

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

**EFEITO DA SAZONALIDADE NA QUALIDADE DA
ÁGUA DO AÇUDE TAQUARA, CEARÁ, BRASIL**

Brenda de Assis Ferreira Carvalho ¹
* Waleska Martins Eloi ¹
Deborah Mithya Barros Alexandre ²
Maria Thereza Rocha Chaves ¹
Jacques Carvalho Ribeiro Filho ³

**SEASONALITY EFFECT ON WATER QUALITY IN THE
TAQUARA RESERVOIR, CEARÁ, BRAZIL**

Recibido el 30 de enero de 2024. Aceptado el 6 de mayo de 2024

Abstract

Water quality in reservoirs is a growing concern for environmental sustainability, water bodies play a vital role in providing drinking water, in agriculture and in maintaining aquatic ecosystems. It is noted that the water issue has been worsening over time, with the semi-arid region having the greatest impacts in relation to the water crisis, but today the concern about availability is notable in all regions of the world. This study assessed the impact of seasonality on the water quality of the Taquara Reservoir. The data utilized were sourced from the Water Resources Management Company (COGERH) for the period from 2016 to 2020. Parameters analyzed for water characterization included pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, chlorophyll "a," cyanobacteria, Escherichia coli, total nitrogen, total phosphorus, chlorides, color, magnesium, potassium, sodium, total solids, and turbidity. Descriptive analyses and box-plot graph construction were employed to assess water body quality during seasonal periods, comparing concentrations of the analyzed variables with the maximum allowable values (MAVs) established by CONAMA Resolution No. 357/2005 for freshwater class 2. The concentrations obtained mostly fall within the limits permitted by CONAMA Resolution. However, parameters such as total phosphorus, dissolved oxygen, Escherichia coli, chlorophyll "a," and cyanobacteria did not comply with the legislation. The results suggest seasonal variations and anthropogenic contaminations. Emphasis is placed on the importance of understanding the influence of seasonal changes and adopting measures to reduce human interference, aiming at the preservation of the quality and sustainability of this vital resource.

Keywords: monitoring, reservoir, semiarid.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Fortaleza, Brasil.

² Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, Brasil.

³ Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará, Brasil.

* Autor correspondente: Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza/Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica. Fortaleza, Ceará. CEP: 60040-215. Brasil. Email: waleska@ifce.edu.br

Resumo

A qualidade da água em reservatórios é uma preocupação crescente para sustentabilidade ambiental, os corpos hídricos desempenham um papel vital no fornecimento de água potável, na agricultura e na manutenção dos ecossistemas aquáticos. Nota-se que a questão hídrica vem se agravando ao longo do tempo, sendo a região semiárida a que apresenta maiores impactos em relação a crise hídrica, porém hoje a preocupação com a disponibilidade é notável em todas as regiões do mundo. A pesquisa avaliou o impacto da sazonalidade na qualidade da água do açude Taquara. Os dados utilizados pertencem a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), do período de 2016 a 2020. Os parâmetros analisados para a caracterização da água do açude foram: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, clorofila "a", cianobactérias, *Escherichia coli*, nitrogênio total, fósforo total, cloretos, cor, magnésio, potássio, sódio, sólidos totais e turbidez. 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 para águas doces classe 2. As concentrações obtidas, em sua maioria, estão dentro dos limites permitidos pela Resolução do CONAMA. Porém, os parâmetros fósforo total, oxigênio dissolvido, *Escherichia coli*, clorofila a e cianobactérias não atenderam à legislação. Os resultados sugerem variações sazonais e contaminações antrópicas. Destaca-se a importância de entender a influência das mudanças sazonais e adotar medidas para reduzir a interferência humana, visando a preservação da qualidade e sustentabilidade desse recurso vital.

Palavras-chave: monitoramento, reservatório, semiárido.

Introdução

As preocupações em relação aos recursos hídricos têm crescido substancialmente nas últimas décadas, especialmente devido às práticas inadequadas e ao uso inadequado da água, que acarretam uma série de consequências prejudiciais à sociedade, sendo a ação antrópica uma das que mais afeta de maneira direta e indireta a qualidade da água em contexto mais amplo (Bernardini *et al.*, 2021).

