



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

BRENDA DE ASSIS FERREIRA CARVALHO

**ESTUDO DA DINÂMICA DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS
INTERLIGADOS: O CASO DOS AÇUDES AYRES DE SOUSA E TAQUARA NO
CEARÁ**

FORTALEZA

2021

BRENDA DE ASSIS FERREIRA CARVALHO

ESTUDO DA DINÂMICA DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS INTERLIGADOS: O
CASO DOS AÇUDES AYRES DE SOUSA E TAQUARA NO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Waleska Martins Eloi.

Coorientadora: Profa. Dra. Deborah Mithya Barros Alexandre.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C331e Carvalho, Brenda de Assis Ferreira.
 Estudo da dinâmica da água em reservatórios interligados: o caso dos açudes Ayres de Sousa e
 Taquara no Ceará / Brenda de Assis Ferreira Carvalho. - 2021.
 80 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental,
Campus Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Waleska Martins Eloi.

Coorientação: Profa. Dra. Deborah Mithya Barros Alexandre.

1. monitoramento; qualidade da água; reservatório; semiárido. I. Título.

CDD 628



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081, - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

AVALIAÇÃO

Processo: 23256.009315/2021-59

Interessado: Waleska Martins Eloi

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRENDA DE ASSIS FERREIRA CARVALHO

ESTUDO DA DINÂMICA DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS INTERLIGADOS: O CASO DOS AÇUDES AYRES DE SOUSA E TAQUARA NO CEARÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 29/10/2021



Documento assinado eletronicamente por **Waleska Martins Eloi, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 29/10/2021, às 19:09, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Deborah Mithya Barros Alexandre, Usuário Externo**,

https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=3591292&infra_siste... 1/2

08/11/2021 16:10

SEI/IFCE - 3092024 - Avaliação



em 03/11/2021, às 09:13, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Helba Araujo de Queiroz Palacio, Usuário Externo**, em 04/11/2021, às 10:20, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Teresa Raquel Lima Farias, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 07/11/2021, às 16:53, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **3092024** e o código CRC **9FBB8EDB**.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha fonte de força e esperança nos momentos de dificuldade.

A meus pais, Celeste e Roberto, pelo incentivo, compreensão e amor incondicional durante todo este período de estudos. Além do grande esforço que vêm fazendo desde o meu nascimento para que eu consiga um futuro melhor.

Ao meu esposo Daniel, por ser minha fortaleza nos momentos de dificuldade, pelo estímulo, carinho, compreensão e amor, que foram fundamentais para a obtenção deste título.

A professora Waleska Martins Eloi, pela orientação, confiança, compreensão, apoio e por todas as oportunidades de aprendizado que certamente foram fundamentais para meu crescimento profissional e pessoal.

A minha coorientadora, Deborah Mithya Barros Alexandre, a quem sou grata pelas suas orientações, sugestões e ideias durante a construção deste trabalho.

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) pela disponibilização dos dados.

Aos professores do programa de pós-graduação, pelos ensinamentos e por todo conhecimento transmitido durante o curso de Mestrado.

A todos os professores do Departamento da Construção Civil do IFCE, pelos conhecimentos transmitidos, que foram fundamentais para a minha formação.

A professora Helba Araújo e ao Júnior, pela disponibilidade e pelos conhecimentos repassados que foram muito importantes para a conclusão de mais essa etapa de minha vida.

Ao Erich Pereira, pelos ensinamentos e incentivos durante a construção deste trabalho.

Aos amigos e colegas de estudo, em especial aos que me acompanharam durante o mestrado, que vivenciaram comigo os desafios e me ajudaram a vencê-los.

Enfim, a todos os que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

RESUMO

A água é um recurso indispensável para a manutenção da vida terrestre, entretanto este recurso vem sendo tratado de maneira inadequada, comprometendo a qualidade e os diversos usos dos corpos hídricos. Diante deste cenário, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica da água dos reservatórios interligados Ayres de Sousa e Taquara, buscando identificar as variáveis que possam estar interferindo no estado natural destes corpos d'água. Os dados utilizados para análise pertencem ao banco de dados de monitoramento de qualidade da água da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. Foi avaliado o período de 2016 a 2020, com dados representativos dos períodos chuvosos (primeiro semestre) e de estiagem (segundo semestre). Os parâmetros analisados para a caracterização da água dos açudes foram: pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica da água (CE), transparência da água, clorofila a, nitrogênio total, fósforo total, alcalinidade por bicarbonatos, cálcio, cloretos, cor, ferro, magnésio, potássio, sódio, sólidos totais, turbidez, cianobactérias e *Escherichia coli*. Para avaliar a qualidade dos corpos hídricos, aplicou-se análises descritivas juntamente na construção de gráficos *box-plot* nos períodos sazonais, e comparou-se as concentrações das variáveis analisadas com os valores máximos permitidos (VMPs) da Resolução CONAMA nº 357/2005. Foi aplicada Análise Multivariada com a finalidade de identificar os fatores determinantes na qualidade das águas e realizar estudo comparativo entre os reservatórios nos períodos sazonais. As concentrações obtidas, em sua maioria, estão dentro dos limites permitidos pela Resolução nº 357/05 do CONAMA. Porém, os parâmetros fósforo total, ferro, nitrogênio total, turbidez, oxigênio dissolvido, *Escherichia coli*, clorofila a e cianobactérias não atenderam à legislação. O emprego da Análise de Componentes Principiais (ACP) no Ayres de Sousa proporcionou a redução das 19 variáveis, para quatro componentes, que explicaram 85,56% da variância total; no açude Taquara, teve a redução de 19 variáveis para cinco componentes, que explicaram 79,57% da variância total, sendo a primeira componente de ambos associada ao processo da mineralização das águas, e as demais foram relacionadas ao aporte de matéria orgânica. Com a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) formou-se quatro grupos heterogêneos conforme a composição física, química e biológica das águas, nos grupos 1 e 2 os reservatórios mostram semelhanças entre suas águas, já para os grupos 3 e 4 as águas dos reservatórios foram dissimilares. Conclui-se, que as águas do Taquara que desaguam no Ayres de Sousa não causam impacto negativo na qualidade da água do Ayres de Sousa, pois as águas do Taquara apresentam uma melhor qualidade.

Palavras-chave: monitoramento; qualidade da água; reservatório; semiárido.

ABSTRACT

Water is an indispensable resource for the maintenance of terrestrial life, however this resource has been inadequately treated, compromising the quality and various uses of water bodies. Given this scenario, the objective of this research was to evaluate the dynamics of water in the interconnected reservoirs of Ayres de Sousa and Taquara, seeking to identify the variables that may be interfering with the natural state of these water bodies. The data used for analysis belong to the water quality monitoring database of the Water Resources Management Company – COGERH. The period from 2016 to 2020 was evaluated, with data representative of the rainy (first semester) and dry (second semester) periods. The parameters analyzed for the characterization of the water in the reservoirs were: pH, dissolved oxygen (DO), electrical conductivity of water (EC), water transparency, chlorophyll a, total nitrogen, total phosphorus, alkalinity by bicarbonates, calcium, chlorides, color, iron, magnesium, potassium, sodium, total solids, turbidity, cyanobacteria and E. coli. To assess the quality of water bodies, descriptive analyzes were applied together in the construction of box-plot graphs in seasonal periods, and the concentrations of the analyzed variables were compared with the maximum allowed values (VMPs) of CONAMA Resolution No. 357/2005. Multivariate Analysis was applied in order to identify the determining factors in water quality and carry out a comparative study between the reservoirs in the seasonal periods. The concentrations obtained, for the most part, are within the limits allowed by CONAMA Resolution No. 357/05. However, the parameters total phosphorus, iron, total nitrogen, turbidity, dissolved oxygen, Escherichia coli, chlorophyll and cyanobacteria did not meet the legislation. The use of Principal Component Analysis (PCA) in Ayres de Sousa reduced the 19 variables to four components, which explained 85.56% of the total variance; in the Taquara reservoir, there was a reduction of 19 variables to five components, which explained 79.57% of the total variance, the first component of both being associated with the process of water mineralization, and the others were related to the contribution of organic matter. With the Analysis of Hierarchical Clusters (AAH) four heterogeneous groups were formed according to the physical, chemical and biological composition of the waters, in groups 1 and 2 the reservoirs show similarities between their waters, whereas for groups 3 and 4 the waters of the reservoirs were dissimilar. It is concluded that the waters from the Taquara that flow into the Ayres de Sousa do not cause a negative impact on the quality of the water from the Ayres de Sousa, as the waters from the Taquara have a better quality.

Keywords: monitoring; water quality; reservoir; semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Açudes em estudo na bacia do Acaraú, Ceará, Brasil	22
Figura 2 - Precipitações pluviométricas ocorridas nos postos meteorológicos Ayres de Sousa e Cariré nos anos de 2016 a 2020.....	23
Figura 3 – Representação sazonal da condutividade elétrica nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.....	32
Figura 4 – Representação sazonal dos sólidos totais nos açudes Taquara e Ayres de Sousa....	33
Figura 5 – Representação sazonal da turbidez nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	34
Figura 6– Representação sazonal da cor verdadeira nos açudes Taquara e Ayres de Sousa ...	35
Figura 7 – Representação sazonal da transparência nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	35
Figura 8 – Representação sazonal do pH nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.	39
Figura 9 – Representação sazonal do OD nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.	40
Figura 10 – Representação sazonal do fósforo total nos açudes Taquara e Ayres de Sousa....	41
Figura 11 – Representação sazonal do cálcio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.....	41
Figura 12 – Representação sazonal do nitrogênio total nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	42
Figura 13 – Representação sazonal do ferro nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	43
Figura 14 – Representação sazonal da alcalinidade nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	43
Figura 15 – Representação sazonal do cloreto nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	44
Figura 16 – Representação sazonal do sódio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.....	45
Figura 17 – Representação sazonal do potássio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	45
Figura 18 – Representação sazonal do magnésio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.....	46
Figura 19 – Representação sazonal da clorofila a nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	49
Figura 20 – Representação sazonal das cianobactérias nos açudes Taquara e Ayres de Sousa	50
Figura 21 – Representação sazonal da e. coli nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.....	51
Figura 22 - Dendrograma dos açudes Taquara e Ayres de Sousa agrupados quanto à sazonalidade.....	68
Figura 23 – Representação do volume armazenado no açude Taquara (A) e Ayres de Sousa (B).....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas dos açudes Taquara e Ayres de Sousa.....	24
Tabela 2 - Intervalo de validade do teste KMO, para aplicação do modelo de análise de fator	26
Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis físicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período chuvoso dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020	30
Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis físicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período seco dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020	31
Tabela 5 - Estatística descritiva das variáveis químicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período chuvoso dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020	37
Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis químicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período seco dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020	38
Tabela 7 - Estatística descritiva das variáveis biológicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período chuvoso dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020	47
Tabela 8 - Estatística descritiva das variáveis biológicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período seco dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020	48
Tabela 9 - Testes KMO e de Bartlett aplicados a matriz de dados do açude Taquara	53
Tabela 10 - Testes KMO e de Bartlett aplicado a matriz de dados do açude Ayres de Sousa ..	53
Tabela 11 - Matriz de correlação das variáveis físico-químicas e biológicas do açude Ayres de Sousa.....	55
Tabela 12 – Matriz fatorial do açude Ayres de Sousa.....	57
Tabela 13 – Matriz fatorial rotacionada do açude Ayres de Sousa	58
Tabela 14 - Matriz de correlação das variáveis físico-químicas e biológicas do açude Taquara	62
Tabela 15 – Matriz fatorial do açude Taquara.....	63
Tabela 16 – Matriz fatorial rotacionada do açude Taquara	64
Tabela 17 - Média, desvio padrão, valores máximo e mínimo das variáveis analisadas nas ...	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	Gestão dos Recursos Hídricos	14
3.2	Importância do Monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos	16
3.2.1	Fatores naturais e antrópicos que interferem na qualidade da água	17
3.3	Análise Multivariada	19
3.3.1	Análise de Componentes Principais (ACP)	19
3.3.2	Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH)	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1	Área do estudo	22
4.2	Análise dos dados	24
4.3	Análise estatística	24
4.3.1	Análise Multivariada	25
4.3.1.1	<i>Análise de Componentes Principais (ACP)</i>	<i>25</i>
4.3.1.2	<i>Análise Hierárquica de Agrupamentos (AAH)</i>	<i>27</i>
5.	RESULTADOS.....	29
5.1	Análise sazonal dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos açudes Taquara e Ayres de Sousa	29
5.1.1	Análise Sazonal das Variáveis Físicas nos Açudes	29
5.1.2	Análise Sazonal das Variáveis Químicas nos Açudes.....	37
5.1.3	Análise Sazonal das Variáveis Biológicas nos Açudes: Clorofila “a”; Cianobactérias e <i>E. coli</i>	47
5.2	Análise de Componentes Principais (ACP)	52
5.2.1	Açude Ayres de Sousa (Análise de Componentes Principais - ACP).....	54
5.2.2	Açude Taquara (Análise de Componentes Principais (ACP).....	61
5.3	Análise Hierárquica de Agrupamentos (AAH)	66
6.	CONCLUSÃO	72
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a preocupação do ser humano com os recursos hídricos cresceu, principalmente em função de atividades impróprias e do uso irracional da água, que causam uma série de prejuízos à sociedade. No Brasil, nota-se que a questão hídrica vem se agravando ao longo do tempo, sendo a região semiárida a que apresenta os maiores impactos em relação a crise hídrica, porém hoje a preocupação com a disponibilidade é notável em todas as regiões do país.

Na região semiárida a disponibilidade hídrica se torna mais escassa devido a pouca incidência e má distribuição de precipitações. Para atenuar este cenário, foram historicamente implantados reservatórios para regularização da água durante o período chuvoso, possibilitando o uso posterior durante os períodos de escassez.

Observa-se que as principais bacias hidrográficas do Brasil foram regularizadas pela construção de reservatórios. Na região semiárida, a construção de reservatórios traz grandes benefícios, sendo uma das medidas para se conviver com as consequências negativas da condição ambiental local. A implantação de reservatórios tem como principais objetivos os usos múltiplos, sendo o uso prioritário o abastecimento para o consumo humano, contribuindo com o desenvolvimento de sua área de influência e garantindo a fixação do homem no interior (BRASIL, 2019a).

Ainda de acordo com Brasil (2019b) o conhecimento dos fatores que influenciam a qualidade da água é importante para o gerenciamento e estudos de ambientes aquáticos. Um fator significativo é a influência antrópica, que vem ocasionado alterações e impactos no meio ambiente ao longo do tempo, existindo uma crescente necessidade de se apresentar soluções e estratégias que atenuam e revertam os efeitos da degradação ambiental, bem como do esgotamento dos recursos naturais que se observam cada vez com mais frequência.

A intervenção antrópica no uso e ocupação da bacia hidrográfica tem ocasionado alterações significativas na qualidade do corpo hídrico ao longo do tempo, sendo necessário o monitoramento da qualidade da água para avaliar possíveis alterações. Conforme Sousa, Eloi e Barreto (2021) o monitoramento é uma ferramenta necessária para reconhecer as potencialidades e deficiências da qualidade da água em corpos hídricos.

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos que permite suporte a uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, já que funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas. Podendo também ser definido como

o processo de amostragem, de determinação de parâmetros de interesse e de armazenamento de dados contemplando as características físicas, químicas e biológicas das águas naturais. Entretanto, para se conhecer a qualidade real da água de um corpo hídrico é indispensável não somente a avaliação pontual de suas características, mas também o monitoramento de sua variabilidade sazonal (MAIA, SILVA e LIBANIO, 2019; GUEDES et al., 2012; BERTOSSE et al., 2013).

Diante deste cenário, estudos voltados a corpos hídricos que possuem papel importante para o abastecimento humano, como também atividades de irrigação e piscicultura são fundamentais para a gestão dos recursos hídricos. Destarte, a presente pesquisa tem o intuito de analisar os açudes Ayres de Sousa e Taquara que estão dispostos em série, em que o Açude Taquara complementa a vazão do Ayres de Souza, principal reservatório de abastecimento de Sobral-Ce. Por estarem interligados pelo rio Jaibaras, a qualidade da água do açude Ayres de Sousa pode estar sendo impactada pela vazão recebida do açude Taquara.

Além disso, estes corpos d'água podem estar sofrendo impactos negativos por atividades impróprias como lançamentos inadequados de efluentes e criação de gados próximo as margens dos açudes. Tornando-se necessário ações periódicas de monitoramento e aplicação de técnicas que comparem o estado hídrico de cada açude em estudo.

Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a dinâmica da qualidade da água dos reservatórios Ayres de Sousa e Taquara, bem como identificar as variáveis mais significativas que podem estar comprometendo a qualidade dos corpos hídricos analisados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a dinâmica da qualidade da água dos reservatórios interligados Ayres de Sousa e Taquara, buscando identificar as variáveis que possam estar interferindo na sua alteração.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar parâmetros físicos, químicos e biológicos e avaliar a influência dos períodos sazonais;
- Identificar as possíveis fontes que influenciem as alterações da qualidade da água dos reservatórios: fontes naturais e antrópicas;
- Avaliar o comportamento da água dos dois reservatórios utilizando a análise multivariada.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo se destina a exposição de temas relevantes para a fundamentação teórica deste trabalho.

3.1 Gestão dos Recursos Hídricos

A água é um recurso natural, patrimônio da humanidade, imprescindível à vida no planeta. Possui grandes valores econômicos, social e ambiental, sendo fundamental à sobrevivência do homem e dos ecossistemas na Terra. Por ser um recurso único, a água é essencial a vida de todos os seres vivos, mantendo assim os ciclos biológicos, geológicos e químicos, o equilíbrio dos ecossistemas e o desenvolvimento econômico (BARCELOS, 2017).

Um planejamento integrado de gestão dos recursos hídricos procura atingir um nível de aproveitamento, controle e conservação das águas, tendo como objetivo principal a busca pelo equilíbrio entre a qualidade e a quantidade da água. Dada a diversidade existente de usuários e das partes interessadas, a gestão integrada tornou-se um modelo, cujo grande desafio é atender todas as demandas de maneira otimizada, fixando um planejamento integrado e racional na alocação da água com a finalidade de atender os usos múltiplos de maneira eficaz, com o foco na centralização do planejamento e gerência da oferta (CHARNAY, 2011; ARAÚJO et al, 2015).

O aumento do consumo hídrico associado ao desperdício, tornou-se uma problemática que precisa da atenção de todos, uma vez que esse recurso é utilizado para os mais diversos fins (alimentação, higiene pessoal, limpeza, indústria, agricultura e, geração de energia elétrica), nesse contexto sabe-se que a conservação em termos de qualidade e quantidades das águas depende principalmente das condições naturais e ações antrópicas nas bacias hidrográficas (BARCELOS, 2017).

Segundo a Lei nº9.433/97, sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), entende-se que as unidades territoriais precisam ser avaliadas em qualquer nível de bacias. Além disso, a lei traz a obrigação de resguardar as águas contra os diferentes tipos de poluição e uso impróprio, uma vez que a PNRH deve deliberar modelos e critérios de emprego dos recursos hídricos (BARCELOS, 2017).

O conhecimento sobre a qualidade dos cursos da água de uma bacia é de extrema importância, encontra-se conectado ao uso e ocupação do solo, fatores que estão relacionados com as características das águas, visto que as ações que ocorrem na área de drenagem alteram as condições naturais dos corpos hídricos, e a partir das informações de uso e ocupação da terra

é possível inferir sobre as condições da bacia hidrográfica como um todo (QUEIROZ et al, 2010).

A ocupação desordenada de uma bacia hidrográfica causa danos significativos na quantidade e qualidade das águas dos rios. O desenvolvimento social e econômico, bem como o crescimento demográfico aumentam a demanda por água e provocam alterações de ordem física, química e biológica nos ambientes aquáticos. Algumas dessas mudanças vêm de intervenções diretas, como as barragens, reservatórios e canais, no entanto, a maioria das alterações provém do uso inadequado do solo e da água e das fontes não pontuais e pontuais. (SOUZA et al, 2014).

A entrada de efluentes carregados de matéria orgânica, inorgânica e eventuais compostos químicos causa alterações químicas e ecológicas, que acabam acarretando desequilíbrio nos corpos hídricos, resultando em prejuízo econômico para o local, que vão desde à diminuição de captura na pesca até ao aumento do custo de aquisição e tratamento da água para consumo (CARVALHO; SCHLITTLER; TORNISIELO, 2000).

Águas superficiais, subterrâneas e reservas de água são componentes estratégicos e essenciais do desenvolvimento econômico, social e de sustentabilidade dos processos em âmbitos local, regional e continental. Enfatiza-se que os mananciais de águas superficiais são os mais acessíveis e utilizados para estas necessidades, estando mais susceptíveis às interferências ambientais e antrópicas e, conseqüentemente, são mais facilmente poluídas. (ROGERS, 2006; REBOUÇAS et al, 2006).

As águas superficiais têm suas demandas aumentadas no tempo e no espaço, em razão dos seus usos múltiplos, principalmente em terras secas do semiárido brasileiro, que sofre com escassez periódicas, e com a distribuição das precipitações acarretando os regimes fluviais temporários e intermitentes (NASCIMENTO, 2012).

Nota-se que a intensificação dos processos de urbanização e os baixos índices pluviométricos em regiões semiáridas nas últimas décadas, tem originado impactos sociais e ambientais preocupantes, bem como conflitos pelo uso da água para a irrigação, o uso residencial e industrial em virtude da escassez hídrica também vem sendo afetado, fatos que fortalecem a necessidade de uma melhor gestão e planejamento dos recursos hídricos (RABELO et al, 2021).

Nessa perspectiva, a situação dos recursos hídricos no semiárido implicou na construção de reservatórios e segundo Araújo (2003), o abastecimento hídrico da região semiárida depende em grande parte das águas acumuladas em reservatórios. No estado do Ceará, por exemplo, 93% da água ofertada a população vem dos açudes. Sendo de extrema importância a

conservação da qualidade e quantidade da água acumuladas nos reservatórios, para o desenvolvimento sustentável da região.

Segundo Barretos et al. (2007) os reservatórios que são formados por vários afluentes, o monitoramento se torna indispensável, como também complexo, sendo necessário a análise dos parâmetros de qualidade, em diversos pontos dessa conexão, para se obter o controle e monitoramento da qualidade da água adequado, e identificar as possíveis fontes poluidoras quando ocorrer. Assim, o monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos (TRINDADE et al, 2017).

3.2 Importância do Monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, já que atua como um sensor que torna possível o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, planejando subsidiar as ações de controle ambiental. O controle ambiental é parte do gerenciamento dos recursos hídricos, de forma a impedir que problemas decorrentes da poluição da água venham a comprometer seus usos múltiplos. O gerenciamento apenas é possível quando se dispõe de um conjunto de informações confiáveis adquiridas a partir de observações do que está ocorrendo no meio, e que desta forma devem ser entendidos e planejados os sistemas de monitoramento (GUEDES et al, 2012; REBOUÇAS et al, 2006).

A qualidade da água é um conceito relativo que depende diretamente do uso a que se destina seja este para balneabilidade, consumo humano, irrigação, transporte e manutenção da vida aquática. Para cada um dos usos existe um padrão de qualidade é especificado pela legislação (SOUZA et al, 2014). A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Nesta Resolução são determinados padrões de qualidade das águas que estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe, considerando os seus diferentes usos (BRASIL, 2005). Desta forma, essa resolução serve como suporte indispensável aos programas de gestão dos recursos hídricos.

Além disso, os parâmetros e seus valores máximos permitidos, estabelecidos pelo CONAMA nº 357 são fundamentais para o monitoramento, bem como o controle da qualidade

das águas, para as quais estes servirão como base para analisar as amostras de águas coletadas em ambientes aquáticos (BOLDRIN, 2020).

A qualidade da água pode ser afetada por diversos fatores antrópicos ou naturais, como também da interação entre eles. À vista disso, valores de referência que refletem a qualidade da água devem ser estabelecidos, preferencialmente por meio do monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Portanto, o monitoramento é fundamental para acompanhar a evolução das condições da qualidade da água ao longo do tempo, averiguar as tendências na qualidade do meio aquático, além de poder observar como este meio é afetado pelas atividades antrópicas (PINHEIRO et al, 2014; BARCELOS, 2017).

