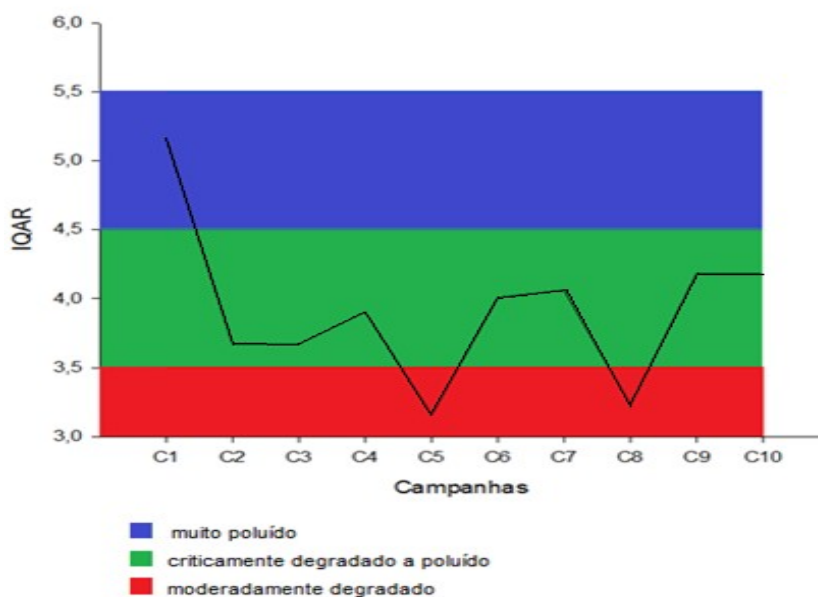
Na Tabela 8, estão apresentados os resultados do IQAR para as campanhas de monitoramento realizadas no Reservatório de Nossa Senhora das Dores - SE, no período de 2014 a 2016. Observa-se que o intervalo de valores do IQAR variou entre 3,16 e 5,16, com classificação de moderadamente degradado, menor valor, criticamente degradado a poluído e muito poluído, este último assumindo o maior valor.

Tabela 8 - Resultado Sazonal do IQAR e sua classificação para as campanhas realizadas no reservatório de Nossa Senhora das Dores - SE.

Campanhas	Período	IQAR	Classes
C1 - 02/2014	Seco	5,16	V
C2 - 05/2014	Chuvoso	3,67	IV
C3 - 08/2014	Chuvoso	3,67	IV
C4 - 11/2014	Seco	3,90	IV
C5 - 02/2015	Seco	3,16	III
C6 - 07/2015	Chuvoso	4,01	IV
C7 - 11/2015	Seco	4,06	IV
C8 - 01/2016	Seco	3,23	III
C9 - 05/2016	Chuvoso	4,18	IV
C10 - 10/2016	Seco	4,18	IV

Na Figura 3, nota-se que entre 3,67 a 4,18, correspondente a Classe IV- Criticamente degradado a poluído, os valores do IQAR mantiveram-se em predominância, com cerca de 70% de ocorrência em toda a campanha de amostragem, demonstrando assim, uma qualidade negativa para a qualidade da água do reservatório.

Figura 3 - Gráfico dos valores do IQAR ao longo das campanhas.



Entretanto, nas campanhas de fevereiro/2015 (C5) e janeiro/2016 (C8), correspondentes ao período seco, ocorreu uma significativa melhoria, apresentando um resultado de $3,0 \leq \text{IQAR} \leq 3,5$, com a classificação de moderadamente degradado. Para a classificação cujo resultado do IQAR é igual 5,16, Classe V - muito poluído - ocorreu apenas uma campanha, correspondente a fevereiro/2014 (Tabela 8).

Segundo IAP (2014), reservatórios Classe III - "Moderadamente degradado" é definido como:

Corpos de água que apresentam um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna d'água podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo em determinados períodos. Médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e densidade de algumas espécies de algas, sendo que algumas espécies podem ser predominantes. Tendência moderada a eutrofização. Tempo de residência das águas considerável.

E "Criticamente degradado", representado pela Classe IV, de acordo com IAP (2014) é definido como:

Corpos de água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna d'água, aporte de consideráveis cargas de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas e/ou cianobactérias, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente a alta turbidez biogênica. A partir desta Classe é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado déficit de oxigênio dissolvido.

Ainda segundo IAP (2014), reservatório Classe V - "Muito poluído" é definido como:

Corpos de água com altas concentrações de matéria orgânica, geralmente com supersaturação de oxigênio dissolvido na camada superficial e baixa saturação na camada de fundo. Grande aporte e alta reciclagem de nutrientes. Corpos de água eutrofizados, com florações de algas e/ou cianobactérias que frequentemente cobrem grandes extensões da superfície da água, o que limita a sua transparência.

A Tabela 9 mostra através do resultado de cada campanha o valor médio do IQAR Modificado referente à sazonalidade, onde o período seco o IQAR-M foi igual a 3,94 e para o período chuvoso, o valor encontrado foi de 3,88. Ambos os períodos pertencentes à Classe IV - criticamente degradado a poluído.

Tabela 9 - Resultados do IQAR - M em relação sazonalidade.

Período	IQAR-M	Classes
Seco	3,94	IV
Chuvoso	3,88	IV

Melo et al. (2015), avaliaram o IQAR nos reservatórios do Algodoeiro e Glória, em Nossa Senhora da Glória - SE. O reservatório do Algodoeiro obteve Classe IV (criticamente degradado a poluído) para os períodos seco e chuvoso. No reservatório Glória, a Classe IV

ficou caracterizada no período chuvoso, contudo, no período seco, a classificação aumentou para um ambiente muito poluído - Classe V, a justificativa para a alteração negativa de classe do reservatório Glória, os autores atribuíram o resultado pelo aumento da concentração de clorofila-a de aproximadamente 20 vezes.

Vale ressaltar que o reservatório deste estudo pertence ao Polígono das Secas, região onde também estão localizados os reservatórios do Algodoeiro e Glória. Porém, em distintas bacias hidrográficas.

Em estudos realizados no reservatório de abastecimento da barragem do rio São Bento - Criciúma/ SC, em relação ao período sazonal, dentre os 7 pontos analisados no reservatório, o resultado do IQAR foi de “Pouco degradado”, enquanto para os demais pontos também analisados no mesmo reservatório, a classificação do mesmo foi de “Moderadamente degradado”, segundo Dall’agnol (2015).

O autor atribuiu o resultado de “Pouco degradado” ao período chuvoso (inverno), onde homogeneidade do corpo hídrico é mais significativa neste período, cujo oxigênio dissolvido é mais bem distribuído entre as camadas estratificadas. E para IQAR “Moderadamente degradado”, nos meses com temperaturas elevadas (seco), observou-se uma diferença de estratificação, ocorrendo diferentes distribuições de temperatura e concentração de massas.

5.2 PARÂMETROS QUE INFLUENCIARAM OS RESULTADOS DE IQAR

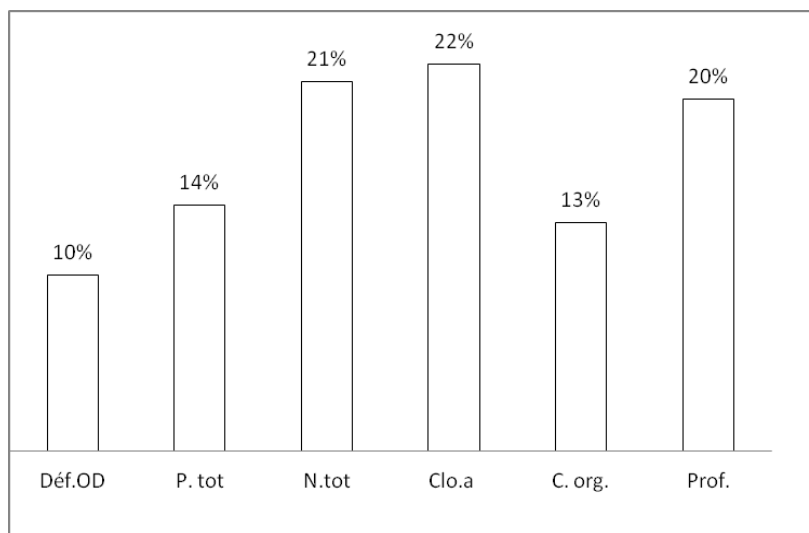
A identificação dos parâmetros que influenciaram para o aumento de classe de IQAR tem papel importante para o diagnóstico ambiental do reservatório. Através do estudo dessas variáveis é possível inferir quais são os fatores ambientais que colaboraram para a má qualidade da água.

Através da equação do IQAR são conhecidos os pesos que cada variável vai assumir, nela podemos observar que o déficit de oxigênio dissolvido recebe um peso maior (17). Com o objetivo de conhecer qual parâmetro contribuiu significativamente para o resultado final o índice foi realizado a percentagem entre os resultados finais das classes que cada parâmetro obteve.

O somatório total das classes em que cada variável obteve foi de 247, individualmente, para o Déficit de Oxigênio (%) o total foi 25, Fósforo total, 34, Nitrogênio total, 52, Clorofila *a*, 55, Carbono orgânico, 31 e Profundidade média, 50, isso corresponde a um percentual contribuição de 10%,14%, 21%,22%,13% e 20%, respectivamente.

Na Figura 4 estão dispostos os parâmetros utilizados no cálculo do IQAR Modificado e suas respectivas percentagens para todas as campanhas realizadas.

Figura 4 - Percentagem dos parâmetros



Com base nos valores levantados e sintetizados na Figura 4, nota-se que o Nitrogênio total (21%) e a Clorofila *a* (22%) foram os parâmetros que estiveram em elevadas concentrações, por consequência obtiveram maiores valores das classes contribuindo assim para o péssimo resultado de qualidade da água.

Em estudo similar em que foi identificado o percentual dos parâmetros que mais influenciaram nos resultados de IQA Ruim e/ou Muito Ruim por estação de monitoramento na bacia da Lagoa da Pampulha no período de 2006 a 2012 elaborado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, os coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e fósforo total foram os que obtiveram maiores percentuais (IMGA, 2013).

Os parâmetros que contribuíram para a perda da qualidade da água na lagoa Caiubá foram a turbidez, a clorofila-a e o fósforo total pela grande porcentagem, segundo Cunha et al (2013).

A Tabela 10 mostra as concentrações que cada parâmetro obteve.

Tabela 10 - Resultado IQAR-M com os parâmetros utilizados para o seu cálculo.