Em diversos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, a disponibilização de água para toda a população, em quantidades adequadas e com qualidade satisfatória, ainda é um desafio, fazendo-se necessário pensar em formas de ampliar tal fornecimento. No entanto, é importante enfatizar que, ao invés de buscar novas fontes de água para suprir a crescente demanda da sociedade por esse recurso, é de extrema importância adotar uma abordagem de racionalização do consumo hídrico, visando um aproveitamento mais eficiente dos recursos já disponíveis (Silva *et al.*, 2022).

Com base nessa perspectiva, 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 os constantes fenômenos de seca. 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 (ANA, 2019a).

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 ocasionando 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 (ANA, 2019b).

A variação sazonal e, conseqüentemente, a disponibilidade de água podem exercer impactos significativos nas esferas socioeconômicas, agrícolas e industriais. Uma vez que influencia diretamente nos parâmetros químicos, físicos e biológicos para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. A análise dos padrões de sazonalidade, aliado aos parâmetros químicos, físicos e biológicos desempenha um papel fundamental na administração e no planejamento dos recursos hídricos locais, além de contribuir para a concepção de projetos nos âmbitos público e privado, abarcando uma variedade de setores (Ferreira, 2021). Assim, o objetivo central desta pesquisa consistiu em analisar o impacto sazonal na qualidade da água do Açude Taquara.

Material e Métodos

Área de Estudo

O estudo foi realizado no Açude Taquara inserido na bacia do Acaraú, localizada no oeste do Estado do Ceará (Figura 1), no município de Cariré, inaugurado em 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 é usado para o desenvolvimento da piscicultura na região.

De acordo com a classificação de Köppen (1918), a região possui um clima do tipo Aw', caracterizado como tropical chuvoso, com precipitações concentradas e médias anuais de 960 mm, concentrando-se 90% entre os meses de janeiro a junho. Predomina uma topográfica plana a levemente ondulada. Na região a evaporação potencial histórica anual é de 1600 mm ano⁻¹, com temperaturas variando de 22.8 °C a 34.7 °C e umidade relativa média anual atingindo em torno de 70% (Carvalho *et al.* 2020).

O açude Taquara, localiza-se na porção oeste da Bacia Hidrográfica do Acaraú, com capacidade total de armazenamento de água igual a 320.78 hm³. Essa bacia hidrográfica abrange uma extensão territorial de 565.730 km², relata-se que durante 96.27% do tempo o volume armazenado é menor ou igual a 60% da sua capacidade de armazenamento máximo. Na área de influência do açude Taquara, observa-se uma significativa extensão de terrenos desmatados, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APP). A maioria dessas áreas, previamente utilizadas para pastagens, mineração e cultivos agrícolas (Ceará, 2017).