3.2.1 Fatores naturais e antrópicos que interferem na qualidade da água

A utilização da água pela sociedade visa atender suas necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais. Entretanto, esse uso múltiplo da água, quando realizada de maneira inadequada ocasiona alterações na qualidade da água, comprometendo os recursos hídricos e por consequência seus usos para as diversas finalidades. A qualidade da água é aspecto indispensável, quando se trata dos seus principais usos, em especial, para fins como o abastecimento humano. Este uso tem sofrido restrições significativas em função de prejuízos nos rios provenientes das ações naturais e antrópicas, as quais alteram a sua dinâmica envolvendo os aspectos de qualidade e quantidade de água disponível para o uso humano (SOUZA et al, 2014).

A qualidade da água pode ser alterada de forma natural, por meio da geologia, clima, vegetação, solo da bacia hidrográfica em que o corpo hídrico está inserido, ou pela influência de atividades antrópicas, por meio de atividades relacionadas ao crescimento populacional e industrial, nas margens de rios e tributários, que promovem modificações das condições naturais da água (TUNDISI, 2008). Segundo Von Sperling (2005) a modificação da qualidade da água por fenômenos naturais acontece mesmo que a bacia hidrográfica esteja conservada no seu estado natural, em que a alteração acontece a partir do escoamento superficial e da infiltração no solo, resultante do impacto da precipitação com partículas, substâncias ou impurezas no solo.

Além disso, os ambientes aquáticos têm sido alterados de maneira significativa, em função de múltiplos impactos ambientais advindos do lançamento de grandes quantidades de efluentes sem tratamento, resultantes de atividades humanas. Dentre tais atividades, pode-se citar como as que mais prejudicam a qualidade da água de rios e lagos, as seguintes: atividades

industriais e agrícolas, construção de represas, drenagem de áreas alagadas, mineração, despejo de resíduos sólidos industriais e domésticos (TUNDISI, 2006; FRINHANI; CARVALHO, 2010).

Na poluição dos recursos hídricos, podem ser incluídos diversos processos que alteram a qualidade da água, como contaminações bacteriológica e química, eutrofização e assoreamento, na qual tais contaminações são provenientes principalmente de lançamentos de efluentes domésticos e industriais em rios e lagos. (MORAES; JORDÃO, 2002).

Segundo Figueiredo (2012) os efeitos resultantes da entrada de poluentes no ambiente aquático dependem da natureza do poluente introduzido, do caminho que este poluente percorre no meio e dos usos que se fez do corpo hídrico. Estes poluentes podem entrar no corpo hídrico de maneira pontual ou difusa. As cargas pontuais são inseridas por lançamentos individualizados, como pode-se citar os efluentes domésticos ou industriais. No caso das cargas difusas, os lançamentos não ocorrem em um ponto específico, mas acontecem nas margens dos rios, como por exemplo, de substâncias provenientes dos campos agrícolas (excessos de nutrientes e pesticidas), ou por não advirem de um ponto preciso de geração, como no caso da drenagem urbana (metais tóxicos e substâncias orgânicas oriundos dos bueiros).

Os nutrientes, em especial o nitrogênio e o fósforo, são poluentes que podem ter a sua origem a partir da decomposição da matéria orgânica biodegradável, erosão dos solos e carreamento de fertilizantes agrícolas para os corpos d'água. O excesso de nutrientes na água acarreta prejuízo a determinados usos dos recursos hídricos, devido à proliferação acentuada de algas e diminuição do oxigênio dissolvido, o que resulta no fenômeno chamado de eutrofização (FIGUEIREDO, 2012).

Uma parte considerável dos defensivos agrícolas tem capacidade de atingir rios, lagos, aquíferos e oceanos por meio do transporte por correntes atmosféricas, despejo de restos de soluções, limpeza de acessórios e recipientes empregados na aplicação desses produtos, como também pelo carreamento do material aplicado no solo pela ação da chuva. Normalmente, o impacto causado aos recursos hídricos por este tipo de poluente está associado à sua toxicidade, bem como à possibilidade de bioacumulação nos organismos vivos, o que pode acarretar a morte destes organismos, afetar os níveis tróficos e desequilibrar totalmente o sistema (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Nesse sentido, é importante identificar a qualidade da água e verificar a sua vulnerabilidade à atividade humana, tendo em vista a necessidade da conservação dos recursos hídricos, auxiliando no que se refere ao seu gerenciamento sem perder a perspectiva da análise da bacia hidrográfica. (SOUZA et al, 2014).

3.3 Análise Multivariada

Estudos de monitoramento de qualidade da água, produzem grandes matrizes, uma vez que incluem amostras em várias estações de coleta, por longos períodos. A quantidade de dados e respectiva análise, acabam dificultando o diagnóstico da dinâmica da qualidade da água. A utilização de ferramentas estatísticas facilita a interpretação de matrizes com grande número de variáveis. Dentre as diversas técnicas que podem ser aplicadas, destaca-se a análise multivariada, que auxilia na compreensão da interação dos diversos fatores que afetam os corpos hídricos (ARRUDA et al, 2015).

Para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, é necessário ter informações confiáveis sobre a qualidade da água. Vega et al. (1998) relata que o tratamento multivariado de dados é bastante usado para caracterizar e avaliar as águas superficiais e a qualidade das águas doces, sendo útil para evidenciar variações espaciais e temporais causadas por fatores naturais e antropogênicos vinculados à sazonalidade.

A análise multivariada corresponde a um conjunto de métodos e técnicas, que analisam simultaneamente todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados (ALVES et al, 2007). A utilização desta análise permite reduzir a representação dimensional de dados, arranjando-os em uma estrutura que facilita a visualização de todo o conjunto de resultados, com a manutenção das informações relevantes e eliminação das irrelevantes e/ou redundantes (MAIA et al, 2019).

Observa-se que a análise multivariada de dados contribui para a identificação de qual ou quais variáveis devem ser utilizados como indicadores básicos, pois com ela é possível compreender a função desempenhada por cada variável analisada num estudo de caso (ARAÚJO et al, 2013).

De acordo com Palácio et al, (2011) esse tipo de análise reduz os dados de observação e permite a interpretação de diversos constituintes individualmente, visto que indica associações entre amostras e/ou variáveis, bem como possibilita identificar os possíveis fatores/fontes que influenciam nos corpos hídricos.

3.3.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

A técnica mais antiga e mais conhecida de análise multivariada de dados é a análise de Componente Principal (ACP), a qual consiste em uma técnica que usa princípios matemáticos subjacentes sofisticados para transformar uma série de variáveis, possivelmente

correlacionadas em um número menor de variáveis, chamadas de principais componentes (MISHRA, 2017).

A análise de componentes principais possibilita investigações com um grande número de dados disponíveis, como também a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações (VICINI, 2005).

A ideia central da análise de componentes principais (ACP) é reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados consistindo em um grande número de variáveis inter-relacionadas, mantendo o máximo possível da variação presentes no conjunto de dados. Isto é alcançado transformando-se em um novo conjunto de variáveis, os componentes principais, que não estão correlacionados, e que são ordenados de forma que os primeiros retenham a maior parte da variação presente em todas as variáveis originais (MISHRA, 2017).

No estado do Ceará, Andrade et al. (2007) aplicaram a ACP com o intuito de identificar os efeitos da atividade humana e processos naturais na qualidade das águas superficiais na bacia do Baixo Acaraú. Por meio da aplicação desta técnica, foi possível detectar os principais indicadores da qualidade da água, em que foram agrupados em quatro grupos, um grupo de sólidos (representando o processo de erosão e escoamento superficial), por um grupo de nutrientes (influências de fontes difusas, como drenagem das áreas agrícolas), por um grupo orgânico (indicativo da ação antrópica) e um grupo de sais solúveis (indicativo de processo natural).

Em uma pesquisa realizada, Palácio et al. (2011) aplicaram a ACP com o objetivo de identificar os fatores determinantes da qualidade das águas superficiais do Ceará. ACP promoveu a redução de sete características das águas superficiais do Estado do Ceará para dois componentes, que explicaram 84,04% da variância total, mostrando que os parâmetros mais representativos na variabilidade da salinidade das águas foram cloreto, condutividade elétrica, sódio e magnésio, relacionados com a solubilidade dos sais.

Já Bertossi et al. (2013) utilizou a técnica de ACP com o objetivo de selecionar as características físico-químicas mais relevantes para explicar a variabilidade da qualidade das águas de uma sub-bacia hidrográfica rural no Sul do Estado do Espírito Santo. A ACP promoveu a redução de dezenove parâmetros de qualidade em três componentes que explicaram 87,53% da variância total, e as características mais representativas da variabilidade da qualidade das águas estudadas foram: condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos dissolvidos, turbidez, DBO, nitrato, cálcio, magnésio e sódio.

3.3.2 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH)

Entre os diversos métodos para a Análise de Agrupamentos, o mais utilizado é o por Agrupamentos Hierárquicos (AAH). A partir da matriz inicial de dados obtém-se uma matriz simétrica de similaridades e inicia-se a detecção de pares de casos com a mais alta similaridade, ou a mais baixa distância. Para essa combinação, segundo níveis hierárquicos de similaridade, escolhe-se entre os diversos procedimentos aglomerativos de tal modo que cada ciclo de agrupamento obedeça a uma ordem sucessiva no sentido do decréscimo de similaridade (BUFON E LANDIM, 2007).

Os coeficientes de similaridades na matriz inicial representam o grau de semelhança entre pares de objetos e os mesmos deverão ser arranjados de acordo com os respectivos graus de similaridade, de modo a ficarem agrupados segundo uma disposição hierárquica. Os resultados podem ser ilustrados na forma de gráficos, do tipo dendrogramas, em que mostrarão as relações das amostras agrupadas (BUFON E LANDIM, 2007).

O dendrograma representa uma síntese gráfica do trabalho desenvolvido, sintetizando a informação, o que ocasiona uma pequena perda, pelo fato de ser uma síntese. Apesar da perda de informação, o dendrograma tem grande utilidade para a classificação, comparação e discussão de agrupamentos (VICINI, 2005).

Para realizar a AAH, primeiramente, é preciso formular o problema definindo as variáveis que baseará o agrupamento. Posteriormente, serão reunidos os dados do estudo em uma tabela com colunas (variáveis) e linhas (objetos). Os dados deverão ser verificados se encontram-se com a mesma medida, senão, deve-se fazer a padronização, e em seguida, é necessário escolher uma medida apropriada de distância, que irá determinar o quão semelhantes, ou diferentes, são os objetos que serão agrupados (VICINI, 2005).

Palácio et al. (2009) aplicaram a técnica de agrupamento para identificar a similaridade de variáveis determinantes da qualidade das águas do trecho perenizado da bacia do Curu, Ceará, durante a estação seca e chuvosa. Concluíram que a definição dos agrupamentos foi determinada principalmente pela concentração e diluição dos íons decorrentes da influência da sazonalidade.

Enquanto Araújo Neto et al. (2017) utilizaram a análise de agrupamento com o objetivo de avaliar os impactos da irrigação na adição de sais em solos de duas áreas irrigadas no trecho perenizado do rio Trussu, Iguatu-CE. Concluíram que a análise de agrupamento foi eficiente no que diz respeito ao estudo da similaridade dos solos e a formação de grupos em função da concentração salina.

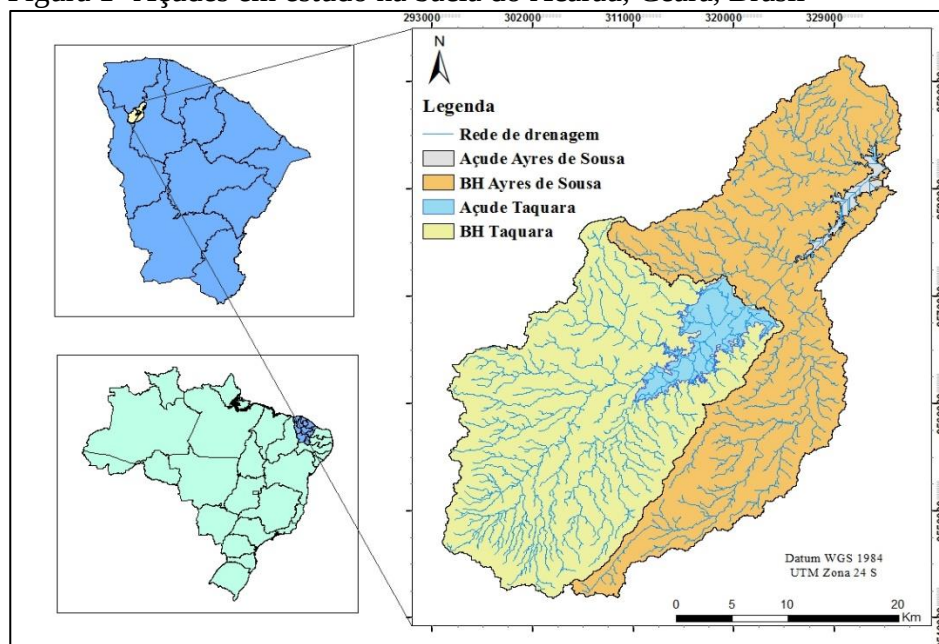
Já Pastro et al. (2020) aplicaram a análise de agrupamento com objetivo de agrupar as águas de quatro microbacias quanto à similaridade. A análise de agrupamento possibilitou a formação de quatro grupos distintos no período chuvoso, e três grupos no período seco, e concluíram-se que a diferença entre os ambientes foi o principal fator de influência na segregação dos grupos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área do estudo

Os açudes Taquara e Ayres de Sousa estão inseridos na bacia do Acaraú, localizada no oeste do Estado do Ceará (Figura 1). Para a delimitação das bacias hidrográficas, utilizou-se o programa ArcGIS versão 10.2, MDE da SRTM com pixel de 30 m, baixados gratuitamente do sítio EarthExplorer do United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

Figura 1- Açudes em estudo na bacia do Acaraú, Ceará, Brasil

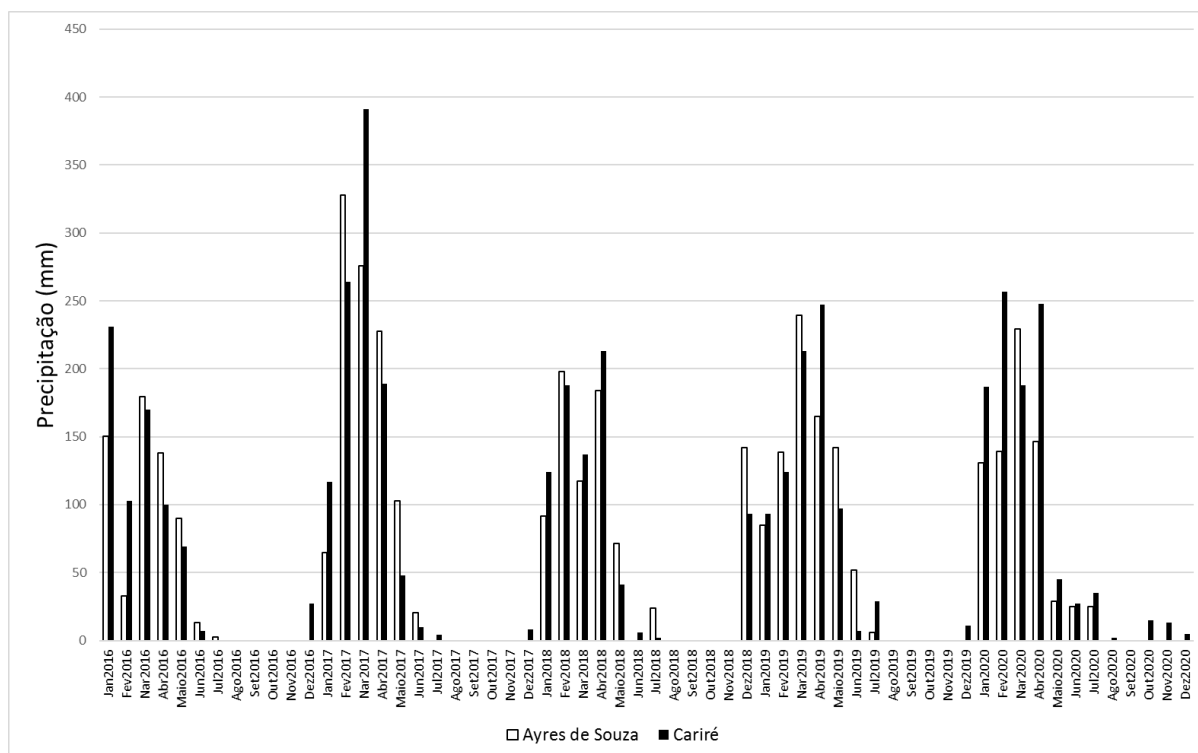


Fonte: Autor (2021)

Os reservatórios do estudo encontram-se em região onde predominam os sertões, com topografia plana e levemente ondulada, clima semiárido e domínio fisiográfico das caatingas (FIGUEIRÊDO; VIEIRA; MOTA, 2008). De acordo com Köppen (1918), a classificação do clima na área estudada é do tipo Aw', tropical chuvoso, com chuvas de verão-outono,

apresentando temperatura média anual de 28,1°C, mínima de 22,8°C e máxima de 34,7°C. A região apresenta precipitação anual média de 960 mm, com precipitações concentradas entre os meses de janeiro a julho e evaporação potencial de aproximadamente 1600 mm anuais, com umidade relativa média anual de 70% (CARVALHO et al, 2020). As médias totais mensais dos postos meteorológicos Ayres de Sousa e Cariré para os anos de 2016 a 2020 não ultrapassaram os 400 mm, como visto na Figura 2.

Figura 2 - Precipitações pluviométricas ocorridas nos postos meteorológicos Ayres de Sousa e Cariré nos anos de 2016 a 2020



Fonte: Autor (2021)

O açude Taquara, localizado no município de Cariré, data de 2012 e barra o alto do rio Jaibaras, sendo suas águas utilizadas no abastecimento de água dos municípios vizinhos de Cariré, Pacujá, Graça e Mucambo, além da finalidade de controle de enchentes do rio e sua perenização, também usado para o desenvolvimento da piscicultura na região. Já o açude Ayres de Sousa, mais comumente chamado de Jaibaras, também barra o rio Jaibaras, estando localizado em Sobral, foi construído em 1936 (SRH, 2006). Suas águas são utilizadas na irrigação, criação de tilápia em gaiolas e no abastecimento de vários municípios, dentre eles Sobral, o maior município da região. A Tabela 1 mostra as características técnicas dos reservatórios do estudo.

Tabela 1 – Características técnicas dos açudes Taquara e Ayres de Sousa

Açude	Ano de construção	Área da bacia hidráulica (ha)	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Capacidade (m ³)
Ayres de Sousa	1936	1.288,00	1.101,87	104.430.000
Taquara	2012	41.000,00	565,73	274.000.000

Fonte: SRH (2015)

4.2 Análise dos dados

Os dados utilizados para análise pertencem ao banco de dados de monitoramento de qualidade da água da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. Foi considerado o período de 2016 a 2020, com dados representativos dos períodos chuvosos (primeiro semestre) e de estiagem (segundo semestre) de cada ano do estudo.

Para caracterização qualitativa das águas dos açudes foram utilizados os seguintes parâmetros: pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica da água (CE) e a transparência da água obtida por meio do Disco de Secchi, avaliados em campo. Já para análise em laboratório, a profundidade de coleta das amostras foi subsuperficial (0,30 m) no ponto próximo à captação nos açudes Ayres de Sousa (latitude: -03° 42' 00'' longitude: -40° 20' 00'') e Taquara (latitude: -03° 53' 32'' longitude: -40° 30' 04'') e os parâmetros analisados foram: clorofila a, cianobactérias, fósforo totais, nitrogênio total, alcalinidade por bicarbonatos, cálcio, cloretos, cor, ferro, magnésio, potássio, sódio, sólidos totais, turbidez e *Escherichia coli*. Os procedimentos laboratoriais foram baseados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005).

4.3 Análise estatística

A etapa inicial constou da tabulação do conjunto de dados das variáveis analisadas, as quais foram tabeladas em planilhas eletrônicas no software Microsoft Excel para a organização e pré-tratamento dos dados. Após a consolidação do banco de dados, foram realizadas análises estatísticas descritivas.

Nas variáveis que compõe o estudo foram aplicadas análises descritivas juntamente na construção de gráficos *box-plot* nos períodos sazonais, com o intuito de representar o comportamento das variáveis de qualidade da água. Na análise descritiva foram abordados os seguintes parâmetros: média, mediana, desvio padrão, número de dados, máximos, mínimos.

Essas análises foram aplicadas com a finalidade de observar o comportamento das variáveis nos períodos sazonais entre os anos de 2016 e 2020.

Posteriormente, comparou-se as concentrações das variáveis analisadas com os valores máximos permitidos (VMPs), conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005.

4.3.1 Análise Multivariada

A técnica e o método estatístico ideal para a aplicação devem ser escolhidos de acordo com o objetivo do estudo, no caso deste estudo foi adotado a técnica de Análise de Componentes Principais e a Análise Hierárquica de Agrupamentos devido a elevada quantidade de dados, contendo vários parâmetros cuja interpretação pode ser complicada.

4.3.1.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

A técnica de estatística multivariada Análise de Componentes Principais foi aplicada as variáveis: condutividade elétrica, cloreto, cor verdadeira, magnésio, potássio, sódio, transparência da água, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos totais, cianobactérias, *escherichia coli* e clorofila a.; com o objetivo de identificar os fatores fundamentais que influenciam a qualidade das águas superficiais dos reservatórios Taquara e Ayres de Sousa, visto que a finalidade da ACP é obter componentes que ajudem a explicar essas correlações.

Segundo Vicini (2005) para a aplicar a Análise Componentes Principais, inicialmente, é preciso calcular a matriz de variância-covariância (S), ou a matriz de correlação (R). As variáveis medidas possuem escalas diferentes, diante disso utilizou-se a matriz de correlação [R] ($p \times p$), para p igual a 19 variáveis de qualidade de água analisadas. A matriz de correlação é utilizada quando se necessita de uma padronização dos dados, evitando-se problemas com a influência da magnitude das variáveis, e para verificar se as variáveis estão correlacionadas umas em relação as outras, deve-se aplicar o teste do KaiserMeyer-Olkin (KMO), ou fazer um teste que verifique se as correlações entre as variáveis são significativas, ou não, para verificar se é possível proceder a análise dos dados aplicando a técnica.

Após a definição da matriz de correlação, realizou-se os testes KMO e de esfericidade de Bartlett, para verificar a adequabilidade do conjunto de dados a análise fatorial. O teste de esfericidade indica se a matriz de correlação tem correlações significantes entre as variáveis, no qual significância $< 0,05$ indica a existência de correlações suficientes entre as variáveis analisadas (FIGUEIREDO, 2012).

A consistência dos dados pode ser aferida pelo método Kayser-Meyer-Olkin (KMO), comparando-se a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial (PLÁCIDO, 2004), produzindo um índice KMO obtido pela seguinte equação:

$$KMO = \frac{\sum_{k \neq j} \sum r_{kj}^2}{\sum_{k \neq j} \sum r_{kj}^2 + \sum_{k \neq j} \sum a_{kj}^2} \quad (1)$$

Onde:

$r_{k,j}$ - coeficiente de correlação simples entre as variáveis k e j;

a_{kj} - coeficiente de correlação parcial entre as variáveis k e j

Valores de KMO menores que 0,5 indicam que o método de análise fatorial é inadequado para o tratamento dos dados (HAIR et al., 2009). Os intervalos do teste podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Intervalo de validade do teste KMO, para aplicação do modelo de análise de fator

Valor de KMO	Aplicação do modelo
KMO $\geq$ 0,9	Excelente
0,8 $\leq$ KMO $<$ 0,9	Ótima
0,7 $\leq$ KMO $<$ 0,8	Boa
0,6 $\leq$ KMO $<$ 0,7	Regular
0,5 $\leq$ KMO $<$ 0,6	Medíocre
KMO $<$ 0,5	Inadequada

A seleção do número de componentes extraídos foi definida pelo critério da raiz latente, seguindo os preceitos apresentados por NORUSIS (1990), que considera somente componentes com variância superior a um, ou seja, que qualquer fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável.