Campanha	Deficit de Oxigênio (%)	Fósforo Total (mg.L⁻¹)	N_{itorg.} Total (mg.L⁻¹)	Clorofila a (mg.m⁻³)	C. Orgânico (mg.L⁻¹)	Profundidade média (m)	IQAR - M
C1 - 02/2014	68	0,099	44,24	105,77	8,75	1,9	5,16
C2 - 05/2014	Excesso	0,104	0,448	130,75	7,7	1,9	3,67
C3 - 08/2014	Excesso	0,102	0,448	139,98	7,7	1,9	3,67
C4 - 11/2014	Excesso	0,109	3,2	116,4	8	1,9	3,9
C5 - 02/2015	Excesso	0,003	9,364	63,103	3,48	1,9	3,16
C6 - 07/2015	58	n.d.	2,683	110,5	4,87	1,9	4,01
C7 - 11/2015	38	0,005	14,719	25,98	6,32	1,9	4,06
C8 - 01/2016	63	n.d.	12,49	n.d.	5,98	1,9	3,23
C9 - 05/2016	Excesso	0,115	16,44	76,53	9,48	1,9	4,18
C10 10/2016	Excesso	0,123	19,85	84,44	11,76	1,9	4,18

5.3 ANÁLISE SAZONAL DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

Lemos et al, (2010), constaram que as diferenças da qualidade da água dos mananciais em função da época do ano se devem à diminuição do nível das águas na estação seca, já a variação na qualidade bacteriológica da água é maior logo após o período das chuvas.

Através da análise da estatística básica é possível identificar a discrepância existente entre os dados. Os valores médios, de máximo, mínimo e o desvio padrão correspondentes as análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no período de amostragem estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 - Estatística básica dos parâmetros de qualidade da água no período seco e chuvoso e durante todo o período de amostragem no Reservatório de Nossa Senhora das Dores.

Parâmetros	Valores	Período seco	Período chuvoso	Período de amostragem (2014 - 2016)
T (°C)	Média	28,76	28,55	28,68
	Desvio Padrão	0,89	0,52	0,17
	Máximo	30,00	29,00	30,00
	Mínimo	28,00	28,00	28,00
pH	Média	7,65	7,80	7,71
	Desvio Padrão	0,81	0,79	0,762
	Máximo	8,84	8,84	8,80
	Mínimo	6,90	7,10	6,90
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	Média	7,27	4,65	6,22
	Desvio Padrão	5,75	5,29	5.437,00
	Máximo	14,76	12,53	14,76
	Mínimo	0,74	1,12	0,74
N _{total} (mg.L ⁻¹)	Média	17,31	5,00	12,00
	Desvio Padrão	14,31	7,69	13,18
	Máximo	44,24	16,44	4,24
	Mínimo	3,20	0,44	0,44
Amônia (mg.L ⁻¹)	Média	0,73	0,63	0,69
	Desvio Padrão	0,53	0,17	0,39
	Máximo	0,59	0,83	1,52
	Mínimo	0,41	0,52	0,41

Parâmetros	Valores	Período seco	Período chuvoso	Período de amostragem (2014 - 2016)
P_{total} (mg.L⁻¹)	Média	0,06	0,08	0,07
	Desvio Padrão	0,06	0,05	0,05
	Máximo	0,12	0,12	0,12
	Mínimo	0,00	0,00	0,00
Clorofila a (µg.L⁻¹)	Média	65,94	114,44	85,34
	Desvio Padrão	45,66	28,11	45,26
	Máximo	116,4	139,98	139,98
	Mínimo	0,00	76,53	0,00
Turbidez (NTU)	Média	107,34	142,39	114,89
	Desvio Padrão	43,96	87,715	66,11
	Máximo	153,30	220,34	220,34
	Mínimo	53,30	31,10	31,11
STD (mg.L⁻¹)	Média	208,49	192,24	201,99
	Desvio Padrão	126,02	157,10	121,01
	Máximo	358,00	371,67	371,67
	Mínimo	48,00	59,30	48,00
OD (mg.L⁻¹)	Média	7,35	6,78	7,12
	Desvio Padrão	1,26	1,46	1,29
	Máximo	8,2	8,3	8,37
	Mínimo	5,05	4,8	4,8
CT (NMP.100mL⁻¹)	Média	28200	2475	17910
	Desvio Padrão	64574,85	780,491	49932,89
	Máximo	160000	3500	160000
	Mínimo	1100	1600	1100
CE (µS.cm⁻¹)	Média	534,15	447,492	499,487
	Desvio Padrão	120,31	195,867	151,103
	Máximo	730	737,67	737,7
	Mínimo	353,3	312	312

T (°C) – temperatura; pH – potencial hidrogeniônico; NO₃⁻ (mg.L⁻¹) – nitrato; N_{total} (mg.L⁻¹) – nitrogênio total; P_{total} (mg.L⁻¹) – fósforo total; STD (mg.L⁻¹) – sólidos totais dissolvidos; OD (mg.L⁻¹) – oxigênio dissolvido; CT (NMP. 100mL⁻¹) – coliformes termotolerante; CE (µS.cm⁻¹) – condutividade elétrica.

5.3.1 Temperatura da água

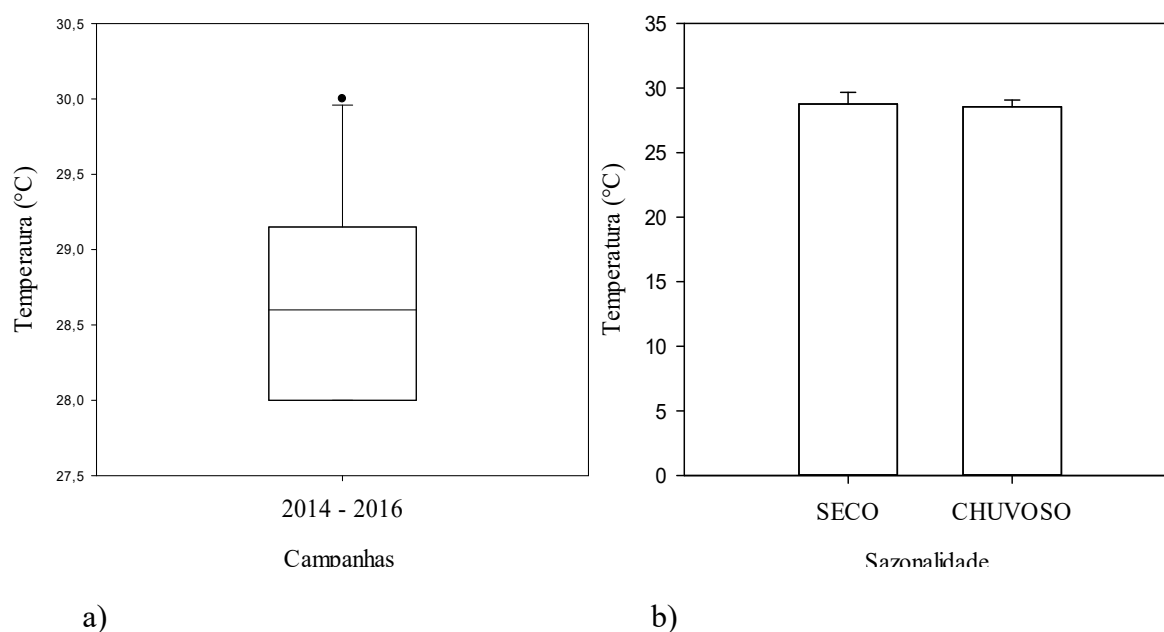
A variação da temperatura em um sistema aquático pode influenciar nos resultados de concentrações de parâmetros físico-químicos, a exemplo do oxigênio dissolvido, cuja a concentração e solubilização no sistema dependem também da temperatura, bem como os parâmetros microbiológicos, organismos aquáticos, de acordo com Sequeira (2012).

Para Esteves (1988), a estratificação térmica em corpos hídricos é formada pela absorção da radiação solar incidente na superfície da água, a depender da profundidade e do

entorno, os ventos podem movimentar as massas de água no reservatório provocando a redução de oxigênio dissolvido na água.

Com o auxílio da Tabela 11 e da Figura 5b observa-se que a temperatura não variou expressivamente, o seu desvio padrão é relativamente baixo em todo o período (2014-2015). Contudo, há um pico correspondente a 30°C, como pode ser observado na Figura 5a, onde os maiores valores encontrados foram no período seco, como esperado. No entanto, o valor médio dos dois períodos foi aproximadamente o mesmo.

Figura 5 - Gráfico de box-plot e histograma das variações da temperatura.



A legislação não dispõe de limites para os valores máximos ou mínimos estipulados para esta variável, no entanto, quando comparamos com a classificação Köppen-Geiger, o local em estudo é caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco (As'), (SERGIPE, 2000).

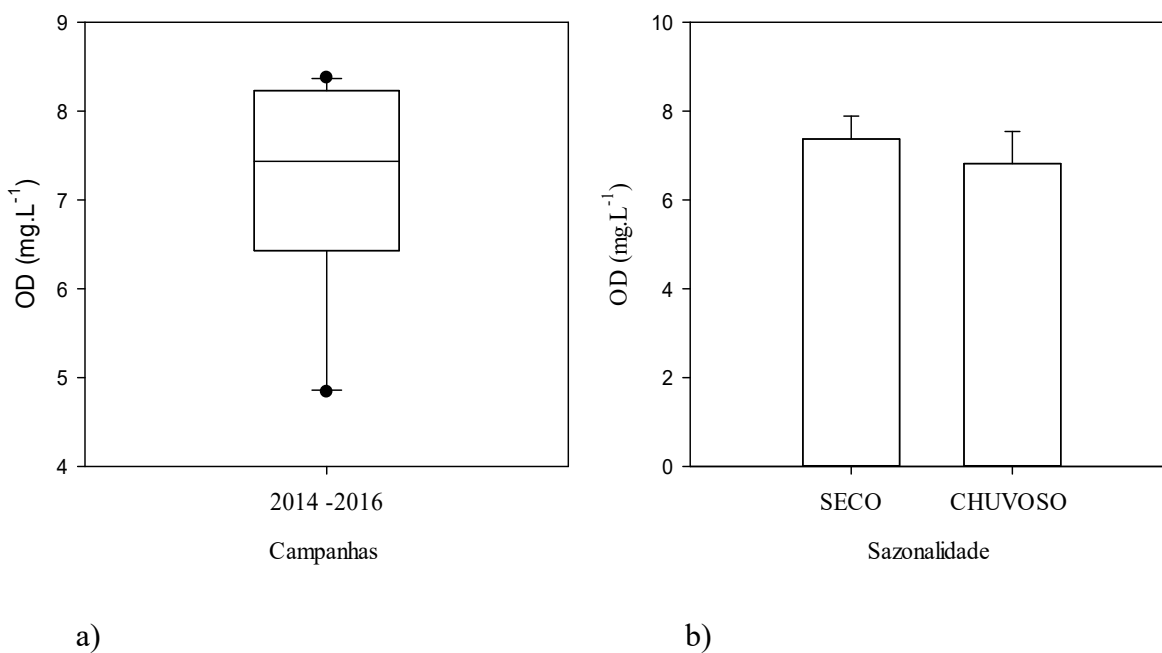
Santos (2016) observou a variação sazonal da temperatura das águas do reservatório Poção da Ribeira, que para os anos de 2013 e 2015, onde as temperaturas registradas no período chuvoso foram menores que as registradas no período seco.