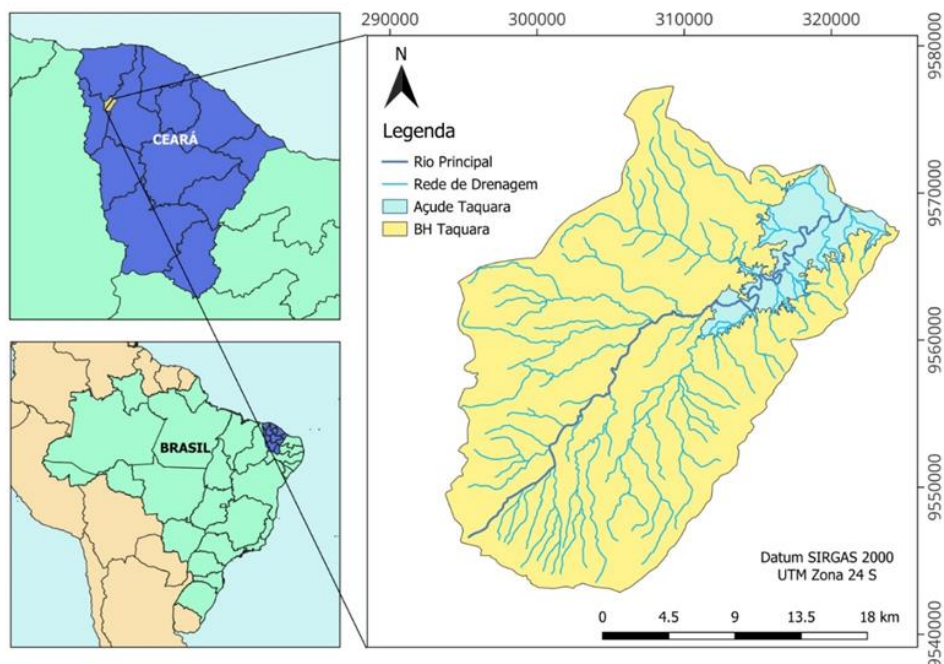


Figura 1. Localização do Açude Taquara, Ceará, Brasil. Fuente: autoria própria.

Análise dos dados

Os dados empregados para a análise foram obtidos a partir do banco de dados de monitoramento da qualidade da água, mantido pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). A janela temporal abrange o intervalo de janeiro de 2016 a agosto de 2020, sendo realizadas duas coletas no período seco e duas no período chuvoso de cada ano, contemplando informações significativas tanto dos períodos chuvosos (janeiro a junho) quanto dos períodos de estiagem (julho a dezembro) de cada ano investigado, realizando-se um total de 20 campanhas. As coletas de água ocorreram sempre no mesmo ponto amostral (Figura 2), o ponto foi escolhido pela proximidade da tomada de água do reservatório. Todos os frascos utilizados nas coletas foram cedidos pelos laboratórios contratados, e a conservação das amostras e o tempo entre a coleta e a realização das análises seguiram as orientações dos laboratórios.

Para a caracterização qualitativa das águas presentes no açude, foram empregados os seguintes parâmetros: pH, níveis de oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica da água (CE) e a transparência da água, medida através do Disco de Secchi, sendo todos esses parâmetros avaliados diretamente em campo. No que tange à análise laboratorial, as amostras foram coletadas em profundidades subsuperficiais (0,30 m) nas proximidades dos pontos de captação do açude (latitude: $-03^{\circ} 53' 32''$, longitude: $-40^{\circ} 30' 04''$).