Os componentes principais são ordenados, de forma que o primeiro componente principal explique o máximo da variabilidade total dos dados; o segundo explique o máximo da variabilidade total do restante dos dados, sendo não-correlacionada com o primeiro; o terceiro explique o máximo da variabilidade total do restante dos dados, sendo não-correlacionada com o primeiro e o segundo componentes, e assim sucessivamente até que o número de componentes principais seja no máximo igual ao número de variáveis (ANDRADE et al., 2007)

Segundo Norusis (1990), o modelo matemático para análise de fator apresenta semelhança com uma equação de regressão múltipla. Cada variável é expressa como uma combinação linear de fatores que não são observadas de fato. O modelo para a i-ésima variável normalizada é escrito por meio da regressão linear múltipla entre fatores:

$$X_j = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + \dots + A_{ik}F_k + U_i$$

Onde:

F – fatores comuns;

A – constantes combinadas dos fatores k;

U – erro experimental.

O modelo assume que os erros experimentais não têm correlação com os fatores comuns (PALÁCIO, 2004). Os fatores são deduzidos das variáveis observadas e podem ser calculados como combinações lineares. É possível que todas as variáveis contribuam para o fator de qualidade da água, no entanto espera-se que um único subconjunto de variáveis caracterize a qualidade da água, como o indicado pelos grandes coeficientes. A expressão geral para a estimativa do fator k-ésimo F_k pode ser vista na Equação 2.

$$f_k = \sum_{i=1}^p W_{ki} X_i = W_{k1}X_1 + W_{k2}X_2 + \dots + W_{kp}X_p \quad (2)$$

Onde:

W – coeficiente de contagem de cada fator;

p – número de variáveis.

A matriz dos componentes foi obtida na fase de extração, posteriormente foi realizada a transformação ortogonal (rotação da matriz dos pesos fatoriais), gerando uma nova matriz pelo modelo de rotação ortogonal Varimax, adotado frequentemente em estudos de qualidade de água (Andrade et al. 2007; Plácido et al. 2011; Figueiredo 2012; Bertossi et al. 2013).

Desse modo, com a finalidade de avaliar as associações entre as variáveis de qualidade da água, de identificar os parâmetros mais significativos dos açudes Taquara e Ayres de Sousa, a Análise de Componentes Principais foi aplicada neste estudo.

4.3.1.2 Análise Hierárquica de Agrupamentos (AAH)

A semelhança da qualidade das águas entre os açudes Taquara e Ayres de Sousa foi estimado pelo emprego da Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH). Os parâmetros

utilizados nesta análise foram os mais significativos, em comum aos dois açudes, que foram obtidos da primeira e segunda componente da análise de componentes principais (ACP), os quais se mostraram com maior influência na qualidade dos açudes.

Para aplicação deste método foi necessário eliminar o efeito de escala e unidades das variáveis, a padronização foi realizada com a conversão das variáveis para escores padrões (Z escore) (FERNANDES et al., 2010). Segundo Figueiredo (2012) a padronização dos dados em escores padrão (escores Z), ocorre pela subtração da média e divisão pelo desvio padrão de cada variável.

Como as variáveis adotadas deste estudo são reais e, medidas em uma escala de intervalo, utilizou-se combinação da distância Euclidiana ao quadrado para a formação da matriz de similaridade e o algoritmo do método de ligação Ward (método da variância mínima), conforme os estudos de Palácio et al. (2011), Bertossi et al., (2013) e Fernandes et al. (2010).

Os dados médios de cada parâmetro analisado dos respectivos grupos formados foram submetidos à análise de teste de média e confrontados pelo teste “t” a nível de significância de 1%, utilizando-se o programa estatístico SPSS® (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 19.0.

Na definição de um número ótimo de agrupamentos, empregou-se “o coeficiente de aglomeração” (CA), partindo-se do princípio de que aumentos repentinos no valor do coeficiente de aglomeração representam fusão de elementos diferentes, no dendrograma esses aumentos são representados pelos maiores valores da distância reescalada de combinação de agregados (DILLON & GOLDSTEIN, 1984).

Portanto, esta técnica foi aplicada neste estudo com o intuito de verificar a existência de similaridades e dissimilaridades entre os parâmetros dos açudes Taquara e Ayres de Sousa nos períodos sazonais. Para a Análise de Componentes Principais e a Análise Hierárquica de Agrupamentos utilizou-se o software estatístico SPSS® (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 19.0.

5. RESULTADOS

5.1 Análise sazonal dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos açudes Taquara e Ayres de Sousa

A sazonalidade possui um papel importante na influência do comportamento dos parâmetros de qualidade da água, principalmente, quando as águas analisadas estão inseridas no semiárido, que possui os períodos de chuva e estiagem bem definidos.

Foram realizadas avaliações das variáveis físicas, químicas e biológicas para uma melhor compreensão da qualidade da água, observando o comportamento dos parâmetros nos períodos sazonais, e também com a finalidade de identificar possíveis fontes de poluição devido ao lançamento inadequado de efluentes pela criação de animais nas margens de corpos hídricos, enriquecimento de nutrientes do solo devido às atividades agrícolas, bem como qualquer outra atividade que possa causar impacto negativo sobre os corpos hídricos.

Apresenta-se a comparação entre as concentrações de determinadas variáveis analisadas com os valores máximos permitidos (VMPs), conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005. Utilizando gráficos box-plot observa-se a comparação entre os dois períodos (chuvoso e seco) das variáveis físicas, químicas e biológicas.

5.1.1 Análise Sazonal das Variáveis Físicas nos Açudes

Nas Tabelas 3 e 4 apresenta-se a análise descritiva das variáveis físicas (Condutividade elétrica, cor, transparência, turbidez e sólidos totais) nos períodos chuvosos e secos, respectivamente, para os açudes Ayres de Sousa e Taquara, em seguida gráficos box-plot permitem a comparação entre os dois períodos (chuvoso e seco).

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis físicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período chuvoso dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020

Reservatório	CE		Cor		Transpar.		Turbidez		ST	
	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ
2016										
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mínimo	255,00	224,00	20,00	2,50	0,10	1,70	131,00	2,39	300,50	142,50
Máximo	284,00	235,00	25,00	10,00	0,10	2,00	176,00	2,46	370,50	157,00
Mediana	269,50	229,50	22,50	6,25	0,10	1,85	153,50	2,43	335,50	149,75
Média	269,50	229,50	22,50	6,25	0,10	1,85	153,50	2,43	335,50	149,75
Variância	420,50	60,50	12,50	28,13	0,00	0,05	1012,50	0,00	2450,00	105,13
DP	20,51	7,78	3,54	5,30	0,00	0,21	31,82	0,05	49,50	10,25
2017										
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mínimo	179,00	191,00	25,00	5,00	0,20	1,70	18,00	2,01	121,00	99,00
Máximo	297,00	237,00	60,00	15,00	0,80	2,00	89,40	2,18	288,00	128,00
Mediana	238,00	214,00	42,50	10,00	0,50	1,85	53,70	2,10	204,50	113,50
Média	238,00	214,00	42,50	10,00	0,50	1,85	53,70	2,10	204,50	113,50
Variância	6962,00	1058,00	612,50	50,00	0,18	0,05	2548,98	0,01	13944,50	420,50
DP	83,44	32,53	24,75	7,07	0,42	0,21	50,49	0,12	118,09	20,51
2018										
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mínimo	221,00	200,00	2,50	2,50	1,40	1,80	3,10	2,16	151,00	110,00
Máximo	241,00	218,00	10,00	2,50	1,40	2,20	9,10	3,39	175,00	121,00
Mediana	231,00	209,00	6,25	2,50	1,40	2,00	6,10	2,78	163,00	115,50
Média	231,00	209,00	6,25	2,50	1,40	2,00	6,10	2,78	163,00	115,50
Variância	200,00	162,00	28,13	0,00	0,00	0,08	18,00	0,76	288,00	60,50
DP	14,14	12,73	5,30	0,00	0,00	0,28	4,24	0,87	16,97	7,78
2019										
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mínimo	208,70	168,40	5,00	2,50	0,80	1,30	7,70	2,79	146,00	131,00
Máximo	240,80	213,80	10,00	2,50	0,90	2,00	13,40	3,46	183,00	140,00
Mediana	224,75	191,10	7,50	2,50	0,85	1,65	10,55	3,13	164,50	135,50
Média	224,75	191,10	7,50	2,50	0,85	1,65	10,55	3,13	164,50	135,50
Variância	515,21	1030,58	12,50	0,00	0,01	0,25	16,25	0,22	684,50	40,50
DP	22,70	32,10	3,54	0,00	0,07	0,49	4,03	0,47	26,16	6,36
2020										
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mínimo	190,80	154,81	2,50	2,50	1,10	1,60	3,90	3,01	125,00	103,00
Máximo	206,40	163,98	10,00	2,50	1,30	1,70	5,40	4,55	127,00	111,00
Mediana	198,60	159,40	6,25	2,50	1,20	1,65	4,65	3,78	126,00	107,00
Média	198,60	159,40	6,25	2,50	1,20	1,65	4,65	3,78	126,00	107,00
Variância	121,68	42,04	28,13	0,00	0,02	0,00	1,13	1,19	2,00	32,00
DP	11,03	6,48	5,30	0,00	0,14	0,07	1,06	1,09	1,41	5,66

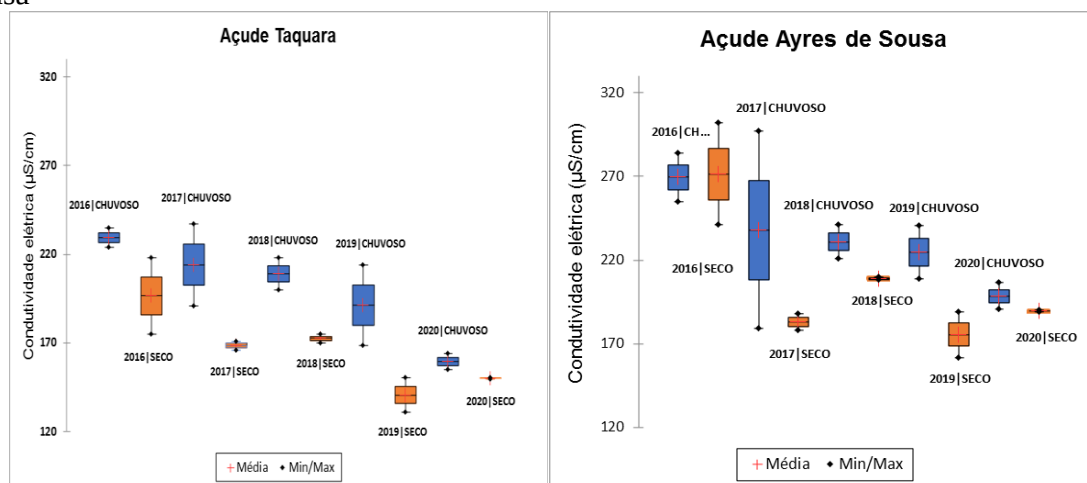
Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis físicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período seco dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020

		CE		Cor		Transpar.		Turbidez		ST	
Reservatório		AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ
2016	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	241,00	175,00	15,00	12,50	0,20	1,90	61,20	2,01	244,00	125,00
	Máximo	302,00	218,00	15,00	15,00	0,30	2,20	131,00	2,75	316,00	151,00
	Mediana	271,50	196,50	15,00	13,75	0,25	2,05	96,10	2,38	280,00	138,00
	Média	271,50	196,50	15,00	13,75	0,25	2,05	96,10	2,38	280,00	138,00
	Variância	1860,50	924,50	0,00	3,13	0,01	0,05	2436,02	0,27	2592,00	338,00
	DP	43,13	30,41	0,00	1,77	0,07	0,21	49,36	0,52	50,91	18,38
2017	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	178,00	166,00	20,00	15,00	1,80	1,70	1,90	1,64	118,00	8,00
	Máximo	188,00	171,00	40,00	17,50	2,00	2,20	3,70	2,60	147,00	128,00
	Mediana	183,00	168,50	30,00	16,25	1,90	1,95	2,80	2,12	132,50	68,00
	Média	183,00	168,50	30,00	16,25	1,90	1,95	2,80	2,12	132,50	68,00
	Variância	50,00	12,50	200,00	3,13	0,02	0,13	1,62	0,46	420,50	7200,00
	DP	7,07	3,54	14,14	1,77	0,14	0,35	1,27	0,68	20,51	84,85
2018	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	208,00	170,00	20,00	15,00	0,80	1,30	6,20	3,51	120,00	110,00
	Máximo	210,00	175,00	20,00	17,50	0,90	1,80	8,20	3,69	149,00	126,00
	Mediana	209,00	172,50	20,00	16,25	0,85	1,55	7,20	3,60	134,50	118,00
	Média	209,00	172,50	20,00	16,25	0,85	1,55	7,20	3,60	134,50	118,00
	Variância	2,00	12,50	0,00	3,13	0,01	0,13	2,00	0,02	420,50	128,00
	DP	1,41	3,54	0,00	1,77	0,07	0,35	1,41	0,13	20,51	11,31
2019	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	161,90	130,80	10,00	2,50	1,20	1,60	5,30	3,51	119,00	68,00
	Máximo	189,20	150,45	17,50	20,00	1,40	1,70	9,00	3,77	127,00	96,00
	Mediana	175,55	140,63	13,75	11,25	1,30	1,65	7,15	3,64	123,00	82,00
	Média	175,55	140,63	13,75	11,25	1,30	1,65	7,15	3,64	123,00	82,00
	Variância	372,65	193,06	28,13	153,13	0,02	0,00	6,85	0,03	32,00	392,00
	DP	19,30	13,89	5,30	12,37	0,14	0,07	2,62	0,18	5,66	19,80
2020	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	189,20	149,63	17,50	7,50	1,00	1,10	6,20	5,47	127,00	95,00
	Máximo	190,10	150,45	20,00	15,00	1,30	1,20	7,41	6,36	148,00	128,00
	Mediana	189,65	150,04	18,75	11,25	1,15	1,15	6,81	5,92	137,50	111,50
	Média	189,65	150,04	18,75	11,25	1,15	1,15	6,81	5,92	137,50	111,50
	Variância	0,41	0,34	3,13	28,13	0,05	0,00	0,73	0,40	220,50	544,50
	DP	0,64	0,58	1,77	5,30	0,21	0,07	0,86	0,63	14,85	23,33

Observa-se que a variável condutividade elétrica apresentou diferenças sazonais, em que todas as coletas tiveram um aumento progressivo dos valores no período chuvoso, exceto no ano de 2016 no açude Ayres de Sousa (Figura 3). Cenário que pode ser justificado pelo aporte de íons nas águas do reservatório por escoamento superficial, em épocas de maiores precipitações. Resultado divergente foi encontrado nos estudos de Feitosa (2011) nos açudes Paus Branco e Mel e de Pacheco (2009) no açude Acarape do Meio do Ceará, em que a condutividade elétrica apresentou maiores valores no período seco, justificado pela maior concentração de sais, devido a redução do volume do reservatório.

A condutividade elétrica tem correlação com a presença de íons dissolvidos no meio aquoso. Logo, quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica (BUZELLI et al, 2013). Segundo CETESB (2009) águas que apresentam concentrações superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicam ambientes impactados por atividades antrópicas. Observando as Tabelas 3 e 4 e a Figura 3, verifica-se que nos valores mínimos de cada ano em estudo, todos foram superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, onde supõe-se a existência de atividades antrópicas no entorno dos reservatórios, que contribuem para o aporte de íons nas águas nos reservatórios pela ação do escoamento superficial em períodos chuvosos. Dentre os valores observados nos açudes, destaca-se que o Ayres de Sousa apresentou valores mais altos.

Figura 3 – Representação sazonal da condutividade elétrica nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

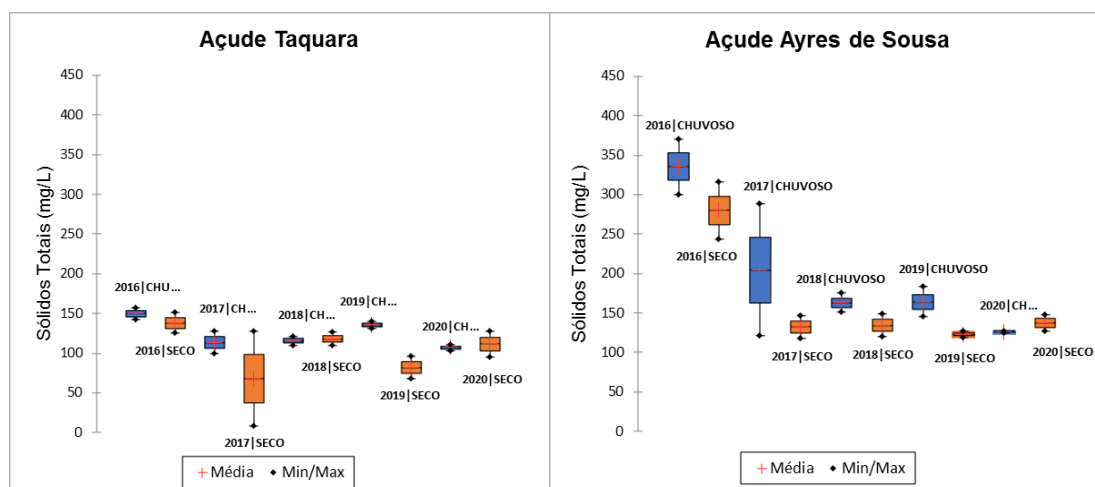
Na Figura 4, os sólidos totais apresentaram, em sua maioria, valores maiores no período chuvoso, o que era esperado devido a ação do escoamento superficial, que traz consigo matéria orgânica e sedimentos. Segundo os autores Silva e Souza (2013) os sólidos totais tem relação

direta com a sazonalidade, uma vez que os valores de ST são maiores no período chuvoso, o que significa um maior incremento dos teores de sais minerais neste período.

Chaves et al. (2019) explicam que os sedimentos em suspensão aumentam devido a cobertura vegetal das margens sofrer desmatamento. No açude Ayres de Sousa destaca-se valores mais altos de ST, segundo COGERH (2010) o açude Ayres de Sousa sofre desmatamento indiscriminado nas matas ciliares, o que coopera no aceleração de processos erosivos e intensificação do assoreamento de açudes e rios.

De acordo com a resolução CONAMA 357/05 os limites aceitos para o parâmetro de sólidos totais para águas doces de Classe 2 devem ser até 500 mg, diante disso, observa-se que os valores obtidos nos açudes Taquara e Ayres de Sousa atenderam a legislação (Tabela 3 e 4). Resultado similar, foi obtido por Sousa et al. (2020) os quais mostraram que os reservatórios Piaus e Bocaina apresentam valores de sólidos totais dentro do limite estabelecido pela resolução Conama.

Figura 4 – Representação sazonal dos sólidos totais nos açudes Taquara e Ayres de Sousa

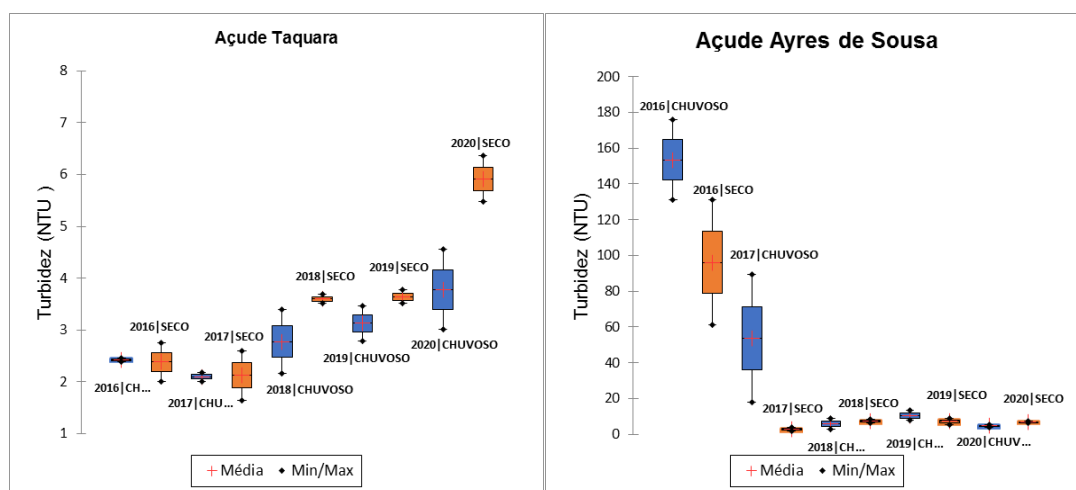


Fonte: Autor (2021)

No açude Taquara, a variável turbidez apresentou maiores concentrações no período seco. Resultado semelhante ao açude Taquara, foi obtido por Feitosa (2011), nos açudes Paus Branco e Mel, no Ceará, que também registrou resultados onde a turbidez foi maior no período seco. A ocorrência de turbidez em períodos de estiagem, frequentemente é causado por intervenção antrópica, decorrente da poluição de corpos d'água por despejos de esgotos, ou devido a taxa de decomposição do material clorofilado, que é maior em períodos de elevada insolação, devido a aceleração do metabolismo dos organismos que participam do processo de autodepuração natural dos corpos de água (MUCCI *et al.*, 2004)

Já o açude Ayres de Sousa teve comportamento divergente, em que os maiores valores de turbidez ocorreram no período chuvoso; resultado similar foi encontrado no estudo de reservatórios, situados no estado do Sergipe (LIMA, 2015). Segundo CETESB (2009) o aumento da turbidez em estações chuvosas geralmente acontece devido à movimentação do sedimento em locais rasos, 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. Destaca-se que todas as concentrações de turbidez atenderam a Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece um valor de até 100 UNT para águas doces de classe 2, exceto no ano de 2016 do açude Ayres de Sousa, que apresentou valores que não atendem à legislação no período seco e chuvoso. Além disso, dentre os valores observados nos açudes, destaca-se que o Ayres de Sousa com valores bem mais expressivos.

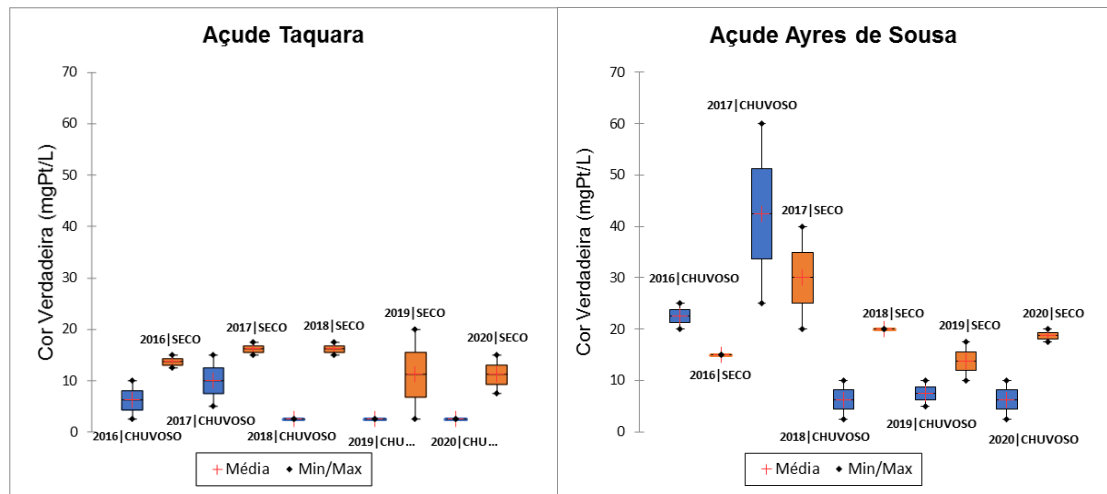
Figura 5 – Representação sazonal da turbidez nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

A variável cor apresentou maiores concentrações no período seco no açude Taquara e Ayres de Sousa, exceto nas coletas dos anos de 2016 e 2017 que ocorreram no açude Ayres de Sousa, como visto na Figura 6. Segundo Cetesb (2009), a cor está associada à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Diante disso, valores mais altos no período de estiagem, ocorreram pela diminuição do volume do reservatório e, em consequência disso, as concentrações destes materiais se tornam mais elevadas. Segundo o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, que é de até 75 mg Pt/L, todas as concentrações de cor nos períodos sazonais atenderam à legislação.