5.3.2 Oxigênio Dissolvido

A concentração média de oxigênio dissolvido analisada foi $7,35 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco, e $6,78 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso, no entanto, o valor mínimo necessário para enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, 3 e 4 são, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, 6 mg.L^{-1} , 5 mg.L^{-1} , 4 mg.L^{-1} , e 2 mg.L^{-1} , respectivamente.

Apesar de o reservatório ser enquadrado na Classe 1, pelos resultados das médias em todo o período, cabe mensurar a significância do valor mínimo, $4,8 \text{ mg.L}^{-1}$, obtido no período chuvoso, (Figura 6), enquadrando o reservatório na Classe 3.

Figura 6 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do oxigênio dissolvido.



USEPA (1986) relata que a ausência de oxigênio dissolvido pode afetar significativamente a biodiversidade de um ecossistema aquático. No caso do Açude Público, os resultados demonstram que no período chuvoso há um maior aporte de matéria orgânica aumentando o consumo de OD.

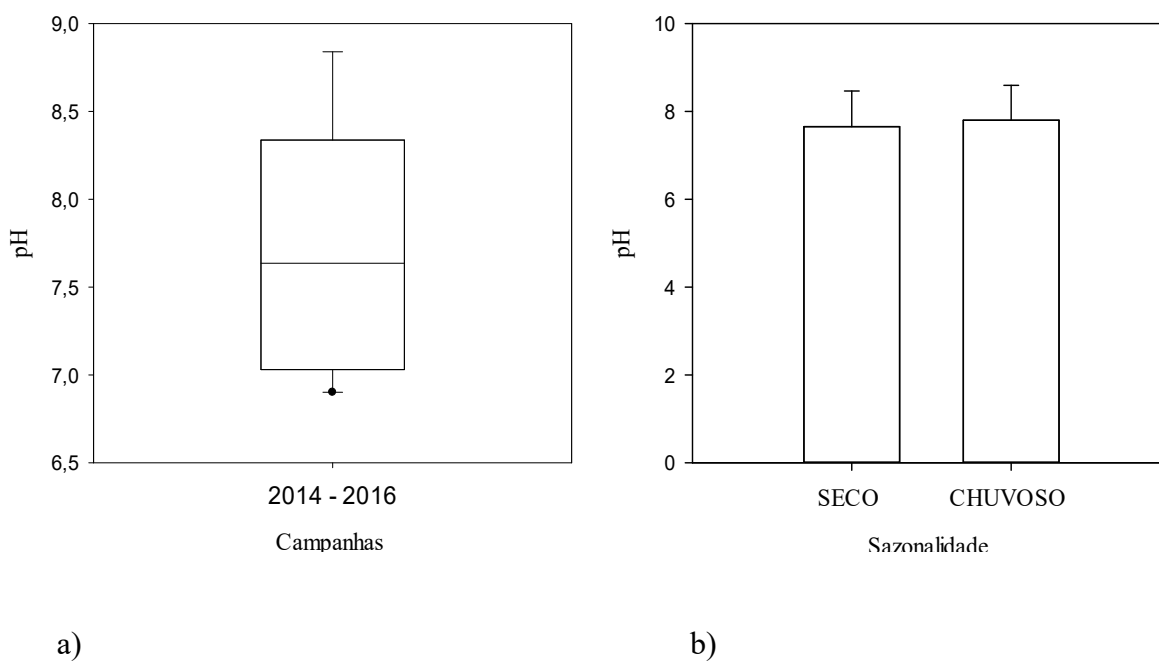
No estudo do Rio Siriri/SE, esta alteração foi verificada no período seco, onde a concentração de OD mostrou -se baixa, segundo o autor, este comportamento mostra que o Rio Siriri, em período de poucas precipitações, apresenta-se rico em nutrientes, favorecendo à proliferação de algas e micro-organismos que consomem nutrientes utilizando o oxigênio dissolvido das águas, Gonçalves (2015).

Em estudo realizado por Machado (2013), na Bacia Hidrográfica do Siriri Vivo, em Sergipe, as concentrações médias de OD variaram de 6,32 a 8,00 mg.L⁻¹, não apresentando limites inferiores de acordo com Resolução CONAMA 357/05.

5.3.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O valor encontrado de pH, nas análises realizadas, variou entre 6,9 e 8,8 em todo o período. O valor médio para o período seco esteve próximo de 7,6, já no período chuvoso este valor esteve próximo de 7,8, (Tabela 10). Vê-se, então, que os valores de pH se encontram dentro dos limites estabelecidos tanto para a Resolução CONAMA 357/2005, quanto para os critérios de proteção da vida aquática da CETESB. Mas é importante salientar que foi encontrado pH igual a 8,84, (Figura 7 a e b) nos dois períodos de amostragem, valor próximo ao limite superior que é 9.

Figura 7 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do pH.



O pH da água também interfere em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente, as restrições de faixa de pH são estabelecidas pela legislação federal para o enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, 3 e 4, com valor fixado entre 6 a 9. De acordo com a Cetesb (2014), os critérios para este intervalo garantem a proteção à vida aquática.

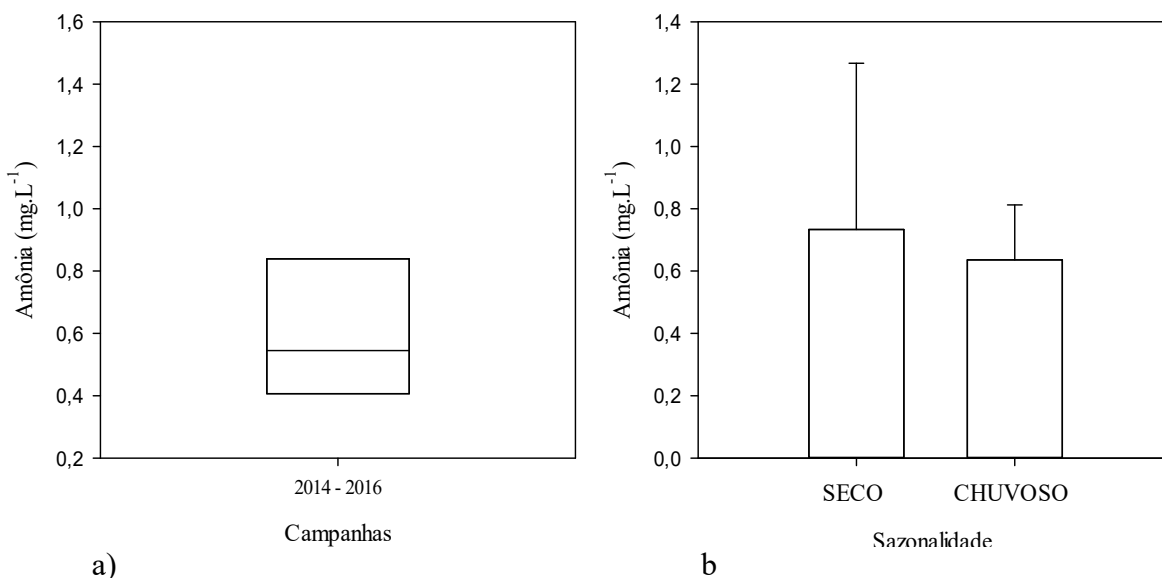
Em situações adequadas, o carbono inorgânico dissolvido é o fator limitante para a fotossíntese das algas, assim quando há um crescimento de algas, influenciado pelo aumento de material orgânico (nitrogênio e fósforo), o pH sofre alterações importantes, passando para um ambiente alcalino com $\text{pH} > 9,5$, (WETZEL et al, 2000).

Para Guedes (2015), os valores de pH, bem como temperatura da água, oxigênio dissolvido e a condutividade elétrica indicaram ligeira alcalinidade, o valores de pH foram de 7,72 (mínimo) e máximo de 7, ambos encontrando-se dentro dos do CONAMA 357/05.

5.3.4 Série nitrogenada: nitrogênio amoniacal (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrogênio total (N_{total})

Com base na Tabela 10, a média obtida para o nitrogênio amoniacal no período seco foi $0,73 \text{ mg.L}^{-1}$ e para o chuvoso foi $0,63 \text{ mg.L}^{-1}$, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 os valores estipulados acima para esta variável são $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ para as Classes 1 e 2, $13,3 \text{ mg.L}^{-1}$ e para a Classe 3 e para a Classe 4 os valores superiores ao da Classe 3. Assim, o reservatório para este parâmetro é caracterizado na Classe 1.

Figura 8 - Gráfico de box-plot e histograma de variações da amônia.



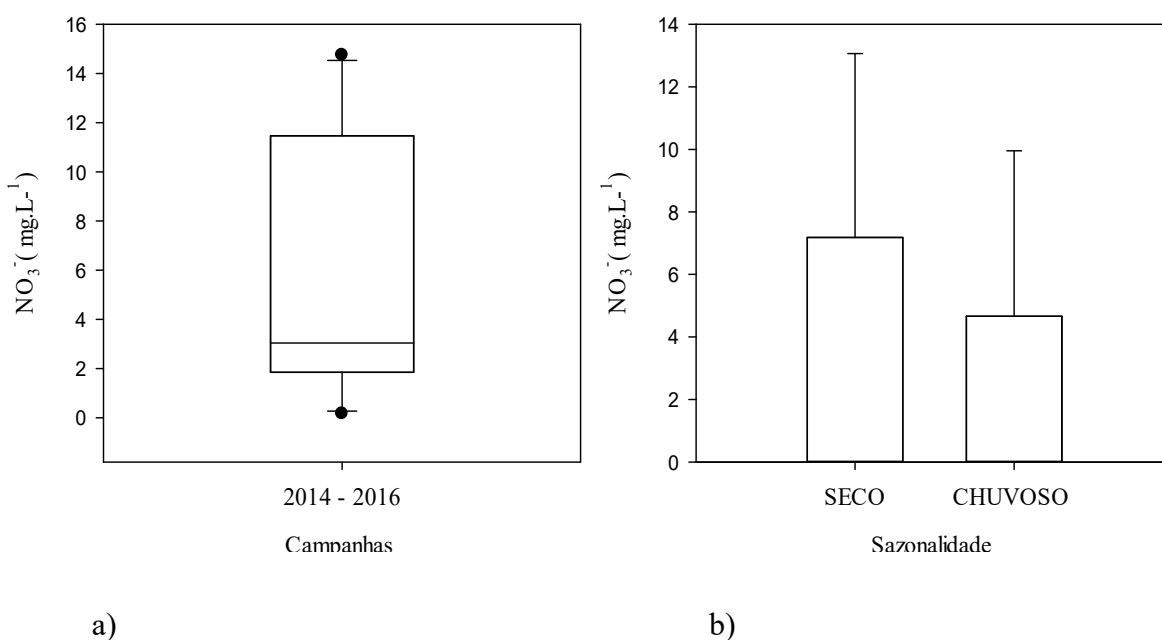
O Nitrato (NO_3^-), forma oxidada do nitrogênio, esta forma de nitrogênio indica poluição remota, ou seja, já ocorreu há um determinado tempo, (LIBÂNIO, 2010).