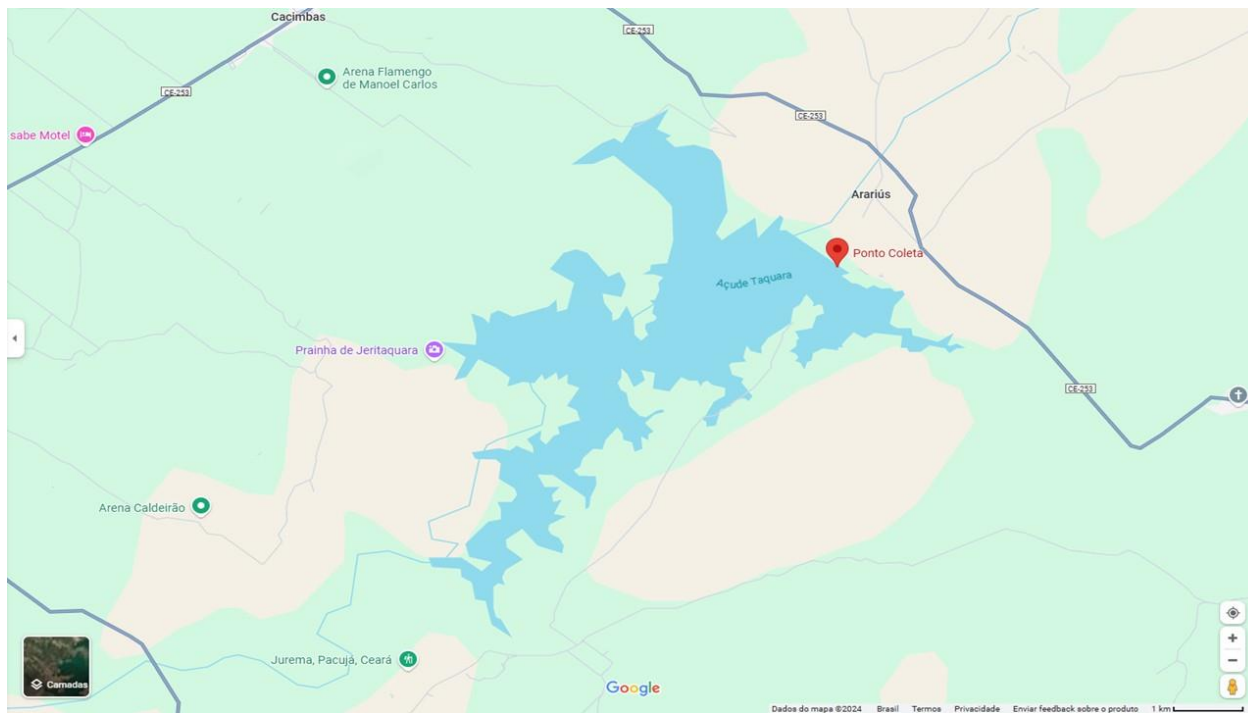


Figura 2. Localização do Ponto de Coleta no Açude Taquara, Ceará, Brasil. *Fuente: Google Maps © 2024.*

Os seguintes parâmetros foram analisados: clorofila “a”, presença de cianobactérias, concentrações de fósforo total e nitrogênio total, alcalinidade por bicarbonatos, teor de cálcio, níveis de cloretos, coloração, quantidade de ferro, presença de magnésio, potássio e sódio, sólidos totais, turbidez e o indicador bacteriano *Escherichia coli*. Os procedimentos empregados em laboratório seguiram as diretrizes estabelecidas pelo "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2017). As metodologias utilizadas podem ser observadas na Tabela 1.

Realizou-se também a análise do Índice de Estado Trófico (IET), o qual foi determinado a partir de metodologia adaptada da adotada pela CETESB, que usa as variáveis nitrogênio total, fósforo total, clorofila-a, cianobactérias e transparência. Com base nas concentrações de fósforo e clorofila foram calculados o estado trófico individual e a média.

De posse dos dados, elaborou-se uma análise descritiva dos dados, posteriormente analisou-se a sazonalidade dos dados através de estatística descritiva (média, mediana, desvio padrão, quantidade de dados, valores máximos e mínimos) por meio de gráficos box-plot, comparando-se com a legislação vigente com os valores máximos permitidos (VMPs), conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 1. Parâmetros e respectivos métodos utilizados para análise da qualidade da água

Parâmetros	Unidade	Método de referência
pH	escala	Disco de Secchi
Oxigênio dissolvido	mg/L	Disco de Secchi
Condutividade elétrica da água	µS/cm	Disco de Secchi
Transparência da água	m	Disco de Secchi
clorofila "a"	µS/L	APHA, 2017
presença de cianobactérias	Células/mL	APHA, 2017
fósforo total	mg/L	APHA, 2017
nitrogênio total	mg/L	APHA, 2017
alcalinidade por bicarbonatos	mg/L	APHA, 2017
cálcio	mg/L	APHA, 2017
cloretos	mg/L	APHA, 2017
Ferro	mg/L	APHA, 2017
Magnésio	mg/L	APHA, 2017
Potássio	mg/L	APHA, 2017
Sódio	mg/L	APHA, 2017
Sólidos totais	mg/L	APHA, 2017
Turbidez	NTU	APHA, 2017
Escherichia coli	NMP/100ml	APHA, 2017

Resultados e discussão

Análise precipitação local

A aquisição da série de precipitação para realização desta análise se deu por meio do Portal HidroWeb (ANA, 2024). Foram coletados valores que compreendem o período de 1914 a 2023 da Estação de Cariré, de coordenadas geográficas latitude -3.95 e longitude -40.47.