Figura 6– Representação sazonal da cor verdadeira nos açudes Taquara e Ayres de Sousa

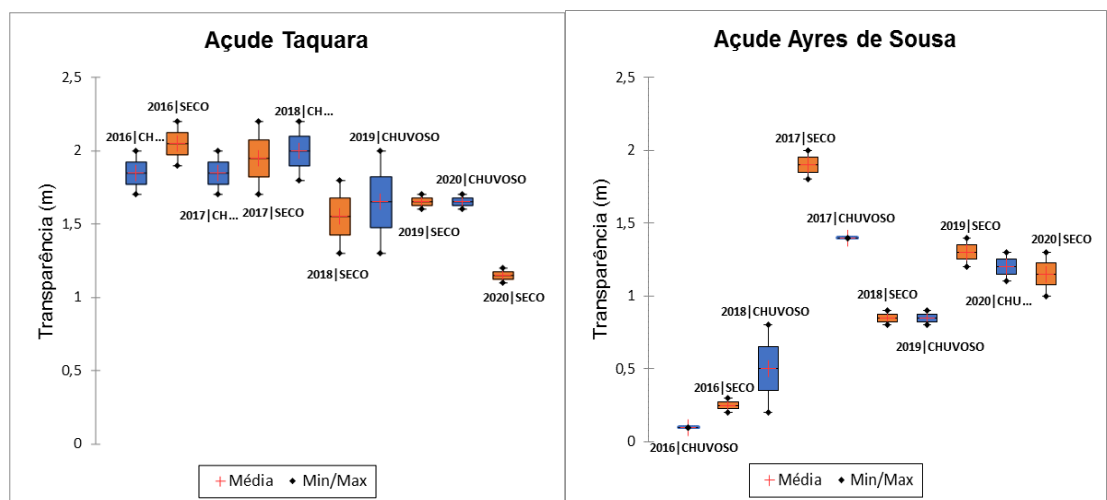


Fonte: Autor (2021)

Segundo Lima (2017), a cor verdadeira pode ser de origem natural, resultante da presença de substâncias húmicas e/ou compostos inorgânicos de ferro e manganês, como também sofre influências antrópicas, como despejos industriais, como curtumes, tecelagens, tinturarias e esgotos domésticos.

No açude Taquara, de um modo geral, a variável transparência apresentou maiores concentrações no período chuvoso (Figura 7), cenário que pode ser confirmado pelo aumento das precipitações, propiciando diluição da concentração dos sólidos em suspensão, que resulta em valores maiores de transparência; resultado similar foi obtido por Alves et al., (2016), que encontrou valores mais altos no período chuvoso.

Figura 7 – Representação sazonal da transparência nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

Já o açude Ayres de Sousa teve comportamento um pouco diferente, em que no período seco os valores de transparência se apresentaram um pouco maior que no período chuvoso. Tal cenário, possivelmente, acontece pela ação do escoamento superficial carrear carga sólida para dentro do corpo hídrico, resultando em concentrações menores de transparência no período chuvoso, e quando não ocorre este arraste a transparência alcança valores mais altos.

De um modo geral, as variáveis físicas entre os açudes Taquara e Ayres de Sousa tiveram variações semelhantes sobre o efeito da sazonalidade, entretanto as variáveis turbidez e transparência mostraram comportamento diferentes. Dentre as variáveis físicas, a condutividade elétrica, os sólidos totais e a turbidez apresentaram concentrações mais altas no Ayres de Sousa. A turbidez no ano de 2016 teve concentrações maiores que valores permitido pela Resolução CONAMA N° 357 no açude Ayres, o que indica, possivelmente, que este corpo hídrico recebeu mais carga sólida.

Segundo COGERH (2010) ainda nos limites da bacia hidrográfica do açude Ayres de Sousa, encontra-se uma mineradora, onde foi observado grande atividade de revolvimento do solo na área de extração mineral, como também foi observado desmatamento das matas ciliares. Este cenário pode justificar concentrações mais expressivas de carga sólida no Ayres de Sousa.

5.1.2 Análise Sazonal das Variáveis Químicas nos Açudes

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados da análise descritiva dos parâmetros químicos nos períodos sazonais.

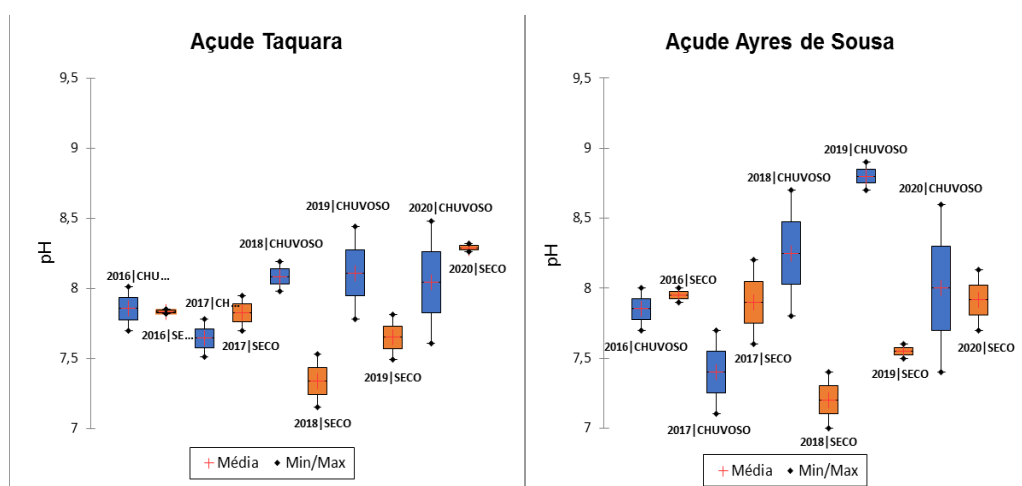
Tabela 5 - Estatística descritiva das variáveis químicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período chuvoso dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020

		OD		PT		NT		pH		Cálcio		Ferro		Alcalinidade		Cloreto		Mg		K		Na	
Reservatório		AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ
2016	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	5,50	5,38	0,19	0,02	1,30	0,49	7,70	7,70	8,80	4,00	6,90	0,20	54,82	57,86	36,30	33,33	9,60	10,66	5,00	6,00	25,00	24,00
	Máximo	7,10	7,45	0,28	0,02	1,80	0,59	8,00	8,01	12,10	7,27	7,30	0,20	67,28	60,46	41,30	35,93	9,70	12,50	6,20	6,25	30,80	27,06
	Mediana	6,30	6,42	0,23	0,02	1,55	0,54	7,85	7,86	10,45	5,64	7,10	0,20	61,05	59,16	38,80	34,63	9,65	11,58	5,60	6,13	27,90	25,53
	Média	6,30	6,42	0,23	0,02	1,55	0,54	7,85	7,86	10,45	5,64	7,10	0,20	61,05	59,16	38,80	34,63	9,65	11,58	5,60	6,13	27,90	25,53
	Variância	1,28	2,14	0,00	0,00	0,13	0,01	0,04	0,05	5,45	5,35	0,08	0,00	77,63	3,38	12,50	3,38	0,00	1,69	0,72	0,03	16,82	4,68
	DP	1,13	1,46	0,07	0,00	0,35	0,07	0,21	0,22	2,33	2,31	0,28	0,00	8,81	1,84	3,54	1,84	0,07	1,30	0,85	0,18	4,10	2,16
2017	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	2,40	6,68	0,12	0,05	0,80	0,70	7,10	7,51	11,90	6,33	1,30	0,20	52,64	55,68	27,50	25,49	5,20	7,60	5,00	5,00	18,00	20,00
	Máximo	6,90	7,21	0,34	0,06	1,10	0,76	7,70	7,78	11,90	7,13	5,70	0,24	71,91	70,90	41,20	32,35	10,00	9,03	7,00	7,00	34,00	28,00
	Mediana	4,65	6,95	0,23	0,06	0,95	0,73	7,40	7,65	11,90	6,73	3,50	0,22	62,28	63,29	34,35	28,92	7,60	8,32	6,00	6,00	26,00	24,00
	Média	4,65	6,95	0,23	0,06	0,95	0,73	7,40	7,65	11,90	6,73	3,50	0,22	62,28	63,29	34,35	28,92	7,60	8,32	6,00	6,00	26,00	24,00
	Variância	10,13	0,14	0,02	0,00	0,05	0,00	0,18	0,04	0,00	0,32	9,68	0,00	185,67	115,82	93,85	23,53	11,52	1,02	2,00	2,00	128,00	32,00
	DP	3,18	0,37	0,15	0,01	0,21	0,04	0,42	0,19	0,00	0,57	3,11	0,03	13,63	10,76	9,69	4,85	3,39	1,01	1,41	1,41	11,31	5,66
2018	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	6,50	7,43	0,04	0,02	1,00	0,70	7,80	7,98	14,30	9,51	0,20	0,20	65,69	55,58	22,80	23,84	7,30	5,70	5,00	5,00	17,00	18,00
	Máximo	7,90	8,03	0,07	0,04	1,10	0,71	8,70	8,19	15,50	10,61	0,20	0,20	72,30	58,24	27,50	29,41	8,60	6,86	5,00	5,00	18,00	19,00
	Mediana	7,20	7,73	0,06	0,03	1,05	0,71	8,25	8,09	14,90	10,06	0,20	0,20	69,00	56,91	25,15	26,63	7,95	6,28	5,00	5,00	17,50	18,50
	Média	7,20	7,73	0,06	0,03	1,05	0,71	8,25	8,09	14,90	10,06	0,20	0,20	69,00	56,91	25,15	26,63	7,95	6,28	5,00	5,00	17,50	18,50
	Variância	0,98	0,18	0,00	0,00	0,01	0,00	0,41	0,02	0,72	0,61	0,00	0,00	21,85	3,54	11,05	15,51	0,85	0,67	0,00	0,00	0,50	0,50
	DP	0,99	0,42	0,02	0,02	0,07	0,01	0,64	0,15	0,85	0,78	0,00	0,00	4,67	1,88	3,32	3,94	0,92	0,82	0,00	0,00	0,71	0,71
2019	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	8,60	6,17	0,05	0,03	0,80	0,58	8,70	7,78	11,30	8,89	0,20	0,20	48,72	48,72	28,90	26,95	7,30	6,79	5,00	4,07	17,00	16,51
	Máximo	8,70	7,46	0,06	0,03	0,90	0,69	8,90	8,44	14,50	12,12	0,30	0,22	49,10	68,14	28,90	26,95	8,20	7,27	5,10	5,00	19,00	18,00
	Mediana	8,65	6,82	0,06	0,03	0,85	0,63	8,80	8,11	12,90	10,50	0,25	0,21	48,91	58,43	28,90	26,95	7,75	7,03	5,05	4,54	18,00	17,26
	Média	8,65	6,82	0,06	0,03	0,85	0,63	8,80	8,11	12,90	10,50	0,25	0,21	48,91	58,43	28,90	26,95	7,75	7,03	5,05	4,54	18,00	17,26
	Variância	0,00	0,83	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,22	5,12	5,23	0,01	0,00	0,07	188,57	0,00	0,00	0,41	0,12	0,00	0,43	2,00	1,11
	DP	0,07	0,91	0,00	0,00	0,07	0,08	0,14	0,47	2,26	2,29	0,07	0,01	0,27	13,73	0,00	0,00	0,64	0,34	0,07	0,66	1,41	1,05
2020	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	5,40	6,29	0,05	0,03	0,80	0,63	7,40	7,61	11,30	6,78	0,20	0,20	58,87	39,48	23,80	20,77	2,90	4,46	4,00	4,00	16,00	14,00
	Máximo	8,50	8,34	0,07	0,04	1,00	0,68	8,60	8,48	21,80	10,74	0,30	0,29	72,73	42,05	24,70	24,78	7,30	5,22	5,00	4,00	17,00	15,00
	Mediana	6,95	7,32	0,06	0,03	0,90	0,65	8,00	8,05	16,55	8,76	0,25	0,25	65,80	40,77	24,25	22,78	5,10	4,84	4,50	4,00	16,50	14,50
	Média	6,95	7,32	0,06	0,03	0,90	0,65	8,00	8,05	16,55	8,76	0,25	0,25	65,80	40,77	24,25	22,78	5,10	4,84	4,50	4,00	16,50	14,50
	Variância	4,81	2,10	0,00	0,00	0,02	0,00	0,72	0,38	55,13	7,84	0,01	0,00	96,05	3,30	0,40	8,04	9,68	0,29	0,50	0,00	0,50	0,50
	DP	2,19	1,45	0,01	0,01	0,14	0,04	0,85	0,62	7,42	2,80	0,07	0,06	9,80	1,82	0,64	2,84	3,11	0,54	0,71	0,00	0,71	0,71

Observa-se na Figura 8 o pH no período chuvoso e seco; as águas no período chuvoso, se mostram em sua maioria com tendência ao pH básico. O aumento das precipitações gera uma tendência crescente do pH, o qual se aproxima da neutralidade. Isto acontece por ter maior diluição dos compostos dissolvidos e escoamento mais rápido, pois existe o maior volume de água que faz com que a acidez da água diminua (CARVALHO; SCHLITTLER; TORNISIELO, 2000).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os limites aceitos para o parâmetro de pH para águas doces de Classe 2, devem estar entre 6,0 e 9,0. A variação dos valores adquiridos no açude Taquara e Ayres de Sousa nos períodos sazonais atendem à legislação. Resultado que corrobora com Sousa et al. (2020), onde observou em reservatórios do semiárido, valores que se mantiveram em conformidade com os limites aceitáveis estabelecidos pelo Conama.

Figura 8 – Representação sazonal do pH nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.

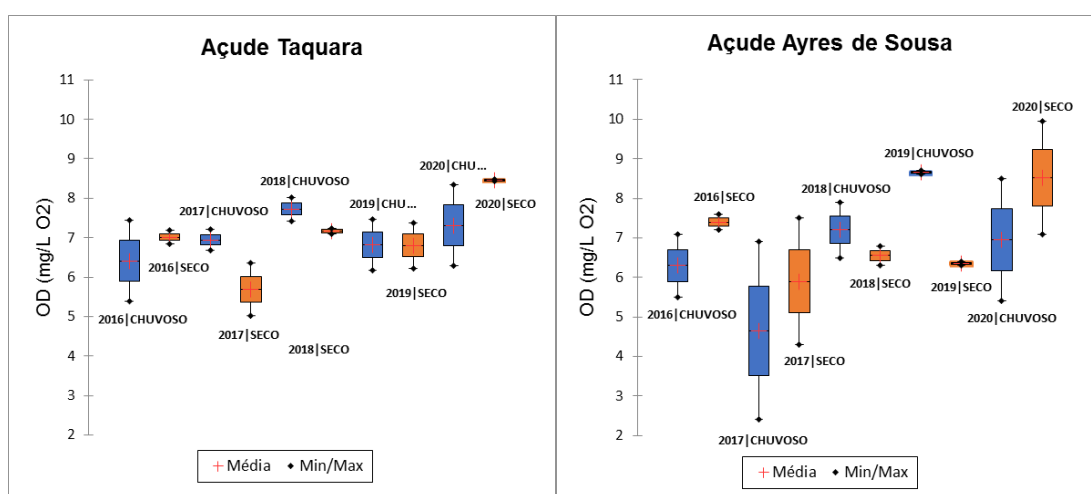


Fonte: Autor (2021)

A variável OD é bastante relevante, pois permite avaliar o nível de poluição por matéria orgânica. De um modo geral, o açude Taquara teve maiores valores de OD no período chuvoso (Figura 9). Resultado similar ao açude Taquara foram obtidos pelos autores Silva et al. (2018), onde o parâmetro de oxigênio dissolvido no período chuvoso apresenta maiores concentrações, em virtude do aumento na cota dos rios e nascentes, o que eleva a turbulência e favorece a aeração da água. Já no açude Ayres de Sousa, o período seco caracterizou-se por concentrações relativamente maiores (Figura 9), quando comparado a estação chuvosa. Garcia e Barreto (2010) em sua pesquisa no açude do Buri, no estado de Sergipe, verificaram que a concentração de oxigênio se elevou no período seco.

Conforme a Resolução CONAMA 357/2005, os limites permitidos para o parâmetro de oxigênio dissolvido (OD) para águas doces de Classe 2 não devem ser inferiores a 5 mg/L O₂. No açude Ayres de Sousa no ano de 2017, como visto na Tabela 5 e 6, as concentrações obtidas não atenderam à legislação, com o valor de 2,40 e 4,30 mg/L O₂, no período seco e chuvoso, respectivamente. Segundo ANA (2021) águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois este é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica.

Figura 9 – Representação sazonal do OD nos açudes Taquara e Ayres de Sousa.



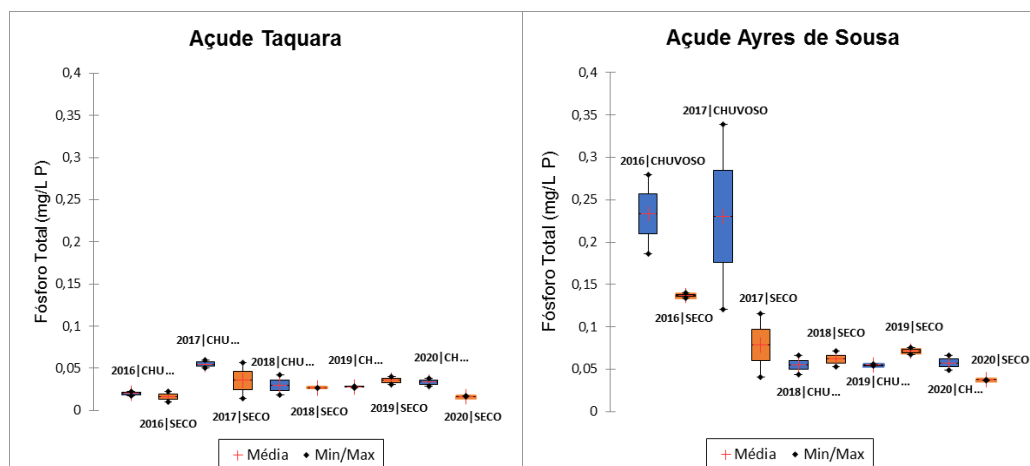
Fonte: Autor (2021)

Os resultados obtidos para o fósforo total demonstram que de uma forma geral as maiores concentrações foram registradas no período chuvoso (Figura 10), o que pode ser justificado pela ocorrência de escoamento superficial favorecendo o aporte de matéria orgânica nos açudes. Segundo Feitosa (2011) concentrações mais altas de fósforo total no período chuvoso, podem ser devido a entrada de matéria orgânica, bem como do fósforo adsorvido no sedimento por meio do escoamento superficial, além destes fatores, outra causa seria a ressuspensão do material do fundo do açude, que contém fósforo e libera para o meio, a partir da turbulência causada pelas precipitações.

Conforme a Resolução CONAMA 357/2005, os limites aceitos para o parâmetro de Fósforo total para águas doces de Classe 2 devem ser menores que 0,030 mg/L P, para ambientes lênticos. O açude Ayres de Sousa apresentou em todos os anos em estudo, como visto nas Tabelas 5 e 6, concentrações maiores que o valor máximo permitido. Já o açude Taquara apresentou comportamento um pouco melhor, em que no ano de 2020 (período seco), 2019 (período chuvoso), 2018 (período seco), e 2016 (período seco e chuvoso) atenderam a

resolução do CONAMA. Pontes et al. (2019) observaram valores médios na água do reservatório Paulo Sarasate nos anos de 2016 (0,198 mg/L) e 2017 (0,177mg/L), em que ultrapassaram expressivamente o valor permitido pela legislação.

Figura 10 – Representação sazonal do fósforo total nos açudes Taquara e Ayres de Sousa

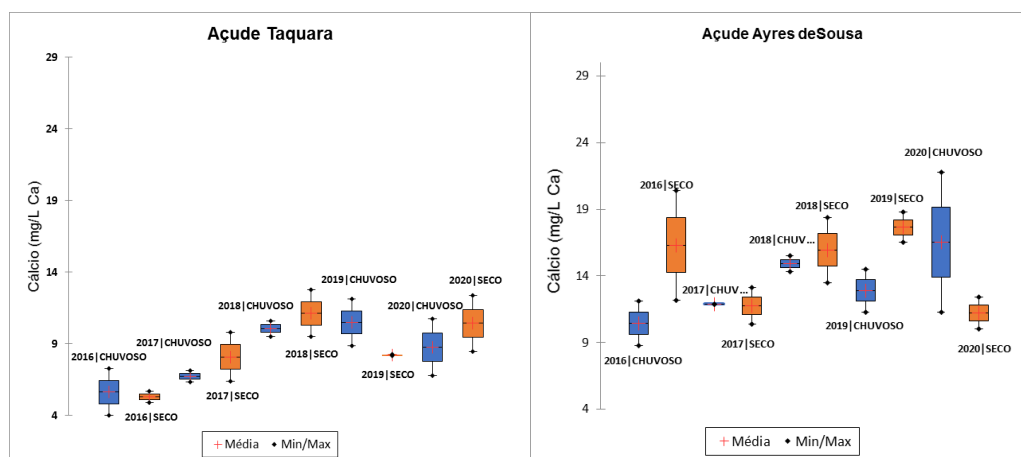


Fonte: Autor (2021)

Como visto na Figura 11, o cálcio apresentou maiores concentrações no período seco. Resultado similar foi obtido por Piratoba et al. (2017) no estudo em um trecho do Rio Pará, que maiores concentrações foram tidas no período de chuvas mais escassas.

As concentrações de cálcio em águas naturais são tipicamente <15 mg/L. Para as águas associados a rochas carbonáticas, as concentrações podem chegar a 30 – 100 mg/L. Águas salgadas têm concentrações de várias centenas de miligramas por litro ou mais (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996). Observa-se que as água do Taquara apresentou concentrações menores que 15mg/L; já o Ayres de Sousa apresentou concentrações maiores.

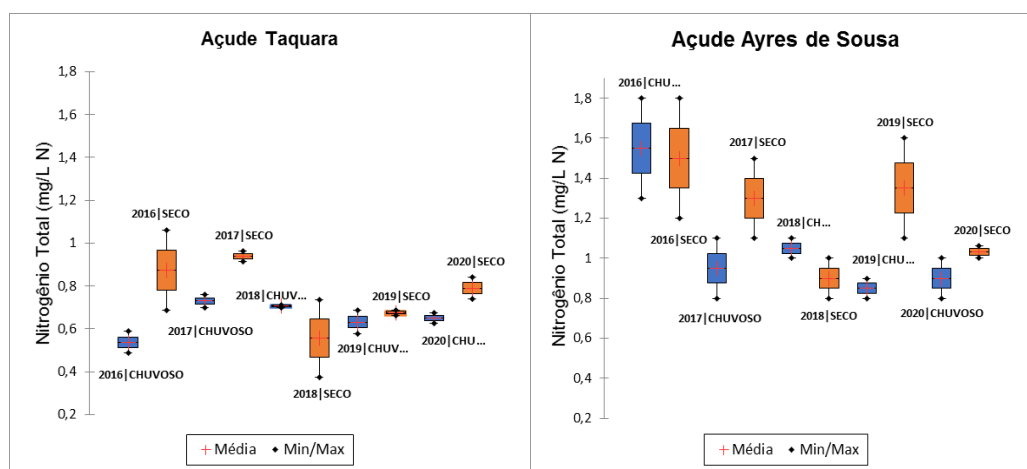
Figura 11 – Representação sazonal do cálcio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 12, observa-se o comportamento no nitrogênio total sobre o efeito da sazonalidade. O nitrogênio total, de um modo geral, apresentou concentrações maiores na estação de estiagem. Segundo ANA (2021) as principais fontes de nitrogênio para o ambiente aquático, acontece por lançamento de esgotos sanitários e efluentes indústrias. Em regiões agrícolas, o escoamento da água das chuvas em solos que receberam fertilizantes também é uma fonte de nitrogênio, assim como a drenagem de águas pluviais em áreas urbanas.