A média de nitrato para a coleta referente ao período seco foi 4,65 mg.L⁻¹ e ao período chuvoso foi 6,22 mg.L⁻¹, enquanto que para todo o período de amostragem foi de 7,27 mg.L⁻¹, vistos na Tabela 11.

De acordo com Libânio (2010), o Nitrogênio pode existir sob diversas formas nos corpos d'água, ele é nutriente essencial para a maioria dos organismos do corpo hídrico, juntamente com o fósforo favorece o crescimento de algas, cianobactérias e plantas aquáticas. Estes macronutrientes são fatores limitantes para a eutrofização de reservatórios.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o valor para enquadramento do corpo hídrico nas Classes 1, 2 e 3 é de até 10,0 mg.L⁻¹. No entanto, como observa-se na Figura 9, os valores máximos encontrados foram de 14,76 mg.L⁻¹ (seco) e 12,53 mg.L⁻¹ (chuvoso). De acordo com a legislação citada os corpos hídricos com valores mais elevados serão enquadrados como Classe 4. Ainda assim, para esta variável, o reservatório é classificado na Classe 2, pelas médias obtidas nas médias sazonais.

Figura 9- Gráfico de box-plot e histograma de variações do nitrato.

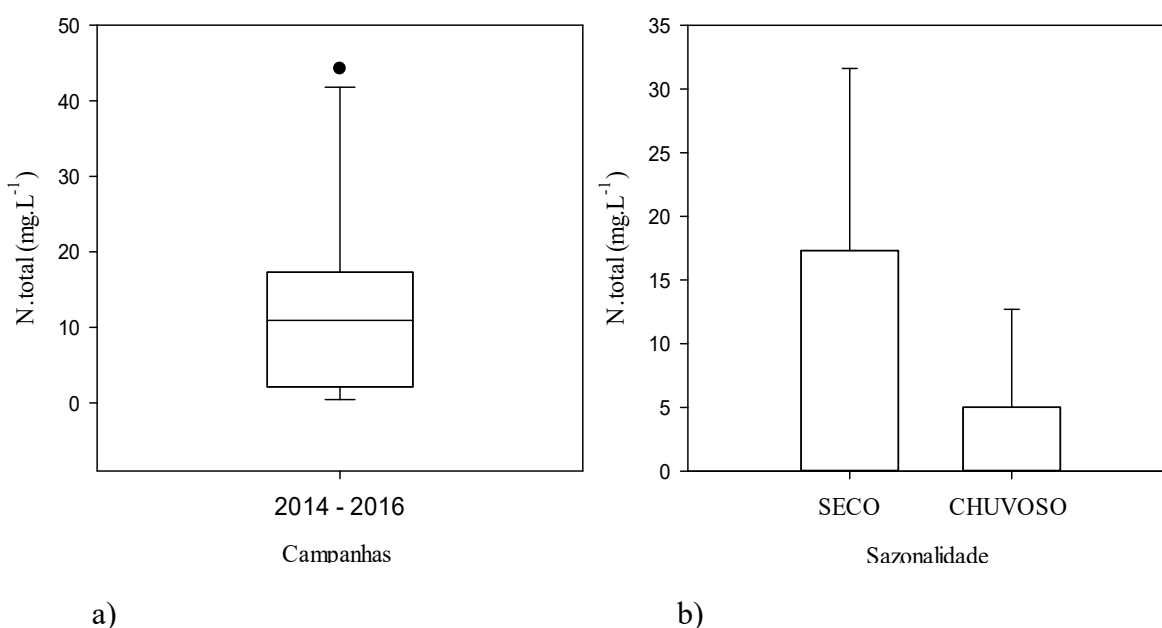


Para o nitrogênio orgânico total o valor médio encontrado no período seco foi de 17,31 mg.L⁻¹ e para o período chuvoso foi 5,00 mg.L⁻¹. Para este parâmetro não há valor limite previsto na legislação.

Retomando a Libânio (2010), "a presença do nitrogênio nas águas pode denotar significativa origem antrópica, lançamento de despejos domésticos - a quase totalidade nas formas de nitrogênio orgânico (40%) e amônia (60%)".

Ainda sim, através da Figura 10 a e dos valores expressos na Tabela 11 verifica-se picos de concentração do nitrogênio total, chegando a $44,24 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco.

Figura 10 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do nitrogênio inorgânico total.



A poluição por nitrogênio no rio Tang Wen-Rui foi o mais grave problema de poluição. O $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ foi a principal forma de nitrogênio nessa bacia, constituindo 74,6% da concentração TN em média, em comparação com o padrão de classe V de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, foram de 2,8 e 3,5, respectivamente, em pesquisas feitas por Xiaoliang et al, (2015). No estudo, os autores correlacionaram este aumento com a baixa concentração de OD, atribuindo o efeito da sazonalidade como causa.

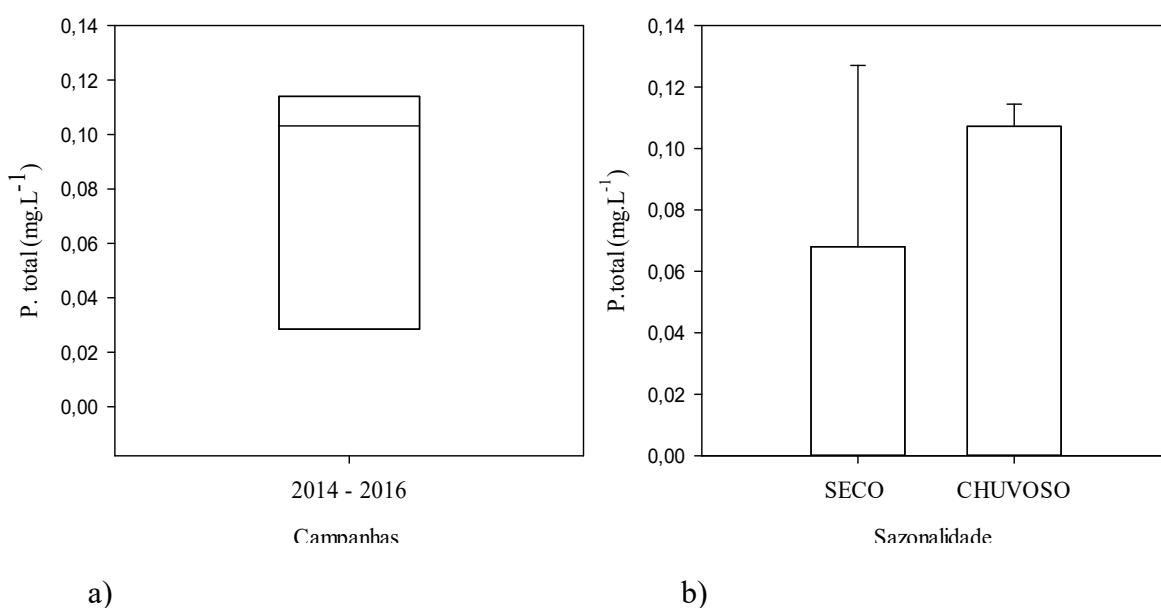
5.3.5 Fósforo total

Pela Resolução CONAMA 357/2005 o valor máximo de fósforo total permitido para o enquadramento de ambientes lânticos de água limita-o com valor máximo de $0,020 \text{ mg.L}^{-1}$

para a Classe 1, 0,030 mg.L⁻¹ para Classe 2, 0,050 mg.L⁻¹ para a Classe 3 e valores superiores a esse último se enquadram na Classe 4.

A pesquisa de Cunha et al (2013), que avaliou os níveis de não conformidade entre a qualidade de rios e reservatórios do estado de São Paulo e o seu enquadramento, 2005 a 2009, relatou concentrações médias de fósforo total iguais 0,31 e 0,13 mg.L⁻¹ em rios e reservatórios, respectivamente. Analogamente, o valor médio encontrado para esta variável no Reservatório de Nossa Senhora das Dores, em todo o período de amostragem foi de 0,066 mg.L⁻¹, 0,056 mg.L⁻¹, para o período seco e 0,080 mg.L⁻¹, para o período chuvoso, sendo este, enquadrado na Classe 4, Tabela 11 e Figura 11 (a e b).

Figura 11 - Gráfico de box-plot e histograma de variações do fósforo total.



Wiegand (2016), em análise do estado de eutrofização e suas prováveis causas em dois reservatórios tropicais, um em clima úmido (La Juventud, Cuba) e o outro em clima semiárido (Marengo, Brasil), verificou que a existência de núcleos urbanos aumenta o aporte de constituintes ao reservatório, como em relação ao nitrogênio e ao fósforo observados em sua área de estudo.