Na Figura 3 é possível visualizar as precipitações anuais locais ao longo dos anos, atingindo um pico máximo de 2081.0 mm em 2009 e uma mínima de 179.5 mm em 1915, com uma média anual de 889.7 mm, destacada em vermelho, os anos correspondentes ao período monitorado nessa pesquisa (2016-2020) estão destacados em verde, sendo elas respectivamente 707 mm, 1031mm, 804 mm, 821 mm e 1022 mm.

A média da altura de precipitação anual, registrada como 877.04 mm durante o período de monitoramento, demonstra uma proximidade substancial em relação à média histórica abrangendo o período de 1914 a 2023. Este achado sugere que a precipitação observada durante o período analisado pode ser considerada representativa para a região em estudo.

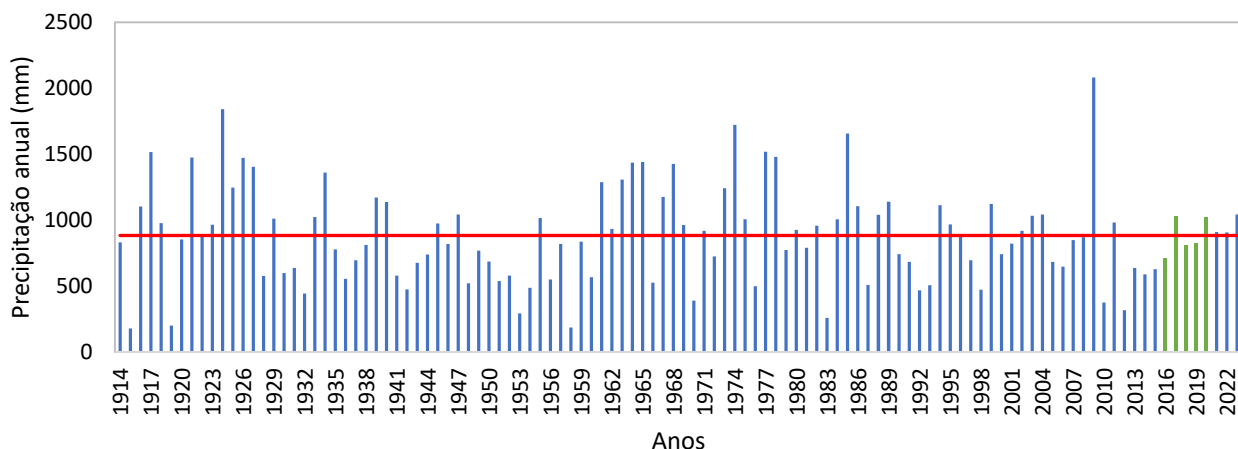


Figura 3. Série histórica (1914-2023) da altura de precipitação anual do município de Cariré (CE).

Na Figura 4, estão dispostas, as alturas de precipitação mensais do período investigado nesse artigo. Analisando a representação gráfica, torna-se evidente a existência de uma temporada chuvosa que corresponde de janeiro a maio e um período de estiagem de junho à dezembro, esse ultimo com uma maior ênfase durante os meses de agosto à novembro.