Figura 12 – Representação sazonal do nitrogênio total nos açudes Taquara e Ayres de Sousa

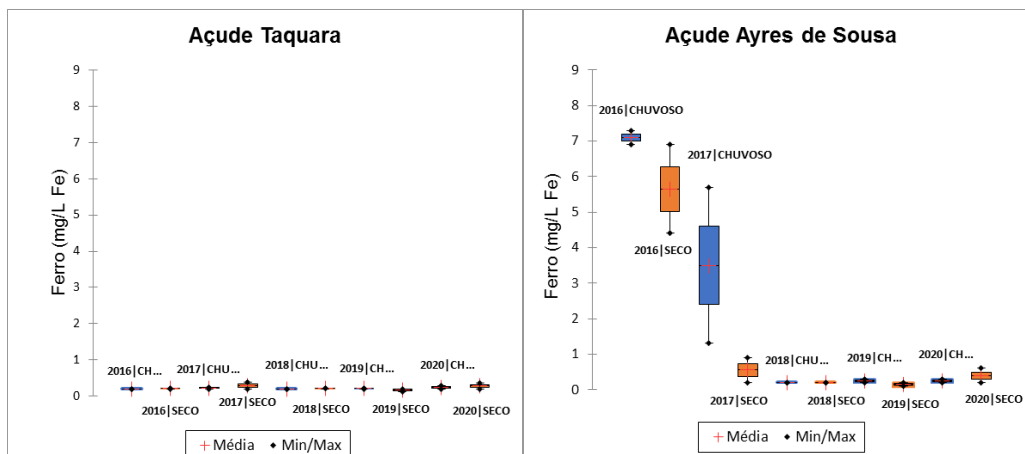


Fonte: Autor (2021)

Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, em ambientes lênticos, o valor de Nitrogênio Total não deve ultrapassar 1,27 mg/L, para águas doces Classe 2. Entretanto, os valores desse parâmetro mostraram-se acima do permitido pela legislação no açude Ayres de Sousa, nos anos de 2016 (chuvoso e seco), 2017 (seco) e 2019 (seco). Pontes et al. (2019) encontraram em seu estudo valores que ultrapassaram o permitido pela legislação, onde estes valores foram obtidos no período em que o volume do reservatório estava bastante reduzido.

Na Figura 13, observa-se que no açude Taquara teve maiores valores de ferro no período seco; já no Ayres de Sousa, de um modo geral, as maiores concentração foram obtidas no período chuvoso. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens (CETESB, 2009). Conforme a Resolução CONAMA 357/2005, os limites aceitos para o parâmetro de ferro para águas doces de Classe 2 devem ser menores que 0,3 mg/L Fe. Nas análises realizadas para as amostras da área de estudo o ferro apresentou teores maiores que 0,3 mg/L, no açude Taquara nos anos de 2017 (seco) e 2020 (seco); e no açude Ayres de Sousa nos anos de 2016 (seco e chuvoso), 2017 (seco e chuvoso) e 2020 (seco).

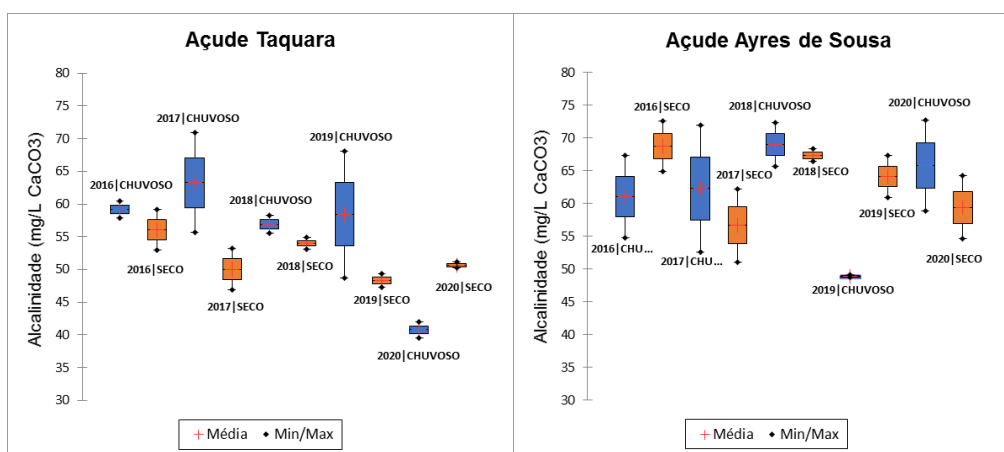
Figura 13 – Representação sazonal do ferro nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

De um modo geral, como visto na Figura 14, os dois açudes tiveram maiores concentrações no período chuvoso. A alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos. Esta capacidade depende de alguns compostos, principalmente bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos (ESTEVES, 1998). A alcalinidade, em referência aos reservatórios, é a capacidade que esses corpos hídricos têm de neutralizar possíveis chuvas ácidas precipitadas sobre eles (OLIVEIRA, 2013). Logo, com aumento de precipitações os valores de alcalinidade sofrerão aumento, que foi o caso dos dois açudes em estudo.

Figura 14 – Representação sazonal da alcalinidade nos açudes Taquara e Ayres de Sousa

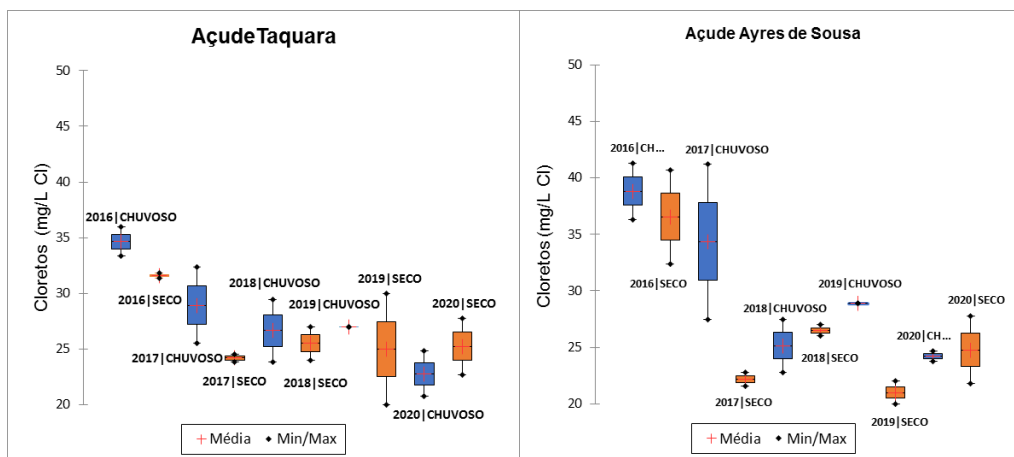


Fonte: Autor (2021)

As variações da variável cloreto são observadas na Figura 15, e as maiores concentrações foram obtidas no período chuvoso. Lima e Garcia (2008), estudando a qualidade da água do açude do Cajueiro e a barragem do João Ferreira (SE), encontram concentrações de

cloretos mais altas no período chuvoso, que variaram de 370 a 780mg/L e 60 a 320 mg/L, respectivamente.

Figura 15 – Representação sazonal do cloreto nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



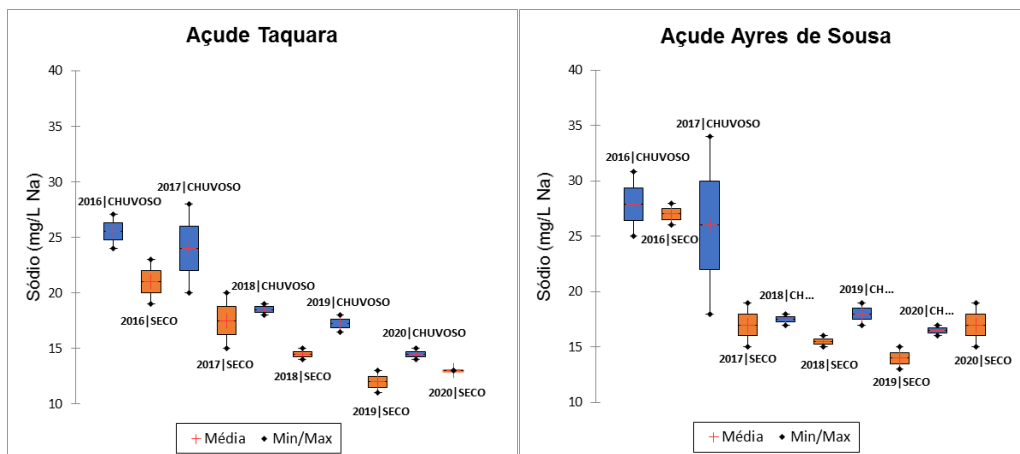
Fonte: Autor (2021)

De acordo Piratoba et al., (2017) o cloreto pode ter origem antrópica e geológica, sendo a lixiviação de rochas, esgotos domésticos e industriais a sua principal origem. Segundo o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, que é de até 250,00 mg/L, todas as concentrações de cloreto atenderam o valor máximo permitido.

Observa-se na Figura 16, todos os anos em estudo tiveram concentrações de sódio maiores no período chuvoso. Lima (2015) teve resultado semelhante em seu estudo, onde houve uma elevação na concentração de sódio no período chuvoso.

O sódio é um dos elementos mais abundantes na terra e seus sais são muito solúveis, por isso toda água natural contém sódio. Em corpos hídricos superficiais as concentrações de sódio são inferiores à 50 mg/L (LIMA e GARCIA, 2008). Observando as Tabelas 5 e 6 e a Figura 16, os valores máximos de cada ano não ultrapassaram à 50 mg/L. Segundo Piratoba et al. (2017) o sódio pode entrar nos corpos hídricos, por meio da lixiviação das rochas (fontes naturais) e por esgotos sanitários, efluentes industriais e/ou atividades agrícolas (fontes antrópicas).

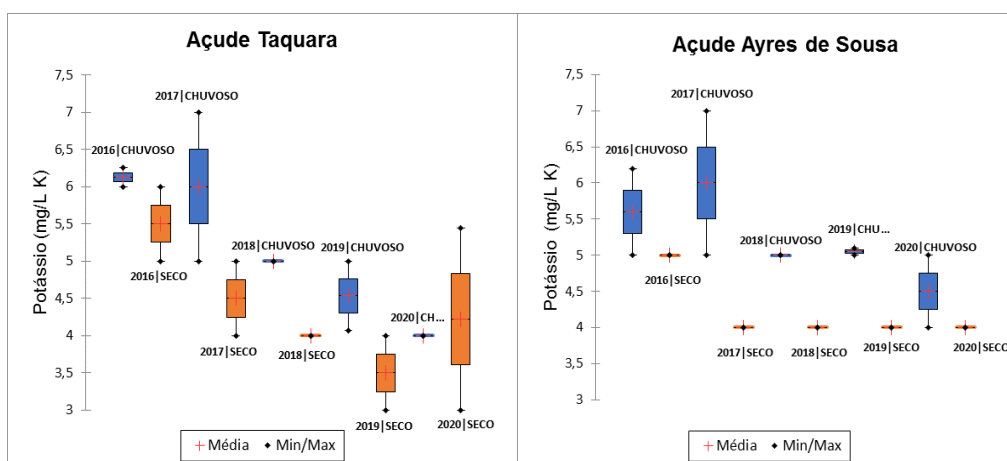
Figura 16 – Representação sazonal do sódio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

Como visto na Figura 17, o potássio apresentou maiores concentrações no período chuvoso. O potássio é um elemento que está em baixas concentrações nas águas naturais, sendo a lixiviação das rochas a sua principal fonte natural, entretanto a fonte antrópica é uma das suas fontes, visto que é um elemento utilizado na indústria e na agricultura (PIRATOBA et al, 2017). Segundo Lucas et al. (2014) as concentrações de potássio encontradas em corpos hídricos são baixas, pois rochas que contêm potássio são relativamente resistentes ao intemperismo. Segundo CETESB (2009) as concentrações de potássio em águas naturais são usualmente menores que 10 mg/L. Observando as Tabelas 5 e 6 e Figura 17, verifica-se que as maiores concentrações de potássio obtidas nos anos em estudo, foram menores que 10 mg/L.

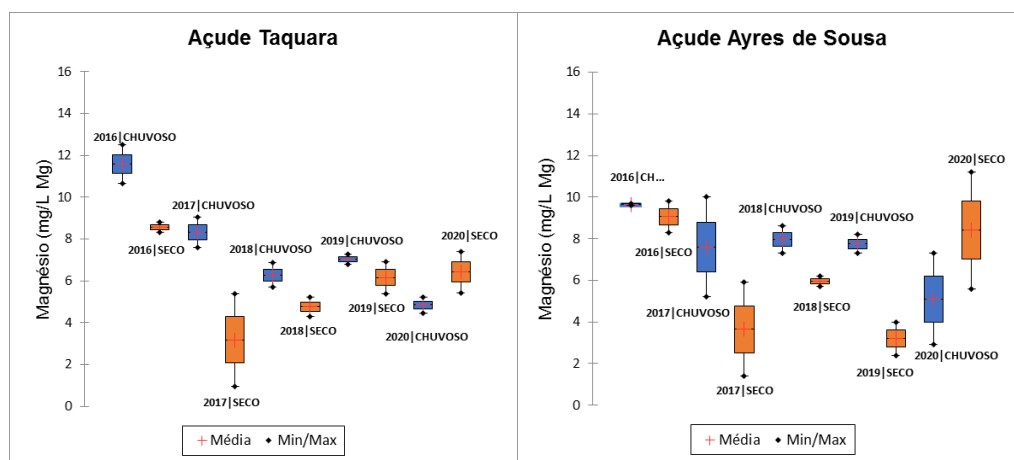
Figura 17 – Representação sazonal do potássio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

O magnésio é um elemento comum em águas naturais, tendo origem de rochas calcárias (LUCAS et al, 2014). A variável magnésio apresentou valores mais altos no período chuvoso, exceto no ano de 2020 nos açudes Taquara e Ayres de Sousa (Figura 18). Resultado divergente foi obtido por Lima (2015), onde as maiores concentrações de magnésio ocorreram durante a estiagem em todos os reservatórios, que é explicado pela diminuição do volume do reservatório que acarreta a uma maior concentração de sais de magnésio.

Figura 18 – Representação sazonal do magnésio nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

As variáveis químicas, de um modo geral, tiveram comportamento semelhante nos dois açudes nos períodos sazonais, porém as variáveis oxigênio dissolvido e ferro se mostraram diferentes nos dois reservatórios. Das variáveis analisadas, o oxigênio dissolvido e nitrogênio total não atenderam a Resolução CONAMA N° 357, situação que ocorreu somente no açude Ayres de Sousa. Já o fósforo total e ferro tiveram este comportamento comum aos dois reservatórios, entretanto com concentrações mais expressivas no Ayres de Sousa.

Na sub-bacia do rio Jaibaras são desenvolvidas atividades econômicas, que podem afetar diretamente a qualidade da água, que são: a agricultura mecanizada e de subsistência, a pecuária extensiva, e ainda, atividades turísticas nas áreas de nascentes e percurso do rio (LIMA, 2020). Ainda, Herculano (2020) verificou que o açude Ayres de Sousa se encontra com fontes de poluição ocasionadas por atividades antrópicas, devido à disposição inadequada do lixo e esgoto. Diante disso, pode se justificar concentrações expressivas de nutrientes nos dois açudes, como também a ocorrência de baixas concentrações de oxigênio dissolvido no Ayres de Sousa.

5.1.3 Análise Sazonal das Variáveis Biológicas nos Açudes: Clorofila “a”;

Cianobactérias e *E. coli*

Nas Tabelas 7 e 8 apresenta-se a análise descritiva das variáveis biológicas no período chuvoso e seco, respectivamente, para os açudes Ayres de Sousa e Taquara.

Tabela 7 - Estatística descritiva das variáveis biológicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período chuvoso dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020

		E. coli		Cianobactérias		Clorofila a	
Reservatório		AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ
2016	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	648,80	5,10	30294,00	365965,00	2,30	6,14
	Máximo	1203,30	8,50	41471,00	388529,00	6,90	7,37
	Mediana	926,05	6,80	35882,50	377247,00	4,60	6,76
	Média	926,05	6,80	35882,50	377247,00	4,60	6,76
	Variância	153735,13	5,78	62462664,50	254567048,00	10,58	0,76
	DP	392,09	2,40	7903,33	15955,16	3,25	0,87
2017	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	24,90	6,20	8357,00	5702,00	1,30	6,46
	Máximo	25,30	8,60	27856,00	18455,00	2,80	7,99
	Mediana	25,10	7,40	18106,50	12078,50	2,05	7,23
	Média	25,10	7,40	18106,50	12078,50	2,05	7,23
	Variância	0,08	2,88	190105500,50	81319504,50	1,13	1,17
	DP	0,28	1,70	13787,88	9017,73	1,06	1,08
2018	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	1,00	1,00	6480,00	696,00	11,90	5,61
	Máximo	1,00	1,00	29142,00	44223,00	19,59	5,61
	Mediana	1,00	1,00	17811,00	22459,50	15,75	5,61
	Média	1,00	1,00	17811,00	22459,50	15,75	5,61
	Variância	0,00	0,00	256783122,00	947299864,50	29,57	0,00
	DP	0,00	0,00	16024,45	30778,24	5,44	0,00
2019	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	2,00	3,10	46395,00	7187,00	25,90	4,78
	Máximo	15,00	5,20	67077,00	9849,00	26,80	7,34
	Mediana	8,50	4,15	56736,00	8518,00	26,35	6,06
	Média	8,50	4,15	56736,00	8518,00	26,35	6,06
	Variância	84,50	2,21	213872562,00	3543122,00	0,41	3,28
	DP	9,19	1,48	14624,38	1882,32	0,64	1,81
2020	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	1,00	1,00	117247,00	102646,00	14,80	12,45
	Máximo	6,20	6,30	612394,00	743302,00	19,60	16,48
	Mediana	3,60	3,65	364820,50	422974,00	17,20	14,47
	Média	3,60	3,65	364820,50	422974,00	17,20	14,47
	Variância	13,52	14,05	122585275804,50	205220055168,00	11,52	8,12
	DP	3,68	3,75	350121,80	453012,20	3,39	2,85

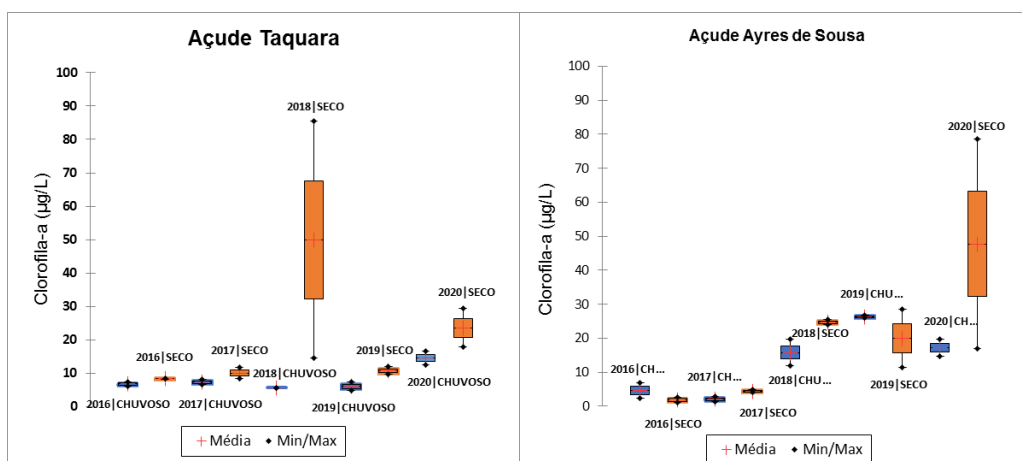
Tabela 8 - Estatística descritiva das variáveis biológicas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara no período seco dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020

		E. coli		Cianobactérias		Clorofila a	
Reservatório		AS	TAQ	AS	TAQ	AS	TAQ
2016	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	13,50	1,00	6739,00	48161,00	1,00	8,25
	Máximo	47,90	1,00	24364,00	87349,00	2,70	8,42
	Mediana	30,70	1,00	15551,50	67755,00	1,85	8,34
	Média	30,70	1,00	15551,50	67755,00	1,85	8,34
	Variância	591,68	0,00	155320312,50	767849672,00	1,45	0,01
	DP	24,32	0,00	12462,76	27710,10	1,20	0,12
2017	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	1,00	1,00	5184,00	12429,00	4,00	8,41
	Máximo	4,10	2,00	8035,00	18251,00	4,90	11,63
	Mediana	2,55	1,50	6609,50	15340,00	4,45	10,02
	Média	2,55	1,50	6609,50	15340,00	4,45	10,02
	Variância	4,81	0,50	4064100,50	16947842,00	0,41	5,18
	DP	2,19	0,71	2015,96	4116,78	0,64	2,28
2018	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	1,00	3,10	51580,00	24755,00	23,90	14,44
	Máximo	1,00	3,10	112122,00	41730,00	25,50	85,44
	Mediana	1,00	3,10	81851,00	33242,50	24,70	49,94
	Média	1,00	3,10	81851,00	33242,50	24,70	49,94
	Variância	0,00	0,00	1832666882,00	144075312,50	1,28	2520,50
	DP	0,00	0,00	42809,66	12003,14	1,13	50,20
2019	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	1,00	1,00	35542,00	17758,00	11,50	9,59
	Máximo	2,00	1,00	44342,10	55372,40	28,40	11,89
	Mediana	1,50	1,00	39942,05	36565,20	19,95	10,74
	Média	1,50	1,00	39942,05	36565,20	19,95	10,74
	Variância	0,50	0,00	38720880,01	707421543,68	142,81	2,65
	DP	0,71	0,00	6222,61	26597,40	11,95	1,63
2020	N	2	2	2	2	2	2
	Mínimo	1,00	1,00	174853,00	828251,00	17,00	17,74
	Máximo	1,00	1,00	1199901,00	957644,00	78,50	29,31
	Mediana	1,00	1,00	687377,00	892947,50	47,75	23,53
	Média	1,00	1,00	687377,00	892947,50	47,75	23,53
	Variância	0,00	0,00	525361701152,00	8371274224,50	1891,13	66,93
	DP	0,00	0,00	724818,39	91494,67	43,49	8,18

As variações sazonais das concentrações de clorofila “a” são observadas na Figura 19, onde as maiores concentrações foram registradas no período seco. Resultado similar foi encontrado por Buzelli et al., (2013), em que concentrações mais altas de clorofila a foram tidas no período de estiagem, nas águas do reservatório de Barra Bonita, São Paulo. Segundo Oliveira (2013), a clorofila a tem forte correlação com fator climático, onde se têm períodos com maior incidência solar, terá maiores valores de clorofila *a*. Sousa et al. (2020) avaliaram em reservatórios no semiárido valores mais elevados de clorofila *a*, em períodos em que as temperaturas são mais altas.