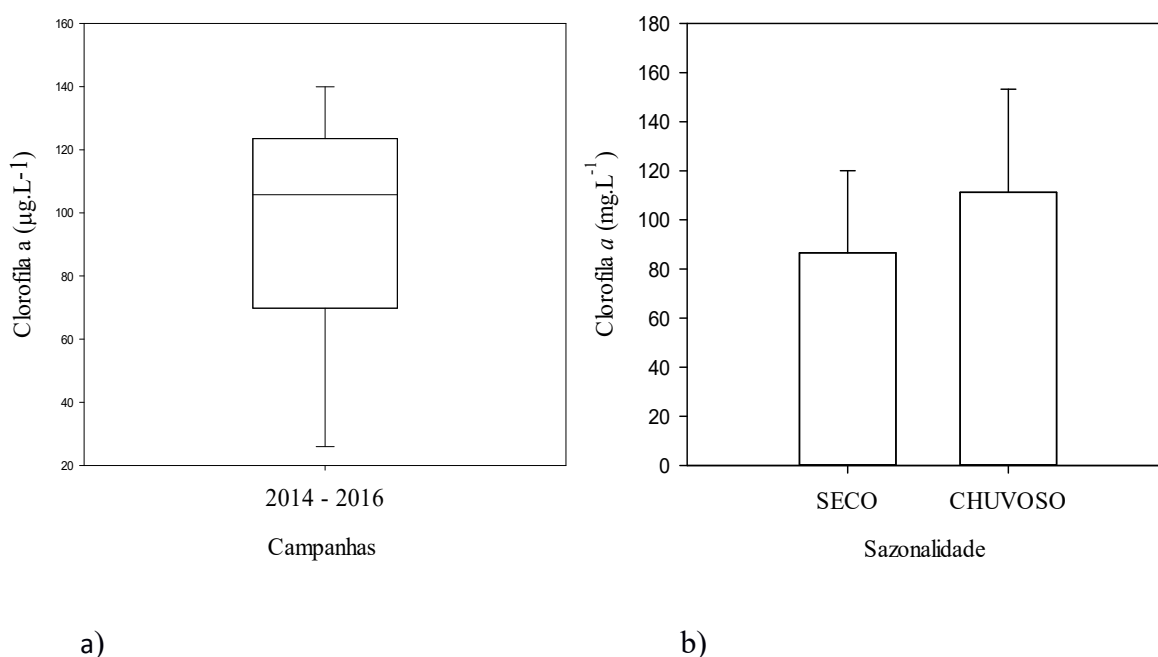
Este fato pode ser comparado com o reservatório em estudo, visto que, de acordo com o mapa de uso e ocupação do solo, seu entorno é caracterizado por solo construído (meio urbano) e pastos de arbustos (meio rural) (Gonçalves, 2016). No reservatório de Jucazinho, em Pernambuco, foi encontrada uma acumulação média de fósforo em torno de 33 kg.dia⁻¹, o que corresponde a aproximadamente 11.000 kg.ano⁻¹. Segundo Barbosa e Cirilo (2015), essa

carga de fósforo é proveniente dos efluentes domésticos e industriais (lavanderias) que são carregados pelos corpos hídricos, alcançando, por fim, o manancial.

5.3.6 Clorofila *a*

Quanto à concentração da Clorofila *a* nas águas do Reservatório de Nossa Senhora das Dores no período seco foi $65,95 \mu\text{g.L}^{-1}$ e no período chuvoso $114,44 \mu\text{g.L}^{-1}$, o valor de desvio padrão foi relativamente alto com $45,66 \mu\text{g.L}^{-1}$ (seco) e $28,11 \mu\text{g.L}^{-1}$ (chuvoso), vistos na Tabela 11. Através do estudo da sazonalidade pode-se inferir em que momento a clorofila *a* encontrou-se em maiores concentrações. A Figura 12.b mostra que no período chuvoso a concentração de Clorofila *a* foi maior.

Figura 12 - Gráfico de box-plot e histograma de variações da clorofila *a*.



Quando os resultados dos nutrientes se encontram em concentrações elevadas, pode-se obter maiores concentrações de Clorofila *a* nas águas do reservatório, segundo Buzelli e Cunha-Santino (2013). De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 os valores máximos permitidos para este parâmetro são $10 \mu\text{g.L}^{-1}$, $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $60 \mu\text{g.L}^{-1}$, para o enquadramento nas Classes 1, 2 e 3, respectivamente. Logo, evidencia-se que esta variável possui Classe 4, segundo a legislação federal.

Esta variável biológica, Clorofila *a* é o pigmento fotossintético encontrado em todas as algas, e é, portanto, um indicador direto da biomassa algal. Comumente em lagos, o fósforo é

nutriente limitante para o crescimento das plantas aquáticas. Nesse sentido, o controle adequado do fósforo, particularmente de fontes antropogênicas, pode diminuir o crescimento da vegetação aquática (CHIN, 2013).

Na pesquisa feita por Alves et al (2012), as maiores concentrações registradas no Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil) foram encontradas no período chuvoso para o estudo da Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico.

Para o reservatório de Gargalheiras, no Rio Grande do Norte, as concentrações de clorofila *a* foram maiores no período seco (estiagem), segundo o autor essas concentrações estiveram bem acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para doces de classe 2, com valor médio de $84,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ (MESQUITA, 2009).

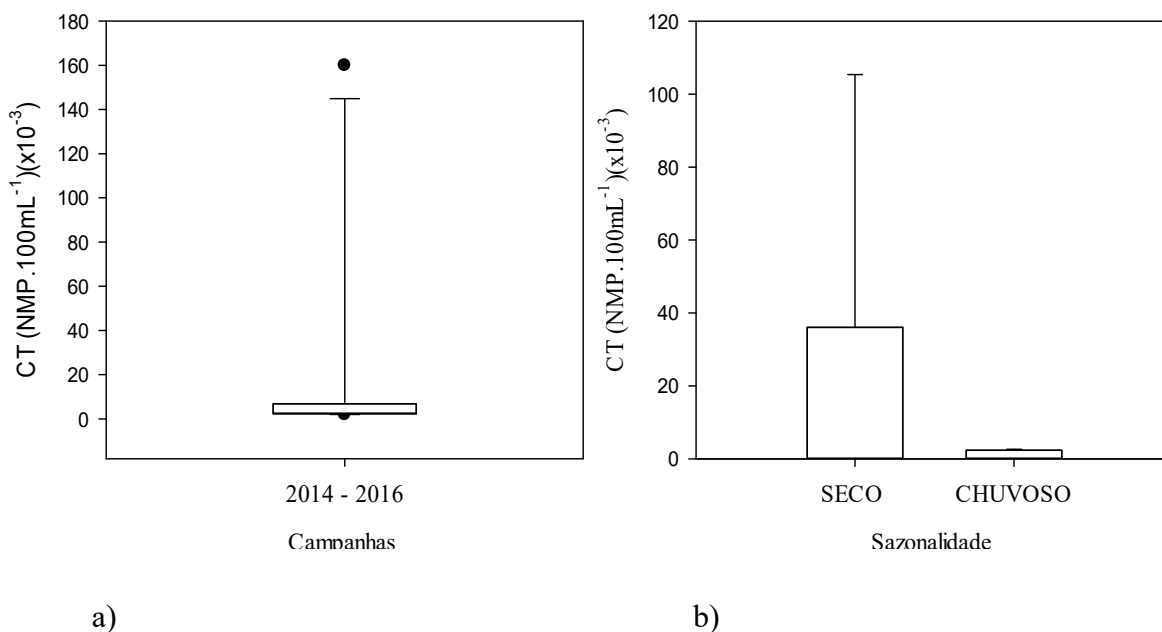
5.3.7 Coliformes Termotolerantes

Na Tabela 11, o expressivo valor máximo encontrado para os coliformes termotolerantes, igual a $160000 \text{ NMP.100mL}^{-1}$, esses organismos dão uma indicação de contaminação da água por material fecal (humano ou de animais), e, portanto, demonstram a potencialidade que a água tem em transmitir doenças, Cetesb (2014). Conforme Breda (2011), os coliformes termotolerantes não são, de certa forma, indicadores de contaminação fecal tão bons quanto a *E. coli*, contudo seu uso é aceitável para avaliação da qualidade da água, pois sua determinação é dada através de métodos rápidos, simples e padronizados.

Segundo a Resolução CONAMA 274/00, em relação a balneabilidade, as águas serão consideradas impróprias quando no trecho avaliado, for verificado que, se o valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes fecais (termotolerantes). Dentre os resultados das análises, foi encontrado na última campanha (C10) o valor de 3500 para coliformes termotolerantes, conclui-se que o Açude Público excedeu esse limite estabelecido pela legislação, o caracterizando como impróprio para o uso. Deste modo, a principal fonte de coliformes fecais para as águas do reservatório é do despejo de esgoto, principalmente doméstico, sem tratamento prévio.

A Figura 13 (a e b), apresenta o gráfico Box Plot e o Histograma das séries temporais de coliformes termotolerantes ao longo de todas as campanhas. Ressaltam-se os altos valores médios para essa variável, além de bem aproximados, nos dois períodos, onde no período seco foi de 28200 NMP.100mL⁻¹ e no chuvoso 2475 NMP.100mL⁻¹.

Figura 13 - Gráfico de box-plot e histograma de variações dos coliformes termotolerantes.



Comumente as maiores concentrações de coliformes termotolerantes em função da sazonalidade estão descritas na literatura. Andrietti *et al.*, (2016), encontraram 33,0 NMP.100mL⁻¹ (chuvoso) e 9,0, NMP.100mL⁻¹ (seco) no rio Caiabi, MT, neste caso, especificamente, os autores atribuíram a influência da chuva no para o aumento no valor encontrado.

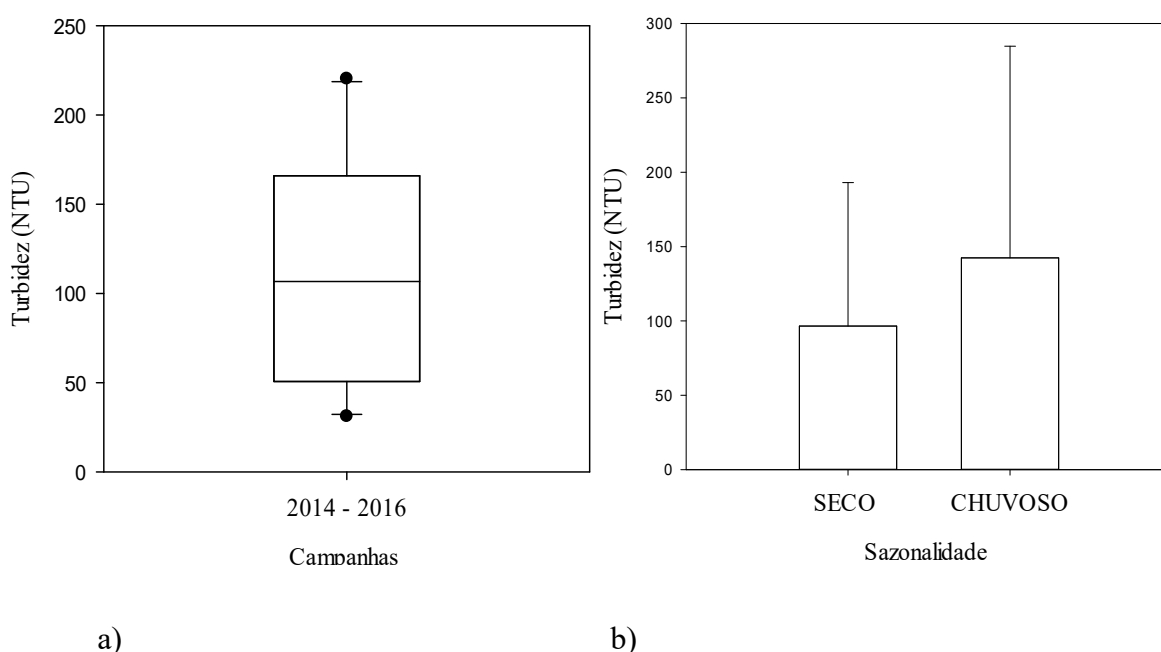
No reservatório de Barra Bonita - SP, Buzelli e Cunha-Santino (2013), encontraram a média de coliformes totais no período de estiagem (46000 UFC.100mL⁻¹) e no período de chuvas (56000 UFC.100mL⁻¹).

Nos dois estudos o a concentração de CT foi maior no período chuvoso do que no seco, diferentemente do Açude Público, onde possivelmente este comportamento pode ser resultado de poluição pontual. Para Lima *et. al* (2016), as águas residuárias, oriundas dos efluentes domésticos e as descargas industriais, representam a maior fonte artificial de poluição pontual de corpos hídricos.

5.3.8 Turbidez

O valor médio dessa variável no Reservatório em estudo foi de 107,349 UNT (período seco), 142 NTU (período chuvoso), Tabela 11. É visto na Figura 14, em relação a sazonalidade que os maiores valores foram encontrados no período chuvoso.

Figura 14 - Gráfico de box-plot e histograma das variações de turbidez.



Segundo Cetesb (2014), o aumento da turbidez ocorre em estações chuvosas devido à movimentação do sedimento em locais rasos como a zona litorânea, erosão das margens por falta de vegetação ripária, folhagens e galhos de árvores que são levados para dentro do corpo hídrico por ação dos ventos e da correnteza, outros fatores são de origem antrópicas, como desmatamento, despejos de esgotos sanitários, efluentes industriais, dentre outros.

Os limites da Resolução CONAMA 357/2005, para Classes 1 e 2 é de 100 UNT, portanto, o reservatório deste estudo não se encontra dentro dos padrões estabelecidos, sendo caracterizado como Classe 4.

Silva (2014), em estudo sobre a qualidade de águas superficiais nos rios Anil e Bacanga, São Luís (MA), relatou que a razão dos baixos níveis de OD nas águas do ponto pode ser explicada pelo aporte de esgoto *in natura*, explicando o acréscimo de turbidez e condutividade em suas águas.

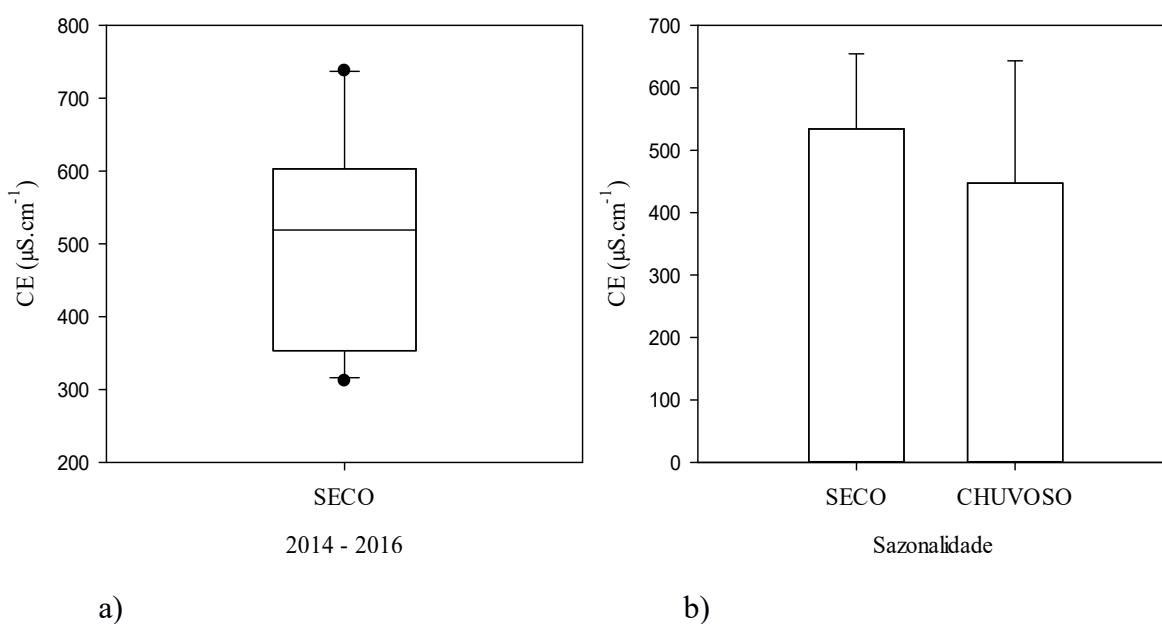
No açude do Buri, em Sergipe, a turbidez variou na época seca de 1,80 NTU e no período chuvoso de 10,71 NTU, classificando o reservatório, de acordo com a Resolução do CONAMA 357/05, Classe 1 (BARRETO, 2010). Valor relativamente baixo se comparado com o reservatório em estudo.

5.3.9 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é uma medida da capacidade da água de conduzir corrente elétrica. É sensível às variações nos sólidos dissolvidos, principalmente sais minerais. A condutividade da maioria das águas doces varia de 10 a $1.000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, mas pode exceder $1.000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, especialmente em águas poluídas, ou aqueles que recebem grandes quantidades de terra, Chapman (1996).

Verifica-se na Tabela 11 e na Figura 15, que o máximo valor mensurado para a condutividade foi no período chuvoso, valor máximo igual a $737,67 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, assim, reforça-se a ideia de que este reservatório recebe quantidades significativas de efluentes sanitários e que esta fonte de poluição é atenuada durante o período chuvoso.

Figura 15 - Gráfico de box-plot e histograma de variações da condutividade elétrica.



Para essa variável, a média encontrada no período seco foi de $534,15 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ e no período chuvoso o valor foi de $447,49 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. A Resolução CONAMA 357/2005 não

determina valor específico para este parâmetro, porém, conforme a CETESB (2014), valores acima de $100,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$ indicam a possibilidade de entrada de esgoto no ambiente.

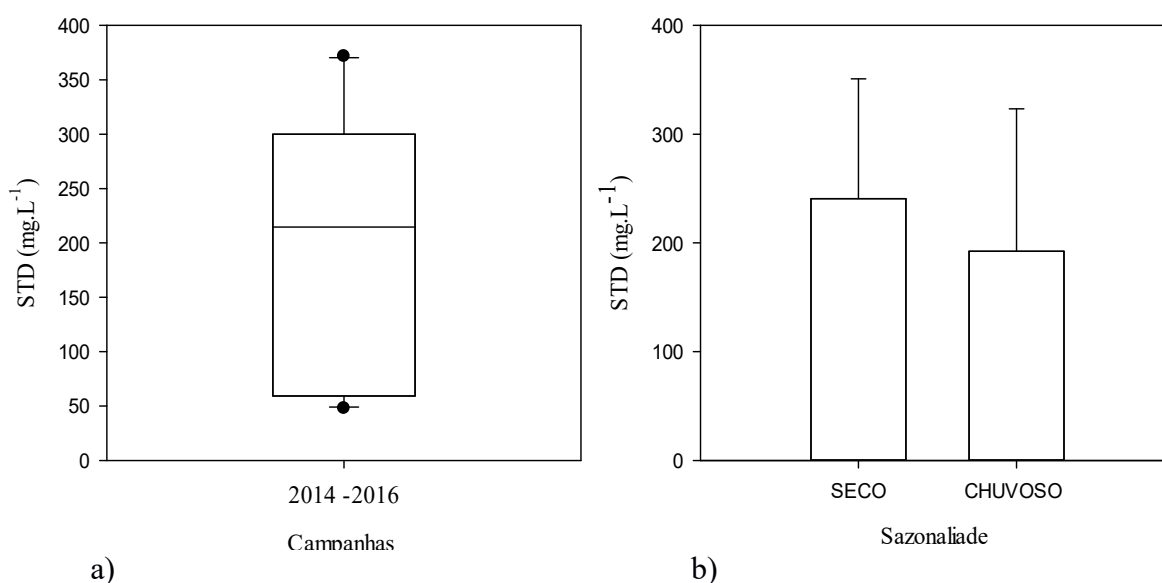
Em um estudo feito na zona semiárida do Mediterrâneo no Rio Oued Fez e Rio Sebou – Marrocos, caracterizando pela poluição acentuada, apresentou condutividade elétrica da água alta, permanecendo relativamente estável, apesar do aumento ou diminuição de descarga de poluentes, nitrogênio e fósforo. Com valores iguais a $800 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $1060 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (PERRIN et al, 2014).

5.3.10 Sólidos Totais Dissolvidos

As concentrações médias dos sólidos totais dissolvidos nas amostras de água do reservatório em todo período de amostragem foi $201,99 \text{ mg.L}^{-1}$, valor próximo das médias do período de seco, $208,49 \text{ mg.L}^{-1}$ e do chuvoso, $192,24 \text{ mg.L}^{-1}$, (Tabela 11) . No entanto, foi encontrado um pico no período seco de $371,67 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 16.b).

A Resolução CONAMA 357/2005 limita a concentração de sólidos totais em 500 mg.L^{-1} , para enquadramento do corpo hídrico nas Classes 1, 2 e 3, valores acima do estabelecido pela legislação deverão ser enquadrados na Classe 4. Assim sendo, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 pode-se atribuir Classe 2 para esta variável no Reservatório de Nossa Senhora das Dores.

Figura 16 - Gráfico de box-plot e histograma das variações dos sólidos totais dissolvidos.



Este acentuado valor de sólidos totais dissolvidos e da condutividade elétrica pode ser explicado pela localização do Reservatório de Nossa Senhora das Dores, que, ainda segundo Chapman (1996), reservatórios situados em zonas áridas e semiáridas onde a água superficial é naturalmente escassa, o problema da salinização pode ser grave. A irrigação destas áreas pode levar à lixiviação de sais dos solos, e seu transporte em retorno flui para os reservatórios. Agravado pelas chuvas altamente sazonais dessas áreas, aumentando a concentração de sais nas massas de água durante a estação seca.

Ogwueleka (2015), através do uso de técnicas estatísticas multivariadas para a avaliação das variações temporais e espaciais na qualidade da água do Rio Kaduna, na Nigéria. Encontrou valores de STD elevados na estação seca ($35,98 - 49,58 \text{ mg.L}^{-1}$) e valores baixos na estação chuvosa ($32,2 - 39,5 \text{ mg.L}^{-1}$).

No reservatório Poção da Ribeira, SE, Santos (2016), observou um grande aumento nos perfis de condutividade elétrica e sólidos totais, nas camadas mais profundas durante o período chuvoso do ano de 2015, o autor justificou que o aumento da densidade das águas desse manancial é devido a concentração de sais durante os períodos de estiagem (por meio do processo de evaporação).