Conforme a Resolução CONAMA 357/2005, os limites aceitos para o parâmetro de clorofila *a* para águas doces de Classe 2 devem ser até 30 µg/L, como visto na Tabela 7 e 8, pode-se observar que os valores do referido parâmetro estão dentro dos padrões estabelecidos, na maioria das análises, com exceção do ano de 2018 no período seco no açude Taquara com médias de 40,94 µg/L e no ano de 2020 no período seco no açude Ayres de Sousa com médias de 47,75 µg/L. Resultado semelhante foi obtido por Pontes et al. (2019), onde concentrações de clorofila relativamente altas, foram obtidas no reservatório Paulo Sarasate-Ce, ultrapassando os valores definidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

Figura 19 – Representação sazonal da clorofila *a* nos açudes Taquara e Ayres de Sousa

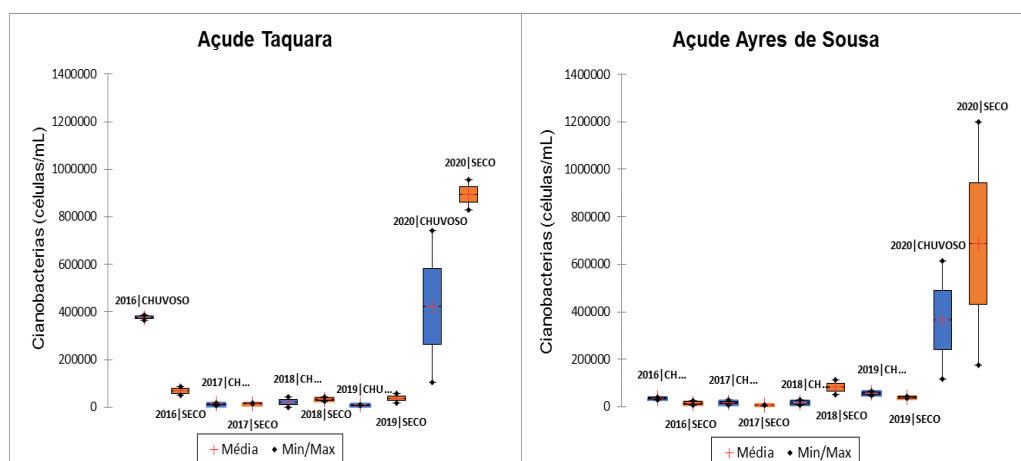


Fonte: Autor (2021)

Na Figura 20, observa-se o comportamento das cianobactérias sobre o efeito da sazonalidade. De um modo geral, o açude Taquara teve maiores valores no período seco, resultado similar foi obtido por Ferraz (2012), onde altas densidades de cianobactérias ocorreram no período de estiagem. Já no açude Ayres de Sousa, o período chuvoso caracterizou-se por concentrações relativamente maiores, quando comparado a estação seca.

Conforme a Resolução CONAMA 357/2005, os limites aceitos para o parâmetro de cianobactérias para águas doces de Classe 2 devem ser até 50000 cel/mL. Observando as Tabelas 7 e 8, verifica-se a partir da análise descritiva concentrações que não atenderam a legislação, as quais ocorreram nos seguintes períodos: açude Ayres de Sousa (2018-seco, 2019-chuvoso e 2020-seco e chuvoso) e açude Taquara (2016-seco e chuvoso, 2019-seco e 2020-seco e chuvoso). Pontes et al. (2019) em seu estudo no reservatório Paulo Sarasate, obtiveram concentrações de cianobactérias bastante expressiva, com médias 520.216 cel/mL no ano de 2016 e 108.343 cel/mL em 2017, ultrapassando a densidade permitida pela Resolução CONAMA 357/05.

Figura 20 – Representação sazonal das cianobactérias nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Autor (2021)

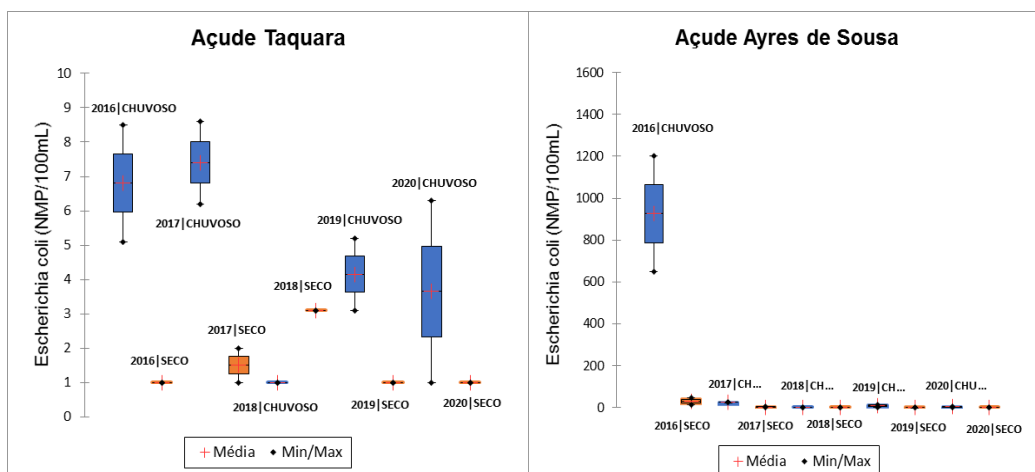
Fonte:

Segundo Buzelli et al., (2013) a concentração elevada de nutrientes no meio aquático, provenientes de lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, de efluentes agrícolas (defensivos e fertilizantes), bem como dos processos naturais, favorecem o desenvolvimento e proliferação de algas. O aumento das concentrações de cianobactérias em corpos hídricos, utilizados para abastecimento público se torna preocupante pela capacidade desses microorganismos produzirem e liberarem toxinas (cianotoxinas), as quais podem afetar a saúde humana, caso o tratamento da água não seja eficiente na remoção dessas toxinas.

Na Figura 21, observa-se o comportamento da *E. coli* sobre o efeito da sazonalidade. A *E. coli*, de um modo geral, apresentou concentrações maiores na estação chuvosa. Os coliformes termotolerantes são representados principalmente pela *Escherichia coli* e com os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 o valor máximo permitido é de 1000 NMP para 100 mL. Durante o período analisado para os açudes, como visto nas Tabelas 7 e 8, as concentrações

atenderam a resolução, exceto no ano de 2016 no açude Ayres de Sousa, onde teve um valor bem expressivo com o valor máximo de 1203,30 NMP/100 mL, que indica um provável lançamento de efluentes domésticos.

Figura 21 – Representação sazonal da *e. coli* nos açudes Taquara e Ayres de Sousa



Fonte: Autor (2021)

Segundo CETESB (2008) a presença de *E.coli* em corpos hídricos, indica contaminação de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros.

As variáveis clorofila *a* e *e.coli* teve comportamento semelhante no açude Taquara e Ayres de Sousa, no período chuvoso e seco; já a cianobactérias teve comportamento distinto, onde o açude Taquara teve maiores valores no período seco e o açude Ayres de Sousa no período chuvoso. As cianobactérias nos dois açudes não atenderam à resolução, de acordo com Herculano et al. (2020) o açude Ayres de Sousa em virtude dos impactos ambientais, teve acelerado processo de eutrofização que diz respeito ao acúmulo exagerado de nutrientes e resulta em um elevado número de cianobactérias, potencialmente tóxicas para a saúde humana.

Além disso, destaca-se a variável *E. coli* que mostrou valor bastante expressivo (Figura 21), no ano de 2016 no açude Ayres de Sousa. Segundo Herculano et al. (2020) o distrito Jaibaras, local onde está inserido o açude Ayres de Sousa, possui uma estrutura incompleta de saneamento básico, sendo composta por 50% de rede coletora de esgoto com ligações prediais, intradomiciliares e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); este cenário contribui que o esgoto não coletado seja despejado nas proximidades da bacia hidráulica do reservatório.

5.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

Primeiramente, os testes KaiserMeyer-Olkin (KMO) e de esfericidade de Bartlett foram aplicados a matriz de dados, para verificar a adequabilidade do conjunto de dados a análise fatorial. Para prosseguir com a análise, o valor aceitável do teste de adequacidade tem que ser ($KMO > 0,5$) de acordo com as orientações de Hair et al. (2009). Diante do critério atendido, indica-se a existência de correlações suficientes entre os parâmetros analisados, sendo possível prosseguir com a Análise de Componentes Principais.

Inicialmente, foram propostos um conjunto de parâmetros a serem analisados, os quais foram: condutividade elétrica, cálcio, cloretos, clorofila a, cianobactérias, cor, escherichia coli, ferro, fósforo total, magnésio, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, potássio, sódio, sólidos totais, transparência, turbidez e alcalinidade. Entretanto, foram necessárias algumas simulações com o objetivo de alcançar um resultado com KMO aceitável, seguindo classificação proposta por Hair et al. (2009). Por isso foi necessário excluir parâmetros com base nos valores de comunalidades e nos valores de Medida de Adequação da Amostra (*Measure of Sampling Adequacy* - MSA). No açude Taquara e Ayres de Sousa forma feitas várias simulações, nestas simulações foram considerados os valores de Medida de Adequação da Amostra (*Measure of Sampling Adequacy* - MSA) de cada variável da matriz de correlação anti-imagem, que foram valores superiores a 0,4 para cada variável, como também foram considerados apenas as variáveis com valores de comunalidades superiores a 0,6.

No açude Taquara, a primeira simulação obteve o valor 0,356 para o teste de (KMO), sendo este inaceitável para prosseguir com a análise, logo verificou-se os valores de Medida de Adequação da Amostra para cada variável na diagonal da matriz de correlação anti-imagem, onde retirou-se o valor de anti-imagem mais baixo, o ferro. Na segunda simulação o valor do índice (KMO) foi de 0,521, valor aceitável, porém alguns valores da matriz de correlação anti-imagem ficaram muito baixos, indicando ser necessária uma terceira simulação, na qual retirou-se o atributo mais baixo, o fósforo. A terceira simulação teve uma melhora no valor do índice (KMO) que foi de 0,589, porém realizou-se nova simulação por conta de valores baixos na matriz de correlação, excluindo-se o pH. Na quarta simulação o valor de KMO aumentou para 0,656, além disso os valores da matriz de correlação anti-imagem foram superiores a 0,4, os valores de comunalidades em todas as simulações não foram inferiores a 0,6 e os testes estatísticos de esfericidade de Bartlett continuaram significativos a $p < 0,01$ (Tabela 9).

No açude Ayres de Sousa, na primeira simulação o valor do índice (KMO) foi de 0,551, valor aceitável, porém alguns valores da matriz de correlação anti-imagem ficaram muito

baixos, na qual retirou-se o atributo mais baixo, a alcalinidade. A segunda simulação teve uma melhora no valor do índice (KMO) que foi de 0,562, porém teve-se que fazer uma nova simulação por conta de valores baixos na matriz de correlação, excluindo-se o cálcio. Na terceira simulação o valor de KMO aumentou para 0,599, os valores da matriz de correlação anti-imagem foram superiores a 0,4, os valores de comunalidades em todas as simulações não foram inferiores a 0,6 e os testes estatísticos de esfericidade de Bartlett continuaram significativos a $p < 0,01$ (Tabela 10).

O teste de adequacidade (KMO), aplicado ao conjunto de dados apresentou um índice igual a 0,656, para o açude Taquara (Tabela 9), e 0,599 para o açude Ayres de Sousa (Tabela 10).

Tabela 9 - Testes KMO e de Bartlett aplicados a matriz de dados do açude Taquara

Teste de adequacidade de Kaiser-Meyer-Olkin		0,656
Qui-quadrado aproximado		194,145
Teste de esfericidade de Barlett	df	120
	Sig.	0,000

Fonte: Autor (2021)

Tabela 10 - Testes KMO e de Bartlett aplicado a matriz de dados do açude Ayres de Sousa

Teste de adequacidade de Kaiser-Meyer-Olkin		0,599
Qui-quadrado aproximado		375,257
Teste de esfericidade de Barlett	df	136
	Sig.	0,000

Fonte: Autor (2021)

A associação entre as variáveis analisadas, que influenciam a qualidade das águas dos açudes Ayres de Sousa e Taquara foi determinada por meio da técnica estatística multivariada, a Análise de Componentes Principais (ACP). A matriz de correlação possibilitou identificar quais variáveis estão correlacionadas, bem como identificar as variáveis de maior relevância que estão afetando a qualidade da água. Apresenta-se a seguir os resultados referente a ACP dos açudes estudados.

5.2.1 Açude Ayres de Sousa (Análise de Componentes Principais - ACP)

Na Tabela 11, observa-se a matriz de correlação com as 16 variáveis em estudo, das quais 15 mostraram-se significativas com coeficiente de correlação ($r > 0,5$), que conforme Helena et al., (2000) o coeficiente de correlação superior a 0,5 expressa uma forte relação.

A matriz mostra que a condutividade elétrica teve forte correlação com cloreto, sódio, ferro, turbidez, sólidos totais e magnésio. Segundo Buzelli et al., (2013) a condutividade elétrica tem correlação com a presença de íons dissolvidos no meio aquoso. Os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos (LIMA E GARCIA, 2008). Logo, se justifica a forte correlação entre as variáveis.

Turbidez se correlacionou fortemente com sólidos totais ($r = 0,96$), o que já era esperado, pois o aumento da turbidez se dá devido à presença de sólidos em suspensão (areia, silte, argila), o que justifica a correlação forte entre ambos.

Ferro apresentou correlação forte com sólidos totais ($r = 0,968$) e turbidez ($r = 0,968$). Segundo CETESB (2009) o aumento do ferro nas águas superficiais ocorre devido à ação do escoamento superficial que carrega sólidos e a ocorrência de processos de erosão das margens dos mananciais, outra fonte seria os lançamentos de efluentes industriais.

A variável transparência apresentou correlação inversamente proporcional com condutividade elétrica, cloreto, *e. coli*, magnésio, fósforo total, ferro, sódio, potássio, sólidos totais e turbidez. Logo, com os aumentos das concentrações de sais e sólidos no corpo hídrico, consequentemente a transparência sofrerá diminuição.

Tabela 11 - Matriz de correlação das variáveis físico-químicas e biológicas do açude Ayres de Sousa

	CE	Cl	Clorofila a	Cianob.	Cor	E. coli	Fe	PT	Mg	NT	OD	pH	K	Na	ST	Transp.	Turb.
CE	1,000																
Cl	0,898	1,000															
Clorofila a	-,349	-,263	1,000														
Cianob.	-0,234	-,135	,821	1,000													
Cor	-,154	0,078	-,275	-,178	1,000												
E. coli	,454	,564	-,216	-,120	,129	1,000											
Fe	,813	,896	-,459	-,240	,164	,652	1,000										
PT	,659	,710	-,293	-,216	,206	,648	,709	1,000									
Mg	,711	,733	,157	,176	-,176	,348	,552	,307	1,000								
NT	,451	,449	-,315	-,163	-,061	,510	,600	,323	,212	1,000							
OD	,250	,094	,574	,513	-,745	-,067	-,089	-,067	,414	,099	1,000						
pH	,264	,057	,185	,209	-,561	,006	-,062	-,004	,269	,062	,730	1,000					
K	,787	,779	-,367	-,210	,058	,443	,649	,773	,507	,200	,083	,273	1,000				
Na	,846	,910	-,355	-,131	,148	,532	,886	,763	,617	,427	,043	,061	,826	1,000			
ST	,870	,929	-,350	-,213	,022	,708	,950	,732	,631	,610	,078	,094	,725	,898	1,000		
Transp.	-,754	-,884	,142	,065	-,027	-,523	-,810	-,689	-,648	-,265	-,096	,022	-,657	-,762	-,804	1,000	
Turb.	,807	,896	-,382	-,212	,113	,783	,968	,732	,563	,660	-,021	-,014	,648	,840	,966	-,808	1,000

Fonte: Autor (2021)

Legenda: CE = condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); CL = cloretos (mg/L); Cianob. = Cianobactérias (cel/mL); *E. coli* = *Escherichia coli* (NMP/100 mL); Fe = ferro (mg/L); PT = fósforo total (mg/L); Mg = Magnésio (mg/L); NT = nitrogênio total (mg/L); OD = oxigênio dissolvido (mg/L); pH = potencial hidrogeniônico; K = potássio (mg/L); Na = sódio (mg/L); ST = sólidos totais (mg/L); Trasp. = Transparência (m); Turb = turbidez (uT)

O cloreto teve correlação forte com *E. coli*, ferro, magnésio, sódio, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Segundo Sperling (2005) o cloreto é oriundo da dissolução de sais sendo resultado do intemperismo das rochas ou de dejetos presentes nos efluentes domésticos. A correlação com *E. coli* e fósforo total pode ser justificada pelo fato de as variáveis serem oriundas de efluentes domésticos lançados no corpo hídrico.

A cianobactérias teve forte correlação com clorofila *a* ($r = 0,82$), segundo Ferraz (2012) todos os grupos de algas, inclusive as cianobactérias possuem clorofila *a*, sendo este um indicativo da concentração e na produção primária de algas no ambiente. Fernandes et al., (2005) avaliaram em seu estudo no reservatório do Iraí no estado do Paraná, que houve uma correlação significativa entre clorofila *a* e cianobactérias.

Posteriormente, obteve-se a matriz de extração de fatores de cada componente, em que se observa na Tabela 12 os resultados dos autovalores, porcentagem de variância e variância acumulada. Na definição do número de componentes utilizou-se o critério da raiz latente, em que se considera apenas o autovalor superior a um (NORUSIS, 1990), neste caso foram considerados quatro componentes principais.

Na Tabela 12 observa-se a matriz de componentes não rotacionada do açude Ayres de Sousa, o qual foi selecionado quatro componentes que explicaram 85,56% da variância total dos dados. Nesta matriz, são expressas a associação entres os fatores e as variáveis, como também é possível identificar as variáveis com relação mais significativa em cada componente.

Na primeira componente (CP1), as variáveis sólidos totais, cloretos, turbidez, ferro, sódio, potássio e fósforo total apresentaram peso maior que 0,8, que indica que tais variáveis são as mais significativas nesta componente. A variável transparência também se mostrou significativa, a qual teve comportamento contrário ao da CP1, em que a diminuição da transparência está relacionada com a presença de carga sólida no corpo hídrico. A CP1 é explicada pela ação do escoamento superficial, devido a representação da carga sólida e a presença de sais dissolvidos na água.

A segunda componente (CP2) apresentou as variáveis oxigênio dissolvido, pH, clorofila *a* e cianobactérias com peso maior que 0,6, esta componente representa a presença de matéria orgânica no corpo hídrico. Já a terceira componente (CP3) é explicada, principalmente, pelas variáveis clorofila *a* e cianobactérias (peso > 0,5).

Tabela 12 – Matriz fatorial do açude Ayres de Sousa

Variáveis	Matriz de Componentes				Comunalidades
	1	2	3	4	
Sólidos Totais	,975				,966
Turbidez	,959				,982
Cloretos	,957				,947
Ferro	,950				,937
Sódio	,930				,894
C. Elética	,905				,921
Transparência	-,850				,815
Potássio	,807			-,441	,858
Fósforo Total	,803				,690
E. coli	,697			,408	,671
Magnésio	,650	,489			,721
OD		,955			,940
Cor		-,724	,485		,773
pH		,721	-,468		,762
Clorofila-a	-,395	,685	,547		,935
Cianobactérias		,649	,592		,856
Nitrogênio Total	,554			,699	,877
Autovalor	8,834	3,192	1,407	1,113	
% da variância	51,962	18,776	8,275	6,548	
% da variância cumulativa	51,962	70,738	79,013	85,561	

Fonte: Autor (2021)

Na ACP4, a variável nitrogênio foi a única que mostrou comportamento significativo (peso > 0,6), a presença de nitrogênio total é um indicativo de contaminação por atividades agrícolas e/ou lançamentos de efluentes domésticos.

A matriz de componentes principais apresenta um fator que torna de difícil interpretação, que é a existência de cargas cruzadas, onde uma mesma variável tem valor significativo em mais de um componente, como é o caso das variáveis clorofila a e cianobactérias que têm peso significante nas CP2 e CP3.

Diante disso, aplicou-se a rotação na matriz por meio do algoritmo Varimax, com o intuito de facilitar a interpretação da matriz. Este método vem sendo bastante utilizado em trabalhos como os de Andrade et al. (2007), Palácio et al. (2011), Figueiredo (2012). Na Tabela 13 apresenta-se a matriz de dados rotacionada pelo método Varimax.

Tabela 13 – Matriz fatorial rotacionada do açude Ayres de Sousa

Variáveis	Matriz de Componentes Rotacionada				Comunalidades
	1	2	3	4	
Cloretos	,943				,966
Sódio	,919				,982
Transparência	-,886				,947
Potássio	,873				,937
C. Elétrica	,870				,894
Sólidos Totais	,856			,464	,921
Ferro	,822			,467	,815
Turbidez	,802			,566	,858
Fósforo Total	,784				,690
Magnésio	,734		,318		,671
Cor		-,864			,721
pH		,862			,940
OD		,849	,455		,773
Cianobactérias			,908		,762
Clorofila-a			,906		,935
Nitrogênio Total				,886	,856
E. coli	,516			,620	,877
Autovalor	7,642	2,540	2,204	2,160	
% da variância	44,955	14,940	12,962	12,703	
% da variância cumulativa	44,955	59,895	72,857	85,561	

Fonte: Autor (2021)

Com a aplicação da rotação Varimax houve uma redistribuição da variância, onde as variáveis se agruparam de forma mais equilibrada e distribuída, bem como não teve variáveis com valores significativos em mais de um fator, o que facilita a interpretação dos dados da matriz.

Na Tabela 13, a partir dos valores apresentados das comunalidades das variáveis, pode-se observar como o modelo explica as variáveis originais, pois a comunalidade expressa a variância referente a cada variável. Nota-se que os parâmetros cloreto, sódio, transparência, potássio, sólidos totais, pH e clorofila *a* tiveram valores de comunalidades superiores a 0,900, que explica mais de 90% da variância contida em cada variável.

Observa-se na Tabela 3 os pesos dos fatores da matriz rotacionada, que expressa a relação entre fatores e variáveis (parâmetros) do açude Ayres de Sousa, bem como os resultados dos autovalores, porcentagem de variância da primeira componente (CP1), segunda componente (CP2), terceira componente (CP3) e quarta componente (CP4) que são

respectivamente 44,95%, 14,90%, 12,96% e 12,70%, totalizando 85,56% da variância acumulada.

Semelhante a este resultado, em que Rocha et al. (2014) estudando as alterações limnológicas de um manancial em Juiz de Fora e Pastro et al. (2020) no estudo das características físico-químicas de microbacias em Espírito Santo, obtiveram quatro componentes principais.

Na CP1, as variáveis mais significativas foram cloretos, sódio, condutividade elétrica, potássio, sólidos totais, turbidez, ferro, fósforo total e magnésio (peso > 0,7), esta componente está associado a sais dissolvidos na água, resultado semelhante encontrado por Plácido et al. (2011) que relata em seu estudo valores significativo das variáveis (sódio, magnésio, cloreto e condutividade elétrica) na primeira componente, que segundo os autores o cenário pode ser oriundo de fontes naturais, como também de fontes não naturais (esgotos domésticos). Andrade et al. (2007) também expuseram em sua pesquisa a ocorrência de sais na primeira componente, e relacionou estas variáveis com o processo natural de intemperismo dos componentes geológicos do solo.

A CP2 é explicada pelas variáveis pH e oxigênio dissolvido, todas com peso maior que 0,8. Esta componente foi associada à carga orgânica, em que mostra o impacto ocasionado ao corpo hídrico pelo aporte de matéria orgânica que provoca uma depleção significativa do oxigênio dissolvido da água, trazendo sérios problemas ambientais. O oxigênio dissolvido (OD) é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas, decorrentes de despejos orgânico.

Segundo Arruda (2014) a atividade intensa de uma comunidade fitoplancônica, em um evento de floração, demanda dióxido de carbono da água para a fotossíntese, o que ocasiona o aumento do pH da água, e durante o processo de fotossíntese também ocorre o aumento da concentração de OD. Logo, pode-se justificar a correlação entre as variáveis nesta componente.

A terceira componente (CP3) é representada pelas variáveis clorofila a e cianobactérias (peso > 0,9). Segundo Arruda (2014) a clorofila é um pigmento que existe em todas as algas fotossintetizantes; daí a correlação forte entre as variáveis.

Segundo Girão (2006) a prática da piscicultura em tanques-redes no açude Ayres de Sousa, contribui para os processos de eutrofização da água devido a ração não consumida, propiciando a proliferação de cianobactérias, o que pode causar sérios riscos à saúde humana.