Pode-se atribuir ao reservatório em estudo, por demonstrar similaridade regional nos trabalhos citados, que possivelmente a maior concentração de sólidos totais dissolvidos é influenciada pelas características geológicas.

5.4 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Esta ferramenta estatística é utilizada para avaliar a correlação entre as variáveis através do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, onde ρ é o coeficiente de correlação para a população normal bivariada, e varia no intervalo $(-1,1)$, Schultz e Schultz (1992).

Buscando, então, identificar a relação entre os parâmetros estudados e entender o seu comportamento, foi elaborada a matriz de correlação disposta na Tabela 12. De acordo com Timm (2002), o coeficiente positivo ou negativo significa que as variáveis são estatisticamente dependentes, ou seja, crescem ou decrescem linearmente. Vale salientar que, quando $\rho = 0$ (coeficiente de correlação é igual a zero) a correlação linear é independente.

Assim, observa-se nos valores da Tabela 11, correlação positiva e negativa, dentre os parâmetros analisados, eles são CE, STD, Clo-a, NO_3^- , P, Turb, pH, OD, e T.

Entretanto, para a variável CT, correspondentes a Coliformes Termotolerantes, não expressou nenhuma correlação significativa com outras variáveis.

Tabela 12- Matriz de correlação das variáveis físico-químicas e biológicas significativas.

Variável	CE	Clo <i>a</i>	CT	N	NO ₃ ⁻	OD	P	pH	STD	T	Turb
CE	1										
Clo <i>a</i>	-0,099	1									
CT	0,049	-0,164	1								
N	0,257	-0,223	-0,082	1							
NO₃⁻	0,297	-0,658	-0,199	0,168	1						
OD	0,024	-0,449	0,121	0,317	-0,149	1					
P	0,410	0,628	-0,396	0,163	0,000	-0,651	1				
pH	-0,066	-0,351	-0,302	-0,314	0,172	0,518	-0,051	1			
STD	0,814	0,358	0,174	0,194	0,030	-0,328	0,712	-0,422	1		
T	0,319	0,243	-0,321	-0,333	0,120	-0,636	0,527	-0,208	0,310	1	
Turb	0,224	-0,043	0,199	0,004	0,285	-0,033	-0,067	0,060	0,185	-0,318	1

CE (μS.cm⁻¹) – condutividade elétrica; Clor-*a* (μg.L⁻¹) – clorofila *a*; CT (NMP. 100mL⁻¹) – coliformes termotolerantes; N (mg.L⁻¹) – nitrogênio total; NO₃⁻ (mg.L⁻¹) – nitrato; OD (mg.L⁻¹) – oxigênio dissolvido; P (mg.L⁻¹) – fósforo total; T (°C) – temperatura; STD (mg.L⁻¹) – sólidos totais dissolvidos; Turb (UNT) – turbidez

Em relação a correlação positiva entre as variáveis, existe correlação significativa entre os parâmetros CE, STD, P, Cl a, pH, OD e T.

Vê-se que a CE teve uma forte correlação com STD ($r = 0,814$), além disso, o STD se correlacionou com o P ($r = 0,712$). Segundo Libânio (2010), a condutividade elétrica é diretamente proporcional às soluções iônicas, onde estão presentes em soluções os compostos inorgânicos como Na^+ , Ca^{+2} , Fe^{+3} , Mg^{+2} , Cl^- e K^+ , sólidos totais dissolvidos. Menezes *et al.* (2014), encontrou correlação positiva entre STD, Na^+ , Ca^{+2} e pH, nas águas subterrâneas do sul do estado do Espírito Santo, onde o Na^+ foi o cátion com maior influência ($r = 0,61$), (Tabela 12).

O fósforo pode ser proveniente de fontes naturais (presente na composição de rochas) e artificiais como esgotos domésticos e industriais, fertilizantes agrícolas e material particulado de origem industrial contido na atmosfera (WETZEL, 2000). Assim, o aporte de efluentes domésticos pode ser o principal fator de elevação nas concentrações encontradas de STD. Porém, o estudo de cátions e ânions é necessário para melhores conclusões.

Também é possível observar que a variável P (fósforo), correlacionou-se positivamente com as variáveis T (temperatura), ($r = 0,569$) e com a Clor-a (Clorofila *a*), $r = 0,627$. Segundo a literatura, em análises sobre eutrofização deste estudo, o fósforo, em alguns casos é o fator limitante para o enriquecimento de nutrientes de lagos e reservatórios. Em relação com a correlação com a variável T (temperatura) é aceitável essa relação, visto que, segundo Buzelli e Santino (2013), a elevação da temperatura também tem como consequência a intensificação da taxa de decomposição da matéria orgânica.

Outra correlação positiva ocorreu entre variável OD (oxigênio dissolvido) com o pH, $r = 0,518$. No estudo realizado por Jardim (2011), o oxigênio dissolvido apresentou maior variação no agrupamento das estações de monitoramento com presença de florações de cianobactérias. Para Breda (2011) *apud* Calijuri et al, (1999), afirmam que valores mais elevados de pH podem estar relacionados à ocorrência de altas densidades de algas, através do processo de fotossíntese, onde ocorre a absorção de gás carbônico dissolvido na água, aumentando, assim o pH. Contudo, estudos sobre as concentrações de cianobactérias é necessário para maiores afirmações sobre essa correlação.

Dentre as variáveis que correlacionaram-se negativamente, para as formas nitrogenadas, apenas o NO_3^- (Nitrato) obteve correlação com a variável Clor *a* (Clorofila *a*), com $r = -0,658$ e a variável P com a OD, $r = -0,651$, ou seja, a correlação é independente.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base na análise deste estudo, pode-se compor as seguintes conclusões.

O resultado do Índice de Qualidade de Água de Reservatório Modificado - IQAR-M, demonstrou uma forte ação antrópica no Reservatório de Nossa Senhora das Dores, visto que, a qualidade da água foi descrita como criticamente degradada a poluída - Classe IV, tanto para o período seco quanto para o período chuvoso. Os parâmetros que mais contribuíram para este resultado foram o Nitrogênio Total (21%) e a Clorofila *a* (22%).

Através da estatística descritiva, os parâmetros de qualidade da água foram analisados e comparados com a legislação. Neste aspecto, denota-se que a maioria deles não estão em conformidade, ultrapassando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, obtendo-se, assim, uma classificação inferior para qualidade de corpos hídricos, Classe 4 (corpos hídricos são destinados à navegação e à harmonia paisagística). Citando-se, a Turbidez, Clorofila *a* e Fósforo total. Os Coliformes Termotolerantes foram caracterizados pela balneabilidade como impróprio para o uso.

O Nitrogênio total não possui especificação de valores máximos estabelecidos na legislação federal, contudo as concentrações deste parâmetro mantiveram-se relativamente altas, principalmente no período chuvoso e com elevadas variações durante do o período de campanhas.

Ainda, segundo ao padrão de conformidade com a legislação, os parâmetros que obtiveram melhores limites, pertencentes a Classe 2, foram o pH, Amônia, Nitrato, Sólidos Totais Dissolvidos. Já o oxigênio dissolvido possui Classe 3.

Em relação a Matriz de Correlação Pearson, os parâmetros que apresentaram significância foram STD, CE, STD, P, Clo-*a* e T. Pode-se atribuir a esses parâmetros a contribuição no processo de degradação do reservatório, Açude Público, com forte indícios de eutrofização, tanto por fontes naturais quanto poluição por carga orgânica.

O monitoramento da qualidade da água em tempo e espaço, possibilita a implementação de ferramentas de gestão para a conservação deste manancial, priorizando a vida aquática e a saúde da população do seu entorno. Em posse dessas informações é possível a elaborar um plano de monitoramento para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos para melhoria da qualidade da água do Reservatório de Nossa Senhora das Dores, tendo em vista que a situação ambiental do mesmo se encontra em estado degradação.

Para futuros trabalhos, recomenda-se estudos estatísticos mais refinados, com pesquisas estatísticas mais abrangentes com o intuito de construir um indicador de qualidade

da água específico para este corpo hídrico, em virtude das limitações enfrentadas na obtenção dos parâmetros que compõem o IQAR proposto pelo IAP.

Para avaliação dos níveis elevados de Sólidos totais dissolvidos e Condutividade elétrica, se faz necessário uma análise dos íons e cátions presentes no reservatório para posteriores conclusões a respeito do alto valor de concentrações desses parâmetros.

REFERÊNCIAS

ABBASI, T. et al. **Water quality indices**. Elsevier: [s.l.], 2012. 384p.

AGUIAR NETTO, A. O. et al. Physical and chemical characteristics of water from the hydrographic basin of the Poxim River, Sergipe State, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 185, n. 5, p. 4417-4426, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23054262>> Acesso em: 22.11.2016.

ALVES, I. C . C; EL-ROBRINI, M; SANTOS, M.L.S; MONTEIRO, S.M; BARBOSA, L.P.F; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta amazônica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 115-124, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>> Acesso em: 14.01.2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. – Brasília: ANA, SPR, 2014.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR. **Encarte especial sobre a crise hídrica: conjuntura dos recursos hídricos no brasil**. Brasília - DF, 2015.

ANDRIETTI, G. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Rev. Ambient. Água**. vol. 11 n. 1 Taubaté – Jan. / Mar. 2016. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v11n1/1980-993X-ambiagua-11-01-00162.pdf>>. Acesso em 13.03.2017.

EATON, Andrew D; RICE, Eugene W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. United Book Press. Inc.: USA, 2012.

BAIRD, C. **Química ambiental 2**. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BARBOSA, I. B. R; CIRILO, J. A. Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água – Parte 1. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 39-46, 2015. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n1/1413-4152-esa-20-01-00039.pdf>> Acesso em: 23.10.2016.

BARRETO, P. R.; GARCIA, C. A. B. Caracterização da qualidade da água do açude Buri-Frei Paulo/SE. **Scientia plena**, Aracaju, v. 6, n. 9, 2010. Disponível em <<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/79>>. Acesso em 15.10.2016.

BRAGA, B. et. al. **Introdução à engenharia ambiental**. São. Paulo : Prentice Hall - 2ª edição. 2005.

BRASIL. Lei n. 6938 de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm> Acesso em 02.05.2016.

BRASIL (2014). Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 112 p.

BRASIL. Lei n. 9433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm> Acesso em: 02.05.2016.

BRASIL (2016). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p. : il.

BRASIL (2005). Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. Unidade de Gerenciamento do Proágua/Semi-árido. Diretrizes ambientais para projeto e construção de barragens e operação de reservatórios – Brasília : Bárbara Bela Editora Gráfica e Papelaria Ltda., 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de Março de 2005 – In: Resoluções, 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 14.11. 2015.

BREDA, L. S. **Avaliação espaço - temporal da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de funil – região sul de Minas Gerais.** (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

BOMFIM, L. F. C. **Projeto cadastro da infra-estrutura hídrica do nordeste: estado de Sergipe: diagnóstico do município de Nossa Senhora das Dores.** Aracaju: CPRM, 2002.

BUZELLI, G. M.; SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista ambiente & água: an interdisciplinary journal of applied Science**, Taubaté/SP, v. 8, n.1, p. 1-20, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>> Acesso em: 18.11.2016.

CAMARGO, A.P; CAMARGO, M.B.P. Uma Revisão Analítica da Evapotranspiração Potencial. **Revista Bragantia**, Campinas, 125-137, 2000. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052000000200002> Acesso em 12.12.2015.

CARDOSO, E. T. S. **Avaliação do grau de trofia e da qualidade da água de um braço do reservatório de Itaipu-Brasil.** Dissertação (Mestrado em Energia) - Centro de Engenharias, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, 2011.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014. Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103).

CHAPMAN, D. **Water quality assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environment monitoring**. 2. ed. London and New Iorq: E & FN SPON editora, 1996.

CHIN, D. A. **Water-quality engineering in natural systems: fate and transport processes in the water environment**. New Jersey: WILEY, 2013. 471p.

CRUZ, H. C.; FABRIZY, N. L. P. Impactos ambientais de reservatórios e perspectivas de uso múltiplo. **Revista brasileira de energia**, v. 4, n. 1, 1995. Disponível em: <<http://new.sbpe.org.br/>> Acesso em: 10.03 2016.

CRUZ, M. A. S. da et al. **Caracterização hidrológica e geomorfológica da bacia do rio Japarutuba em Sergipe: Informações preliminares**. (Relatório Técnico). Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 19 p.

CUNHA, D. G. F. et al. Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005–2009). **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 159-168, 2013. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a08v18n2.pdf>>. Acesso em 22.12.2016.

DALL'AGNOL, C. D.P. **Avaliação da qualidade de recursos hídricos em reservatórios de abastecimento: estudo de caso da barragem do Rio São Bento**. 2015. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Curso de Engenharia Ambiental. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC. Criciúma – SC, 2015.

DENYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE; Banco Mundial, 2016. 292 p.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Signus Editora, 2000. 34p.

EMDAGRO. Pesquisa Diária de Dados Pluviométricos. Esloc de Nossa Senhora das Dores:Emdagro, (2017).

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FERREIRA, D. M.; CUNHA, C. Simulação numérica do comportamento térmico do reservatório do Rio Verde. **Revista engenharia sanitária e ambiental**, v. 18, n. 1, jan./mar. 2013. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n1/a10v18n1>> Acesso em: 18.11.2016.

JARDIM, B.F.M. **Variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da bacia do rio das velhas-Mg e sua associação com as florações de cianobactérias**.

Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

GARCIA, H. L; SILVA, V.L; MARQUES, L. P; GARCIA, C. A. B; ALVES, J. P. H; SILVA, M. G; CARVALHO, F. O Nível trófico do reservatório de Jacarecica I – Sergipe – Brasil. **Scientia Plena**. Aracaju, v. 8, n. 7, 2012. se foi online, com Disponível em: <<http://www.scienciaplenua.org.br/sp/article/view/1025/559>> Acesso em: 05.10. 2016.

GONÇALVES, A. A. **Avaliação da qualidade das águas na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Siriri/SE**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

GUEDES, H. A. S. et al. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande/PB, v. 16, n. 5, p. 558–563, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>> Acesso em: 15. 01. 2017.

GUEDES, J. A. **Reservatório tabatinga (Macaíba/RN): qualidade ambiental, conflitos e usos**. (TESE) (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

IAP - PARANÁ. Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento da qualidade da água dos reservatórios**. Curitiba:, 2014.

IMGA - MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Avaliação da qualidade das águas da Bacia da Lagoa da Pampulha: relatório, Belo Horizonte, 2013.

KHALIL, B. et al. A statistical approach for the rationalization of water quality indicators in surface water quality monitoring networks. **Journal of hydrology**, v. 386, n. 1–4, p. 173-185, 2010. Disponível em: <<http://www.science.direct.com/>> Acesso em: 18.01.2017.

LEMOS, M. de; FERREIRA NETO. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande/PB, v.14, n.2, p.155–164, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>> Acesso em: 19.12.2016.

LIMA, R.N.S; RIBEIRO, C.B.M; BARBOSA, C.C.F; ROTUNNO FILHO, O.C. (2016) Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Eng Sanit Ambient**. v.21 n.1, 139-150. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n1/1413-4152-esa-21-01-00139.pdf>>. Acesso em 18.03.2017.

MACHADO, C. A. **Monitoramento e modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Siriri Vivo**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de

Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

MELO, A.P.S; GARCIA, H.L; MENDONÇA, M.C.S; BARRETO, V.L.; GARCIA, C.A.B. Qualidade da água dos reservatórios Algodoeiro e Glória através do Índice de Qualidade de Água de Reservatório. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão. Brasília - DF, 2015.

MELLO, F. M. de et al(Coords.). **A história das barragens no Brasil, séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. [coordenador, supervisor, Flavio Miguez de Mello; editor, Corrado Piasentin]. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p.

MENEZES, J.P.C; BERTOSSI, A.P.A; SANTOS, A.R; NEVES, M.A. Correlação entre uso da Terra e Qualidade da Água Subterrânea. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19 n.2, 2014. 173-186. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v19n2/1413-4152-esa-19-02-00173.pdf> >. Acesso em 15.12.2016.

MESQUITA, T.P.N. **Eutrofização e capacidade de carga de fósforo em seis reservatórios da bacia do rio Seridó, região semiárida do estado do Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática) - Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

OGWUELEKA, T. C. Use of multivariate statistical techniques for the evaluation of temporal and spatial variations in water quality of the Kaduna River, Nigeria. **Environ Monit Assess** (2015) 187 - 137. DOI 10.1007/s10661-015-4354-4. Disponível em < <https://rd.springer.com/article/10.1007/s10661-015-4354-4> > Acesso em 12.02.2017.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA-SILVA, E. F. L; PIRES, J. S. R. HARD, E; SANTOS, J. E; FERREIRA, W. A. Avaliação da qualidade da água em microbacias hidrográficas de uma Unidade de Conservação do Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 371-381, jul./set. 2011. Disponível em < <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1758> >. Acesso em 14.11.2016.

PERRIN, J.P; RAIS, N; CHAHINIAN, N; MOULIN, P; IJJAALI, M. **Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou River (Morocco)**. Elsevier B.V - Journal of Hydrology, 2014. P. 26–34. Disponível em < <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1758> >. Acesso em 12.01.2017.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físicoquímicos**. São Paulo: ABES. 2005.

SANTOS, C.E.O. **Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira: uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e nos processos geoquímicos de salinização**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

SANTOS, F., C. et al. Transparência associada à reflectância da água do reservatório **Passo Real**. In: xvii simpósio brasileiro de sensoriamento remoto - sbsr, **Anais...** João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015. P 1-7.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe. **Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Superficiais e Subterrâneas, Considerando a Qualidade e Quantidade de Água (RE-6)**. Sergipe, 2010. 69 p.

SERGIPE. ITPS - Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia. Disponível em: http://www.itps.se.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=88:quimica-de-agua&catid=18:laboratorios&Itemid=1024. Acesso em: 19.11. 2016.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia - SEPLANTEC. Superintendência de Estudos e Pesquisas - SUPES. Informes Municipais. Aracaju: SEPLANTEC/SUPES, 2000. 75 p.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de recursos hídricos - SRH. **Atlas digital sobre recursos hídricos de Sergipe**, 2014.

SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E. **História da psicologia moderna**. 16. ed. São Paulo: Cultrix, 1992. 439 p.

SILVA, G. S. et al. Avaliação integrada da qualidade de águas superficiais: grau de trofia e proteção da vida aquática nos rios Anil e Bacanga, São Luís (MA). **Eng. Sanit. Ambient.** v.19 n.3, jul/set 2014, 245-251. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v19n3/1413-4152-esa-19-03-00245.pdf>>. Acesso em 12.03.2017.

SIQUEIRA, G.W; APRILE, F; MIGUÉIS, A.M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil). **Revista Acta Amazonica** vol. 42 (3) . 2012, pag. 413 - 422. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672012000300014>. Acesso em 12.02.2017.

SOPPER, W.E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersh Eds. **Journal of Environmental Quality**, 4(1): 24-29, 1975. Disponível em < <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/4/1/JEQ0040010024?access=0&view=pdf>>. Acesso 13.12.2016.

TIMM, N.H. **Applied multivariate analysis**. New York: Springer. (2002).

TOLEDO, L. G. de; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002. P 1-6. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162002000100026&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em 16.10.2016.

TUCCI, C. E. M; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M.; DUCAN, A. **State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management. Comparative reservoir limnology and water quality management**. České Budějovice, p. 213-288, 1993.

USEPA– ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES. (1986) Ambient Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen – EPA 440586003, Washington, DC.

VALENTE, J. P.S; PADILHA, P. M; SILVA, A.M.M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclet. Quím.**, São Paulo , v. 22, p. 49-66, 1997 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46701997000100005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 05.04. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>.

VASCONCELOS, F. M; TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Avaliação da qualidade da água: base tecnológica para a gestão ambiental**. Belo Horizonte, MG: SMEA, 2009.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. orientador Adriano Mendonça Souza. - Santa Maria : UFSM, CCNE, 215 p. : il. 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1, 3a . edição, DESA, Ed. UFMG. 2005.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological analyses**. New York: Springer, 2000.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume1: Recommendations. 2. ed. Capítulo 2: Microbiological aspects. Disponível em http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol1b.pdf?ua=1. Acesso em 06.03.2015.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). **Revista engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v.21 n.2, p. 415-424, 2016. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n2/1809-4457-esa-21-02-00415.pdf>>. Acesso em 13.12.2016.

XIAOLIANG, j; RANDY, A. D. ; ZHANG, M. Comparison of seven water quality assessment methods for the characterization and management of highly impaired river systems. **Environ Monit Assess** (2016) 188:15 DOI 10.1007/s10661-015-5016-2.

ZUIN, G. V.; LORIATTI, S. C. M. MATHEUS, E. C. O emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: uma proposta para educação química e ambiental na perspectiva no CTSA. **Química e Sociedade**. Vol. 31, 2009. Disponível em < http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_1/02-QS-5507.pdf>. Acesso em 14.09.2015.