O crescimento excessivo de cianobactérias em um corpo hídrico é indicativo de eutrofização. Outras fontes que contribui para o processo de eutrofização, segundo Feitosa (2011) são os despejos de esgoto domésticos, despejos dos resíduos animais in natura, efluentes

industriais e lixões rurais, outra prática seria a lavagem de roupa na beira do açude, estas são práticas comumente adotadas que contribuem para o processo de eutrofização.

Segundo Herculano et al. (2020) o açude Ayres de Sousa possui fontes de poluição ocasionadas, principalmente, pela ação antrópica devido à disposição inadequada do lixo e esgoto. Além destes impactos, a lavagem de roupa suja na beira do açude, possivelmente, pode ser uma atividade recorrente da população que mora próximo as margens.

A quarta componente (CP4) é representada pela variável de nitrogênio total (peso > 0,8), o que indica a contaminação por esgotos domésticos ou por efluentes agrícolas (defensivos e fertilizantes), bem como pela variável E. Coli (peso > 0,6), que é indicativa de contaminação fecal por lançamentos de esgotos domésticos e/ou excrementos de animais. Essa componente expressa a ocorrência de poluição difusa, tais como o escoamento superficial em áreas agrícolas, como também o carreamento de excrementos de animais criados em torno do açude; outra fonte seria os despejos de efluentes domésticos recentemente sem tratamento.

Segundo Herculano et al. (2020) no distrito de Jaibaras aconteceu construções irregulares às margens do açude Ayres de Sousa, algumas destas residências, que são construídas em terrenos negociados ilegalmente não possuem saneamento básico e isso interfere diretamente na qualidade da água do reservatório, que é alimentado também pelo escoamento superficial das águas que banham a área urbana em períodos chuvosos.

O modelo aplicado mostrou que para a primeira componente, foram significativos os parâmetros relacionados com os sais dissolvidos na água; para a segunda, os maiores pesos foram atribuídos a contaminação por matéria orgânica; enquanto, para a terceira, os elementos relacionados com a eutrofização apresentaram maior significância e, para a quarta, os maiores pesos foram atribuídos a variáveis que são indicativas de contaminação fecal.

5.2.2 Açude Taquara (Análise de Componentes Principais (ACP))

Na Tabela 14, observa-se a matriz de correlação do açude Taquara, com as 16 variáveis em estudo, das quais 13 mostraram-se significativas com coeficiente de correlação ($r > 0,5$).

A condutividade elétrica se correlaciona positivamente com magnésio, potássio, sódio e alcalinidade. A condutividade elétrica está relacionada com a concentração iônica da solução. Os íons mais comumente associados à alteração da condutividade elétrica na água são o cálcio, o magnésio e o sódio (VON SPERLING, 2005). Bertossi et al. (2013) e Andrade et al. (2007) encontraram em seus estudos correlação significativa entre condutividade, sódio e magnésio.

Cianobactérias e turbidez ($r=0,738$) possuem forte correlação, segundo CETESBE (2009) outra causa do aumento da turbidez se dá pela presença de detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral.

A variável transparência apresentou correlação inversamente proporcional com turbidez ($r = -0,811$). Logo, com o aumento da concentração de sólidos em suspensão no corpo hídrico, consequentemente a transparência sofrerá diminuição.

Tabela 14 - Matriz de correlação das variáveis físico-químicas e biológicas do açude Taquara

	CE	Ca	Cl	Clorofila a	Cianob.	Cor	E. coli	Mg	NT	OD	K	Sódio	ST	Transp.	Turb.	Alcalin.
CE	1,000															
Ca	-,274	1,000														
Cl	,686	-,383	1,000													
Clorofila a	-,282	,448	-,311	1,000												
Cianob.	-,222	,205	,019	,099	1,000											
Cor	-,355	-,144	-,316	,376	-,112	1,000										
E. coli	,439	-,240	,341	-,110	,057	-,133	1,000									
Mg	,617	-,465	,748	-,294	,116	-,213	,472	1,000								
NT	-,080	-,080	-,218	,083	-,037	,363	-,380	-,236	1,000							
OD	,010	,557	,032	,175	,555	-,329	-,206	,059	-,075	1,000						
K	,767	-,379	,783	-,331	-,059	-,304	,384	,518	-,098	-,062	1,000					
Sódio	,833	-,543	,753	-,314	-,190	-,214	,513	,596	-,100	-,213	,896	1,000				
ST	,412	-,284	,432	,019	,086	-,214	,313	,370	-,338	-,003	,426	,535	1,000			
Transp.	,308	-,537	,165	-,480	-,548	,075	,144	,232	,015	-,468	,221	,355	-,121	1,000		
Turb.	-,543	,489	-,327	,345	,738	,017	-,252	-,216	-,030	,578	-,507	-,611	,039	-,811	1,000	
Alcalin.	,618	-,212	,610	-,174	-,254	-,126	,372	,570	-,117	-,053	,533	,602	,297	,321	-,406	1,000

Fonte: Autor (2021)

Legenda: CE = condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); CL = cloretos (mg/L); Cianob. = Cianobactérias (cel/mL); E. coli = *Escherichia coli* (NMP/100 mL); Fe = ferro (mg/L); PT = fósforo total (mg/L); Mg = Magnésio (mg/L); NT = nitrogênio total (mg/L); OD = oxigênio dissolvido (mg/L); pH = potencial hidrogeniônico; K = potássio (mg/L); Na = sódio (mg/L); ST = sólidos totais (mg/L); Trasp. = Transparência (m); Turb = turbidez (uT)

Posteriormente, obteve-se a matriz de extração de fatores de cada componente. Na Tabela 15 observa-se os resultados dos autovalores, porcentagem de variância da primeira componente (CP1), segunda componente (CP2), terceira componente (CP3) e quarta componente (CP4) e da quinta componente (CP5) que são respectivamente 38,13%, 18,47%, 8,27%, 7,52% e 7,16%. Neste modelo foram considerados cinco componentes principais, que explicaram 79,57% da variância total dos dados.

Tabela 15 – Matriz fatorial do açude Taquara

Variáveis	Matriz de Componentes					Comunalidades
	1	2	3	4	5	
Sódio	,927					0,905
C. Elétrica	,843					0,854
Potássio	,836					0,797
Cloretos	,805	,344				0,803
Magnésio	,724	,328				0,701
Alcalinidade	,703					0,628
Turbidez	-,695	,622				0,946
Cálcio	-,609	,376			,558	0,895
E. coli	,548			-,454		0,616
Sólidos Totais	,465	,437	,387			0,611
OD		,737		,326		0,816
Cianobactérias		,711			-,495	0,855
Transparência	,532	-,659				0,784
Cor		-,484	,678			0,8
Clorofila a	-,473		,588		,515	0,87
Nitrogênio Total		-,374		,773		0,851
Autovalor	6,102	2,956	1,323	1,205	1,146	
% da variância	38,139	18,475	8,272	7,529	7,160	
% da variância cumulativa	38,139	56,614	64,885	72,414	79,575	

Considerando os dados na matriz fatorial do açude Taquara, verifica-se variáveis com valores significativos em componentes distintas, que é o caso da variável turbidez (CP1 e CP2), transparência (CP1 e CP2), clorofila a (CP3 e CP5) e cálcio (CP1 e CP5). Além disso, segundo Plácido et al. (2011) outro fator que dificulta a interpretação dos dados, é a decorrência de valores muito próximos entre si que estejam provavelmente em uma única componente, que é o cenário da CP1 que possui variáveis com valores bem próximos.

Para melhorar a interpretação dos dados da matriz, foi extraído novas componentes principais rotacionada por meio do algoritmo Varimax.

Tabela 16 – Matriz fatorial rotacionada do açude Taquara

Variáveis	Matriz de Componentes Rotacionada					Comunalidades
	1	2	3	4	5	
Sódio	,888					0,905
C. Elétrica	,874					0,854
Potássio	,870					0,797
Cloretos	,861					0,803
Alcalinidade	,732					0,701
Magnésio	,728					0,628
Sólidos Totais	,522			,480		0,946
Cianobactérias		,920				0,895
Turbidez	-,390	,856				0,616
Transparência		-,716			-,402	0,611
Cálcio	-,346		-,785		,349	0,816
OD		,615	-,643			0,855
Cor			,590	-,318	,525	0,784
Nitrog. Total				-,891		0,8
E.coli	,414			,623		0,87
Clorofila-a					,892	0,851
Autovalor	4,967	2,816	1,726	1,624	1,600	
% da variância	31,041	17,600	10,788	10,147	9,999	
% da variância cumulativa	31,041	48,641	59,428	69,575	79,575	

Fonte: Autor (2021)

A partir dos valores apresentados das comunalidades das variáveis (Tabela 16), pode-se observar como o modelo explica as variáveis originais. Verifica-se que os parâmetros sódio e sólidos totais tiveram valores de comunalidades superiores a 0,900, que explica mais de 90% da variância contida em cada variável.

Na Tabela 16 observa-se os pesos dos fatores da matriz rotacionada, que expressa a relação entre fatores e variáveis (parâmetros) do açude Taquara, bem como os resultados dos autovalores, porcentagem de variância da primeira componente (CP1), segunda componente (CP2), terceira componente (CP3) e quarta componente (CP4) e da quinta componente (CP5) que são respectivamente 31,04%, 17,60%, 10,78%, 10,14% e 9,99%, totalizando 79,57% da

variância total dos dados. Com a aplicação da rotação houve uma pouca melhora na redistribuição das variáveis, o que facilitou a interpretação dos dados.

A primeira componente (CP1) foi explicada pelas variáveis sódio, potássio, condutividade elétrica, cloretos, alcalinidade, magnésio e sólidos totais (peso > 0,5). Sousa (2017) em sua pesquisa na Sub-bacia do Baixo Curu, encontrou na primeira componente as variáveis condutividade elétrica, sódio, magnésio, cloreto, alcalinidade, sólidos totais dissolvido. Este cenário foi similar ao estudo de Andrade et al., (2007) que explica a relação da ocorrência de sais com o processo natural de intemperismo dos componentes geológicos do solo, Plácido et al. (2011) também cita que este cenário também pode ser oriundo de fontes não naturais (esgotos domésticos). Girão et al. (2007) também encontraram em seu estudo como primeira componente principal a mineralização das águas. Tais resultados são semelhantes ao encontrado no açude Ayres de Sousa.

Já a segunda componente (CP2) é representada pelas variáveis turbidez, cianobactérias e OD, sendo turbidez e cianobactérias as mais representativas (peso > 0,8). Tal cenário, possivelmente, está relacionado com a turbidez biogênica, devido a ocorrência de eventuais florações, que impedem entrada de luz na subsuperfície da água. Com a elevação da densidade do fitoplâncton, durante o dia, ocorre também a elevação na concentração de OD, advindo do processo de fotossíntese (ARRUDA et al, 2015).

O estado trófico de um corpo hídrico é classificado quanto ao enriquecimento por nutrientes e ao crescimento excessivo das algas. Segundo Feitosa (2011), em reservatórios do nordeste, por estar submetido a evaporação intensa, concentração de sais e compostos de fósforo e de nitrogênio, alto tempo de residência da água nos açudes e alta insolação, acelera a eutrofização e colabora para a proliferação das algas.

Lima (2020) citou que na sub-bacia no açude Taquara acontecem atividades agrícolas, bem como esgotos domésticos e resíduos sólidos são lançados em meio aos espelhos hídricos. Este cenário que o referido autor identificou, colabora para o enriquecimento de nutrientes no reservatório, que contribui para o crescimento de algas.

A terceira componente (CP3) é atribuída a variável cor que apresentou correlação positiva com a componente (peso > 0,5), e as variáveis cálcio e OD que apresentaram correlação negativa. As correlações negativas de cálcio e OD indicam que estas variáveis possuem comportamento distinto da variável cor.

A cor é uma característica física da água devido à existência de substâncias dissolvidas, ou em estado coloidal, na maioria dos casos de natureza orgânica (PIRATOBA et al. 2017). Dentre as substâncias orgânicas, pode-se citar os esgotos domésticos, que se caracterizam por

apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal, como também efluentes industriais (CETESB, 2009).

A quarta componente (CP4) é atribuída a variável *E. coli*. A presença dessa variável indica que o corpo hídrico sofre contaminação orgânica, possivelmente por descargas orgânicas de efluentes domésticos. A quinta componente (CP5) são representadas pelas variáveis clorofila *a* e cor verdadeira, e de acordo com CETESB (2009) a clorofila *a* é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos. Em geral, estas duas componentes estão associadas ao uso e ocupação do solo, e a contaminação do corpo hídrico por matéria orgânica.

CEARÁ (2015), afirma que os municípios Graça e Mucambo encontram-se bem próximo aos cursos fluviais que deságuam na barragem possuem taxa de cobertura urbana de esgotamento sanitário de 24,05% e de 29,03% em 2015, respectivamente. O restante dos domicílios que não possuem esgotamento sanitário utiliza fossas sépticas e fossas rudimentares, situação que contribui para a degradação do corpo hídrico, já que a taxa mais expressiva não possui esgotamento sanitário.

O modelo aplicado mostrou que para a primeira componente, foram significativos os parâmetros relacionados com os sais dissolvidos na água; enquanto, para a segunda os elementos relacionados com a eutrofização apresentaram maior significância, e para a terceira, quarta e quinta componente, foram atribuídas a poluição por matéria orgânica.

5.3 A Análise Hierárquica de Agrupamentos (AAH)

A aplicação da Análise Hierárquica de Agrupamentos (AAH) teve por objetivo observar a similaridade dos açudes Taquara e Ayres de Sousa, e obter informações sobre o efeito da sazonalidade, sobre os parâmetros em análise e as possíveis fontes que a originaram.

Nesta análise foram utilizados os parâmetros mais significativos, em comum aos dois açudes, que foram obtidos da primeira e segunda componente da análise de componentes principais (ACP), os quais se mostraram com maior influência na qualidade dos açudes, que foram: sódio, condutividade elétrica, cloretos, magnésio, sólidos totais, turbidez, oxigênio dissolvido e transparência.

Os dados dos parâmetros consistem entre os anos de 2016 e 2020, em que foram realizadas quatro coletas em cada ano, duas no primeiro semestre (período chuvoso) e duas no segundo semestre (período seco), totalizando 20 observações para cada açude. Para a construção da base de dados para aplicação da AAH, observou-se que houve algumas coletas

dos açudes Taquara e Ayres de Sousa em dias e meses distintos, o que poderia afetar a representatividade do efeito da sazonalidade, então foi realizada uma média para o período chuvoso e período seco para cada ano em estudo. A base de dados foi construída com as coletas identificadas pelo nome do açude, com o respectivo período como linhas (casos) e os parâmetros como colunas (variáveis).

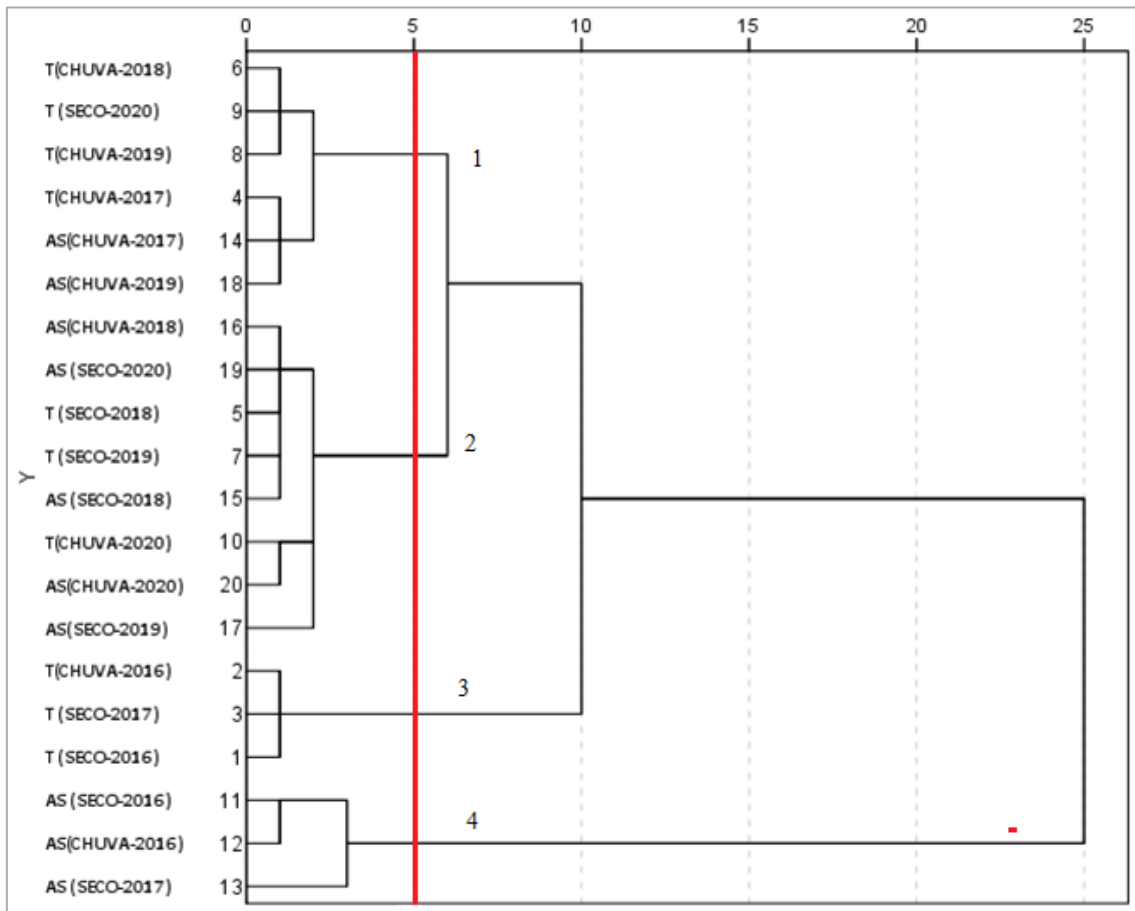
A análise de agrupamento hierárquico gerou o dendrograma da Figura 22, em que o ponto de corte ideal da distância é entre 4,72 e 6,13, já que a partir desse valor, existe um maior distanciamento da medida de similaridade para a formação de outros grupos, sendo o ponto de corte em torno do valor 5 para o dendrograma, obtendo-se 4 grupos.

Na Figura 22, verifica-se a distribuição das coletas dos açudes Taquara e Ayres de Sousa nos períodos sazonais. O grupo 1 foi composto por 6 coletas, o segundo mais representativo com 30% das amostras, este grupo indica que os açudes Taquara e Ayres de Sousa tiveram semelhança na qualidade, bem como é representado em sua maioria por coletas no período chuvoso; o grupo 2 foi composto por 8 coletas, o primeiro mais representativo com 40% das amostras, este grupo também indica que os açudes Taquara e Ayres de Sousa tiveram semelhança na qualidade; o grupo 3 formou-se com 3 coletas, com 15% do quantitativo total, que foi constituído apenas por coletas do açude Taquara; o grupo 4 como 15% das coletas, que agrupou somente coletas do açude Ayres de Sousa.

Bertossi et al. (2013) ao avaliar a similaridade da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Horizonte, situada no município de Alegre (ES), por meio da Análise de Agrupamento Hierárquico foram formados quatro grupos distintos de qualidade da água que diferiram quanto à concentração das características físico-químicas. Palácio et al. (2011), ao avaliar a semelhança das águas superficiais do Ceará através da análise de agrupamento hierárquico, também encontraram quatro grupos distintos de similaridade

No dendrograma (Figura 22), observa-se que as coletas foram divididas em quatro grupos distintos, onde a sazonalidade não foi o fator determinante na formação destes grupos, exceto no Grupo 1 que apresentou em sua maioria coletas no período chuvoso. Resultado semelhante foi encontrado por Salgado et al. (2011) ao estudarem a similaridade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Salgado.

Figura 22 - Dendrograma dos açudes Taquara e Ayres de Sousa agrupados quanto à sazonalidade



Fonte: Autor(2021)

A composição média, o desvio padrão e os valores máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade das águas de cada grupo dos açudes Taquara e Ayres de Sousa, podem ser vistos na Tabela 17, junto ao teste de Tukey para os valores significativos em nível de 1% de significância.

Tabela 17 - Média, desvio padrão, valores máximo e mínimo das variáveis analisadas nas águas dos açudes Taquara e Ayres de Sousa definidos pela análise de agrupamento

Variáveis	Estatísticas	Grupo 1	Grupo2	Grupo 3	Grupo 4
Sódio (mg/L)	Média ± Desvio Padrão	14,91 ± 2,03 a	16,66 ± 1,73 a	23,5 ± 2,29 b	26,96 ± 0,95 b
	Mínimo	12,00	13,00	21,00	26,00
	Máximo	17,50	18,50	25,50	27,90
Condutividade elétrica (µS/cm)	Média ± Desvio Padrão	166,6 ± 14,94 a	200,38 ± 25,14 ab	213,33 ± 16,51 b	259,66 ± 18,79 c
	Mínimo	140,60	150,00	196,50	238,00
	Máximo	183,00	231,00	229,50	271,50
Potássio (mg/L)	Média ± Desvio Padrão	4,00 ± 0,31 a	4,525 ± 0,43 a	5,86 ± 0,32 b	5,53 ± 0,50 b
	Mínimo	3,50	4,00	5,50	5,00
	Máximo	4,50	5,00	6,10	6,00
Cloretos (mg/L)	Média ± Desvio Padrão	23,45 ± 1,74 a	26,05 ± 1,51 a	31,7 ± 2,85 b	36,6 ± 2,20 c
	Mínimo	21,00	24,20	28,90	34,40
	Máximo	25,50	28,90	34,60	38,80
Magnésio (mg/L)	Média ± Desvio Padrão	4,316 ± 1,17 a	6,86 ± 1,11 b	9,5 ± 1,82 c	8,73 ± 1,02 bc
	Mínimo	3,20	5,10	8,30	7,60
	Máximo	6,20	8,40	11,60	9,60
Turbidez (uT)	Média ± Desvio Padrão	3,85 ± 1,76 a	5,88 ± 2,50 a	2,3 ± 0,17 a	101,1 ± 50,08 b
	Mínimo	2,10	2,80	2,10	53,70
	Máximo	7,20	10,60	2,40	153,50
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Média ± Desvio Padrão	6,55 ± 0,66 a	7,61 ± 0,82 a	6,76 ± 0,3 a	6,1 ± 1,41 a
	Mínimo	5,70	6,60	6,40	4,60
	Máximo	7,30	8,60	7,00	7,40
Transparência (m)	Média ± Desvio Padrão	1,66 ± 0,25 a	1,3 ± 0,36 a	1,86 ± 0,11 a	0,26 ± 0,20 b
	Mínimo	1,30	0,90	1,80	0,10
	Máximo	2,00	2,00	2,00	0,50
Sólidos totais (mg/L)	Média ± Desvio Padrão	105,08 ± 25,10 a	136 ± 19,51 a	133,76 ± 18,51 a	273,33 ± 65,75 b
	Mínimo	68,00	111,50	113,50	204,50
	Máximo	132,50	164,50	149,80	335,50

Médias seguidas de letra minúscula diferente diferem entre si na coluna pelo teste F, a nível de 1% de significância

No grupo 1, o fator determinante foi a variável magnésio, que difere estatisticamente a nível de 1%, dos demais grupos, em que apresentou menor concentração média, com valor de 4,36 mg/L. Neste grupo, outras variáveis apresentaram menores valores médios, que foram sódio, condutividade elétrica, potássio, cloreto e sólidos totais levando a concluir que águas deste grupo apresentaram concentração de sais dissolvidos inferior aos demais grupos.

No grupo 2, o fator determinante foi a variável oxigênio dissolvido, que apresentou maior valor médio de 7,61 mg/L. Além disso, neste grupo as variáveis sódio, condutividade elétrica, potássio, cloreto e magnésio apresentaram valores médios maiores que o Grupo 1 e menores que os Grupos 3 e 4, levando a concluir que águas deste grupo apresentaram qualidade inferior ao Grupo 1 e superior aos Grupos 3 e 4. A presença de amostras dos açudes Taquara e Ayres de Sousa no mesmo grupo, como visto nos Grupos 1 e 2, indica que as águas destes açudes não foram totalmente diferenciadas, sendo estes os grupos que mostraram semelhança entre elas.

Já o grupo 3 todas as amostras foram ocorridas no açude Taquara, o fator determinante para a formação deste grupo se constituiu dos maiores valores médios de potássio (5,86 mg/L) e magnésio 9,5 (mg/L) observados em relação aos demais grupos; neste grupo as variáveis sódio, condutividade elétrica e cloretos são variáveis que apresentam valores médios menores que o Grupo 4, e maiores que o Grupo 1 e 2.

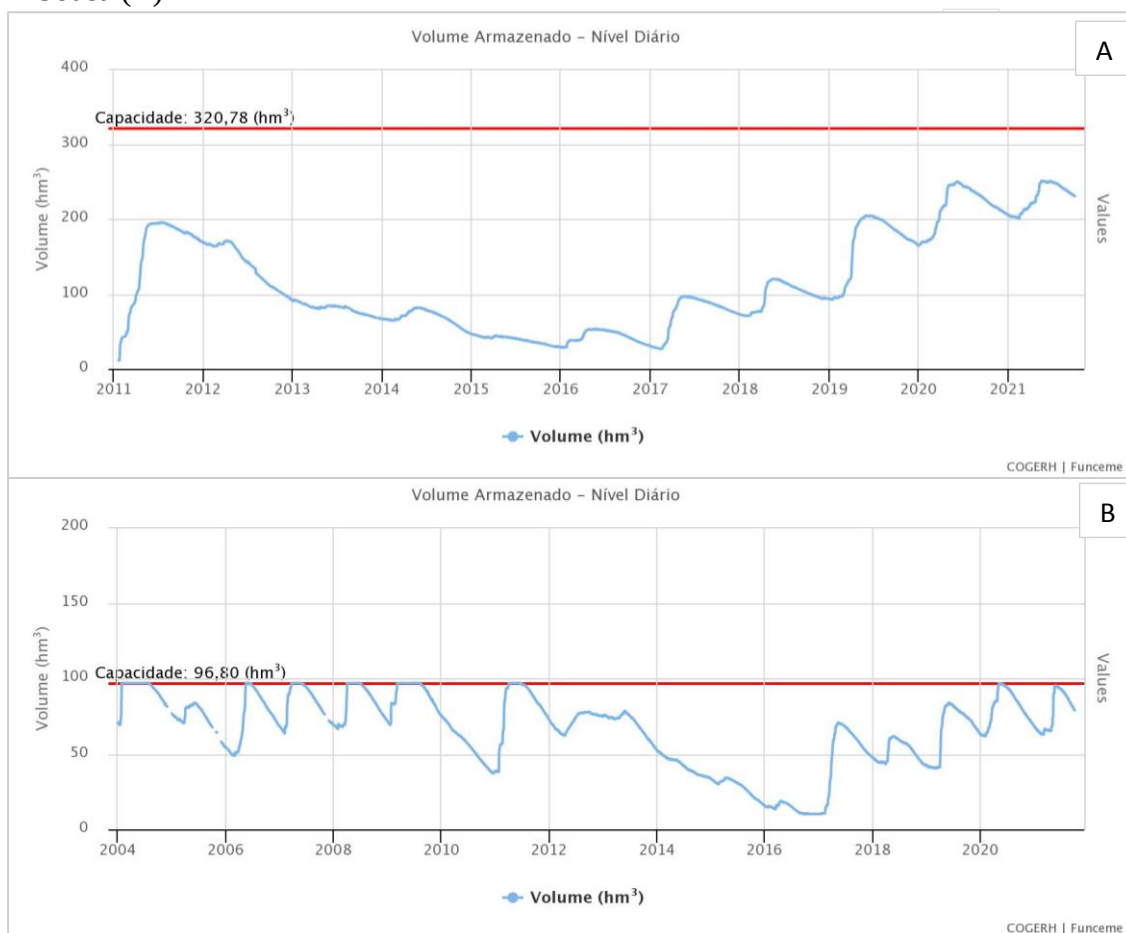
O grupo 4 foi constituído somente por amostras do açude Ayres de Sousa, na formação deste grupo os fatores que se mostraram determinantes, foram as variáveis turbidez, sólido totais e transparência, pois estes diferem estatisticamente a um nível de 1% dos outros grupos, além disso apresentam maiores valores médios de 101,1 uT, 273,3 3 mg/L e 0,26 m. Neste grupo, outros atributos apresentaram maiores valores médios em relação ao Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3, que foram: sódio (26,96 mg/L), condutividade elétrica (259,66 μ S/cm), cloretos (36,6 mg/L). Entre os quatros grupos distintos, o grupo 4 foi o que apresentou os maiores valores médios de parâmetros físico-químicos, que são parâmetros relacionados com a carga sólida presente no corpo d'água.

A formação dos grupos sofreu mais influência pela qualidade das águas dos açudes Taquara e Ayres de Sousa, do que pelos períodos de coletas (chuvoso e seco). Os grupos 1 e 2 foram formados por águas dos dois reservatórios em análise; já os grupos 3 e 4 foram formados por amostras coletadas anos de 2016 e 2017 dos açudes Taquara e Ayres de Sousa, respectivamente, onde as águas dos açudes tiveram comportamentos diferentes. O período que as águas dos açudes se mostram dissimilares, podem ser justificadas pelo período de estiagem que ocorreu nos anos anteriores as amostras agrupadas, onde houve a diminuição do volume

reservado, como visto na Figura 23, em que os anos de 2016 e 2017 nos açudes estudados apresentaram volume crítico.

Após a AAH observa-se que o grupo 4 formado pelas águas do Ayres de Sousa, apresentaram qualidade inferior ao grupo 1, 2 e 3, o que pode ser justificado pelo uso e ocupação do solo da bacia do açude Ayres de Sousa associado a diminuição do volume do reservatório, que apresentou volume crítico nos anos de 2016 e 2017. Segundo Herculano et al. (2020) o período de estiagem desde o ano de 2009 possibilitou o surgimento de áreas propícias para construção civil, que associado ao crescimento do distrito de Jaibaras ocasionou a construção de moradias irregulares às margens do açude Ayres de Sousa. Muitas dessas moradias não possuem saneamento básico, o que interfere diretamente na qualidade da água, pois estes efluentes acabam sendo lançados para adentro do reservatório.

Figura 23 – Representação do volume armazenado no açude Taquara (A) e Ayres de Sousa (B)



Fonte: Funceme (2021)

Os Grupos 2 e 3, na maioria das variáveis obteve valores médios intermediários, em que apresentou qualidade das águas superior ao Grupo 4 e inferior ao Grupo 1. O grupo 1 apresentou

melhor qualidade, estas amostras foram coletadas predominantemente no período chuvoso dos anos de 2018, 2019 e 2020, período que o volume armazenado dos reservatórios Taquara e Ayres de Sousa, como visto na Figura 23, foi superior ao anos de 2016 e 2017, que representa o grupo 3 e o grupo 4. Além disso, a ocorrência da diluição dos parâmetros físico-químicos devido ao aumento do volume do reservatório, permite uma melhora na qualidade da água.

6. CONCLUSÃO

A qualidade da água dos açudes Taquara e Ayres Sousa na avaliação de seus parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, apresentou a maioria dos valores encontrados dentro dos limites permitidos pela Resolução 357/05 do CONAMA para águas doces classe 2. No açude Taquara os parâmetros fósforo total, ferro, clorofila a e cianobactérias não atenderam a resolução; no açude Ayres de Sousa, além dos parâmetros citados anteriormente, o oxigênio dissolvido, nitrogênio total, turbidez e *Escherichia coli* ultrapassaram os limites estabelecidos pela resolução.

De um modo geral, as variáveis físicas, químicas e microbiológicas dos açudes Taquara e Ayres de Sousa tiveram variações semelhantes sobre o efeito da sazonalidade, aquelas que tiveram qualidade comprometida no período chuvoso são justificadas pela ação do escoamento superficial que carrega matéria orgânica e sólida para adentro do corpo hídrico; já aquelas que a qualidade foi comprometida no período seco, podem ser justificadas pela diminuição do volume do reservatório e, em consequência disso, as concentrações de carga orgânica e sedimentos se tornam mais elevadas.

A Análise de Componentes Principais permitiu classificar as variáveis de maior significância na qualidade das águas. No açude Ayres de Sousa, o emprego da ACP proporcionou a redução das 19 variáveis, para quatro componentes, que explicaram 85,56% da variância total, a primeira componente está associada a sais dissolvidos na água, e as demais componentes estão relacionadas pelo aporte de matéria orgânica. No açude Taquara, teve a redução de 19 variáveis para cinco componentes, que explicaram 79,57% da variância total, a primeira componente expressa o processo da mineralização das águas, e as demais componentes estão associadas a contaminação por matéria orgânica, oriunda de atividades antrópicas.

A Análise de Agrupamento formou-se quatro grupos heterogêneos, agrupando-os na forma de dendrograma, conforme a composição física, química e biológica das águas, onde a

sazonalidade não foi o fator determinante na formação destes grupos, exceto no grupo 1. Os grupos 1 e 2 foi formado por águas dos dois reservatórios em análise, em que a qualidade da água destes se mostraram similares. Os grupos 3 e 4 foram formados por amostras dos açudes Taquara e Ayres de Sousa, respectivamente, onde as águas dos açudes tiveram comportamentos diferentes. O grupo 1 apresentou melhor qualidade; os grupos 2 e 3, na maioria das variáveis obteve valores médios intermediários; e o grupo 4 apresentou qualidade inferior aos grupos 1, 2 e 3, logo, assim pode-se afirmar que a qualidade da água do Ayres, nos anos de 2016 e 2017 apresentou qualidade inferior ao açude Taquara no mesmo período.

Mesmo o açude Taquara e Ayres de Sousa estando interligados pelo rio Jaibaras, em que as águas do Taquara fornecem manutenção hídrica ao Ayres de Sousa, observa-se que a contribuição hídrica não causa interferência na qualidade da água do Ayres de Sousa. Após a análise individual dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, observou-se que o Ayres de Sousa teve mais parâmetros que não atenderam o limite estabelecido pela legislação, o que indica que a água deste corpo hídrico não apresentou uma boa qualidade, quando comparado ao Taquara. A AAH corrobora como esta afirmação, pois o grupo que apresentou maiores concentrações de carga sólida foi formado somente por águas do Ayres de Sousa. Logo, a contribuição hídrica do Taquara não fez com que a qualidade do Ayres de Sousa melhorasse, pois a entrada desta água poderia causar a diluição da carga sólida e orgânica presente no Ayres de Sousa.

As águas do açude Ayres de Sousa se mostraram com qualidade inferior ao açude Taquara. Logo, a água reservada no Taquara que fornece água para o Ayres de Sousa não causa interferência negativa, pois ela apresenta uma melhor qualidade. Entretanto, durante o percurso deste canal de drenagem podem acontecer atividades antrópicas, que vão interferir negativamente na qualidade das águas que chegam no reservatório Ayres de Sousa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: < <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

ALENCAR, Vivian Evelyne Silva Araújo et al. Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorrencia de Efeitos da Precipitação na Baía de Guajará–Belém–PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 661-680, 2019.

ALVES, Luciene Bianca; BELDERRAIN, Mischel CN; SCARPEL, Rodrigo Arnaldo. Tratamento multivariado de dados por análise de correspondência e análise de agrupamentos. **Anais do 13º encontro de iniciação científica e pós-graduação do ITA–XIII ENCITA**. São José dos Campos–SP, 2007.

ALVES, William Santana; SILVA, Pedro Barbosa; JÚNIOR, Hênio do Nascimento Melo. Variação sazonal da qualidade da água em pesque pague do semiárido cearense. **Cadernos de Cultura e Ciência**, v. 15, n. 1, p. 93-103, 2016.

ANDRADE, Eunice M. de et al. Surface water quality indicators in low Acaraú Basin, Ceará, Brazil, using multivariable analysis. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.

ARAÚJO, José Carlos de. Assoreamento em reservatórios do semiárido: modelagem e validação. **Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 39-56, 2003.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. de S.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J., NESS, R. L. L; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 37, p. 754-762, 2013.

ARAÚJO, R. S.; ALVES, M. G.; CONDESSO DE MELO, M. T.; CHRISPIM, Z. M. P.; MENDES, M. P; SILVA JÚNIOR, G. C. Water resource management: A comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 815-828, 2015.

ARAÚJO NETO, José Ribeiro et al. Similaridade de solos quanto a salinidade no vale perenizado do rio Trussu, ceará. **IRRIGA**, v. 21, n. 2, pág. 327-327, 2016.

ARAÚJO NETO, José Ribeiro de et al. Influência do uso/ocupação da terra na qualidade das águas no vale do rio Trussu, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 59-69, 2017.

ARRUDA, Nicole Machuca Brassac; RIZZI, Nivaldo Eduardo; DE MIRANDA, Tânia Lúcia Graf. Análise multivariada na avaliação da qualidade de água do reservatório de Foz do Areia, estado do Paraná. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 37, p. 26-37, 2015.

ARRUDA, Nicole Machuca Brassac de. **Avaliação de variáveis de qualidade de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Foz do Areia, Segredo e Caxias, como instrumento de gestão de bacias hidrográficas**. 2014.249 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BARCELOS, Assunção Andrade de. **Diagnóstico da qualidade das águas da bacia do córrego Sucuri no município de Caçu-Goiás**. UFG, 2017.

BARRETO, W. J. et al. Analysis of Physical and Chemical Parameters for Discrimination of Water Origin in a Hydroelectric Reservoir. **CLEAN – Soil, Air, Water**, v.35, n.3, p.239-245, 2007.

BERTOSSI, Ana Paula Almeida et al. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando estatística multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.

BOLDRIN, Renan et al. **Diagnóstico da qualidade das águas do Lago Jaboti no município de Apucarana-PR**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 8 jan. 1997.

BRASILa. Agência Nacional de Águas - ANA. Monitoramento da Qualidade da Água em Rios e Reservatórios. In: **Bases Conceituais para Monitoramento de Águas Continentais**. Brasília: 2019. Unidade 2, 4 p.

BRASILb. Agência Nacional de Águas - ANA. Monitoramento da Qualidade da Água em Rios e Reservatórios. In: **Fundamentos legais sobre a Gestão da Qualidade das Águas**. Brasília: 2019. Unidade 1, 4 p.

BUFON, André Gustavo Mazzini; LANDIM, Paulo Milton Barbosa. Análise da qualidade da água por metodologia estatística multivariada na represa velha (CEPTA/IBAMA/Pirassununga/SP). **Holos Environment**, v. 7, n. 1, p. 42-59, 2007.

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

CARVALHO, Adriana Rosa; SCHLITTLER, Flávio Henrique Mingante; TORNISIELO, Valdemar Luiz. Relação da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água. **Química Nova**, v. 23(5): 618-622, 2000.

CARVALHO, L. L. S. de; LACERDA, C. F. de; CARVALHO, C. M. de; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M. de; GOMES FILHO, R. R. Spatio-temporal variability of groundwater quality in an irrigated area in the Brazilian semiarid region. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e644985786, 2020.

CEARÁ. Walt Disney Paulino. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (Org.). **Inventário Ambiental do açude Taquara: Fatores condicionantes da Qualidade das Águas**. Fortaleza, 2015. 122 p.

CETESB_COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 44. 2009.

CETESB_COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo**. Apêndice D. Índice de qualidade das águas. São Paulo: CETESB, 2008.

Charnay, B. Um Método de Sistema para a Avaliação da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (IWRM) em Áreas de Bacias Hidrográficas de Montanha: O Caso da Bacia Hidrográfica “Giffre” (França). **Environmental Management** 48, 189–197 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9683-7>.

Chaves, L. C. G. et al. Water quality and anthropogenic impact in the watersheds of service reservoirs in the Brazilian semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, [online] 2, 2019.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring** - Second Edition. 1996.

CONEGLIAN, Milena Guirado. **Avaliação dos índices de qualidade da água bruta de um manancial em área urbana**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2020.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. (2010). **Inventário Ambiental do açude Ayres de Souza: Fatores condicionantes da qualidade da água**. COGERH, Fortaleza – CE, 2010, 35 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] União, n. 53, 18 mar. 2005, p. 58-63.

DILLON, WR; GOLDSTEIN, **Métodos de análise multivariada e aplicações**. New York: John Wiley e Sons, 1984. 587p.

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

FERNANDES, Francisco Bergson Parente et al. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010..

FERNANDES, Luciano F. et al. Cianobactérias e cianotoxinas. In CLEVERSON, V. A.; CARNEIRO, C. (Org.). Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. Curitiba. **Capital Ltda Editora**. 2005, p. 301-320.

FEITOSA, Leonardo Schramm. **Aspectos limnológicos da pequena açudagem no semiárido: estudo de caso dos açudes do assentamento 25 de Maio**, Madalena-CE. 2011.

FIGUEIREDO, M. C. B. et al. Monitoramento comunitário da qualidade da água: uma ferramenta para a gestão participativa dos recursos hídricos no semi-árido. **Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2008.

FIGUEIREDO, S. B. **Avaliação da Qualidade da Água da Sub-Bacia do Rio Cuiabá-MT Aplicando Análise Multivariada**. Tese de Doutorado. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos) -Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 140 f., 2012.

FRINHANI, E. M. D.; CARVALHO, E. F. Monitoramento da qualidade das águas do Rio do Tigre, Joaçaba, SC. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 1, n. 1, p. 49-58, jan./jun. 2010

GARCIA, Carlos Alexandre Borges; BARRETO, Paulo Roberto. Caracterização da qualidade da água do açude Buri-Frei Paulo/SE. **Scientia Plena**, v. 6, n. 9, 2010.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T. de; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, mai. 2012.

GIRÃO, Enio Giuliano et al. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.

HAIR, J. F.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C.; ANDERSON, R. E.; BABIN, B. J. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª Edição. Bookman, 2009.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research** 34, 807–816, 2000.

HERCULANO, José Wesley et al. Construções às margens do açude Ayres de Sousa e os riscos que elas acarretam para seus habitantes e para o próprio açude., p. 1-388–416. **Editora Atena**, 2020.

LIMA, Robson Silva de et al. **Qualidade da água dos reservatórios situados na bacia hidrográfica dos rios Piauí-Real: uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e razões iônicas**. 2015.

LIMA, W.S.; GARCIA, C.A.B. Qualidade da Água em Ribeirópolis-SE: o Açude do Cajueiro e a Barragem do João Ferreira. **Scientia Plena**, v.4, n.12, 2008

LIMA, Ana Cristina Azevedo. **O açude Taquara e o rio Jaibas (ce): estudo hidrogeográfico e análise dos impactos socioambientais. mestrado acadêmico em geografia**. Universidade Vale do Acaraú, 2020.

LUCAS, Ariovaldo Antônio Tadeu et al. Qualidade da água no Riacho Jacaré, Sergipe Brasil usada para irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 8, n. 2, p. 98-105, 2014.

LOPES, F. B.; Teixeira, A. S.; Andrade, E. M.; Aquino, D. N.; Araújo, L. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.392-402,2008.

MAIA, Kelly Prado; SILVA, Gilmar Antônia da; LIBÂNIO, Marcelo. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 1013-1025, 2019.

MISHRA, S. P. Multivariate Statistical Data Analysis Principal Component Analysis (PCA). **International Journal of Livestock Research**, v. 7, n. 5, p. 60-78, mai. 2017.

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de saúde pública**, v. 36, p. 370-374, 2002.

MUCCI, J.L.N.; SOUZA, A.; VIEIRA, A.M. Estudo ecológico e sanitário do lago do Parque do Guaraciaba em Santo André, São Paulo. São Paulo: **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 9(1):13-25, 2004.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do. Os recursos hídricos e o trópico semiárido no Brasil. **GEOgraphia**, v. 14, n. 28, p. 82-109, 2012.

NORUSIS M. J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago: SPSS Inc, 1990. 520 p.

OLIVEIRA, Ana Cristina Bastos de. **Avaliação da qualidade das águas do açude Santo Anastácio**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, 2013.

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, 2004.

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz et al. Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2494-2500, 2009.

PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L.C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 395-402, 2011.

PASTRO, Milena Scaramussa et al. Estatística multivariada aplicada à análise de qualidade da água em diferentes ambientes de microbacias hidrográficas. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2020.

PINHEIRO, Adilson et al. Relação entre o uso do solo e a qualidade da água em bacia hidrográfica rural no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 127-139, 2014.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 435-456, 2017.

PONTES, Marianne Mesquita; BARROS FILHO, Marcos André Capitulino; FREITAS, Francisco Rafael Sousa. IV-259 Variação temporal de fatores limnológicos no reservatório Paulo Sarasate, Ceará. **30º CONGRESSO ABES**, 2019.

RABELO, D. C.; ELOI, W. M.; ALEXANDRE, D. M. B; COSTA, R. B da. Usos múltiplos da água em cenário de escassez hídrica -análise da gestão dos recursos hídricos no Ceará durante a seca de 2011-2016. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.2, p.15918-15940 fevereiro. 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24769/19750>> Acesso em 14/10/2021.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3.ed. São Paulo, 2006.

RICHTER, Carlos A.; DE AZEVEDO NETTO, José Martiniano. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. Editora Blucher, 1991.

ROGERS P. P. et al. **Water Crisis: myth or reality? Foundation Marcelino Botin. Taylor & Francis**. 330 pp. 2006.

ROCHA, César HB; FREITAS, Fabiano A.; SILVA, Thiago M. da. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 431-436, 2014.

SALGADO, Eveline Viana et al. Similaridade das variáveis hidroquímicas com o uso da análise multivariada, na Bacia do Salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 158-166, 2011.

SANTOS, Ana Jéssica de Sousa. **Análise dos sistemas ambientais da sub-bacia hidrográfica do rio Jaibaras, Ceará**. DISSERTAÇÃO (CURSO DE GEOGRAFIA) – UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ, 2020.

SILVA, Régia Simony Braz Da et al. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 2, 2018.

SILVA, Alriberto Gemano; SOUZA, L. D. Efeitos antrópicos e sazonais na qualidade da água do rio do Carmo. **HOLOS**, v. 5, p. 122-136, 2013.

SILVA, Ana Elisa Pereira et al. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta amazônica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.

SILVA, Mayane Bento; HERREROS, Mário Miguel Amin Garcia; BORGES, Fabricio Quadros. Gestão integrada dos recursos hídricos como política de gerenciamento das águas no Brasil. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 10, n. 1, p. 101-115, 2017.

SILVA, Isabela Maria Bolognin et al. Qualidade físico-química das águas superficiais da rppn cisalpina, brasilândia, mato grosso do sul, brasil, no período seco de 2017. **Ciência Geográfica** - Bauru - Ano XXIII - Vol. XXIII - (1): Janeiro/Dezembro – 2019.

SOUSA, K. P. DE; ELOI, W. M.; BARRETO, F. M. de S. Evaluation of the water quality of the Maceió stream estuary. **International Journal of Development Research**, v.11, (09), 2021. p. 50282-50288. Disponível em: <https://www.journalijdr.com/sites/default/files/issue-pdf/22897.pdf> Acesso em: 14/10/2021.

SOUZA, J. R. de; MORAES, M. E. B. de; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica do Prodepa**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 26-45, abr. 2014.

SOUSA, Keicyane Alves; DE ESPINDOLA, Giovana Mira; DA SILVA, Carlos Ernando. Análise de atributos limnológicos em reservatórios do semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 357-371, 2020.

SOUSA, Ikaro Cezar Freitas de. **Avaliação espacial de atributos físico-químicos de águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do Baixo Curu – Ceará**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, 2017.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental**. 2ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

TOLEDO, Luís Gonzaga de; NICOLELLA, Gilberto. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

TRINDADE, Ana Laura Cerqueira et al. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 13-24, 2017.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n.70, p.24-35, 2006.

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

VICINI, Lorena. **Análise multivariada: da teoria à prática**. Santa Maria, 2005.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, v. 32, n. 12, p. 3581–3592, 1998

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1)**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005;