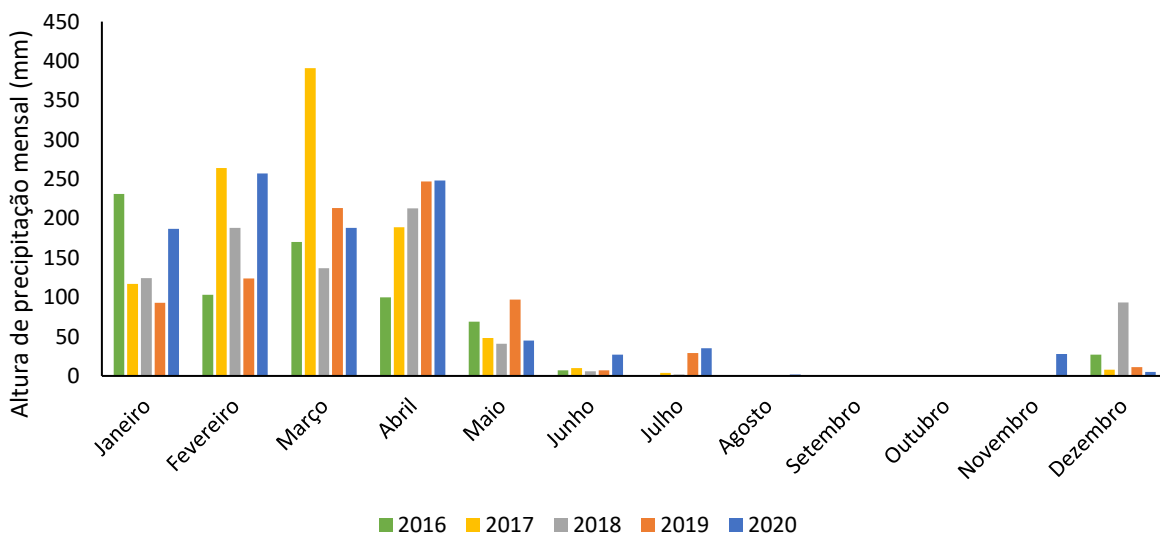


Figura 4. Alturas de precipitação mensal referente ao período monitorado (2016-2020) do município de Cariré (CE).

Observa-se que as precipitações apresentam uma concentração significativa durante o primeiro semestre do ano, destacando-se especialmente nos meses de janeiro a abril. A média desses meses sozinhos correspondem a aproximadamente 86% do volume total de precipitação registrado ao longo do ano.

Análise Sazonal das Variáveis Físico-químicas

A variável condutividade elétrica exibiu variações sazonais distintas, onde todas as amostragens registraram um aumento progressivo dos valores durante o período chuvoso (Figura 5A). Entretanto, os resultados se desviaram daqueles observados nos estudos conduzidos por Nascimento *et al.* (2021) no Sistema Cantareira, em que a condutividade elétrica não demonstrou variação considerável com a sazonalidade.

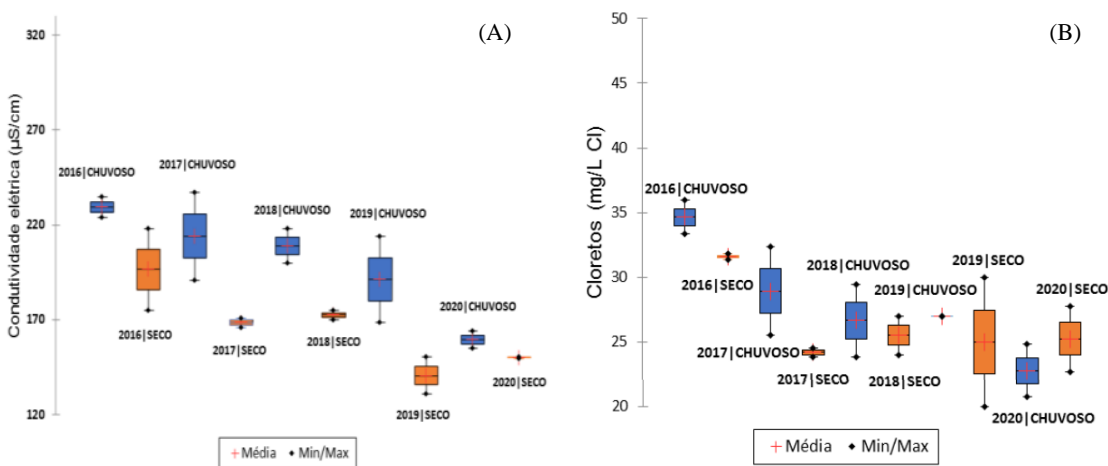


Figura 5. Representação do período sazonal da condutividade elétrica (A) e cloreto (B).

A condutividade elétrica aumenta com a concentração de íons dissolvidos na água, estabelecendo uma correlação direta. De acordo com CETESB (2022), as águas que apresentam condutividade elétrica superiores a 100 µS/cm, apontam impactos decorrentes de ações antrópicas no ambiente. Ao examinar a Figura 5A, é evidente que todos os valores mínimos registrados ao longo dos anos de análise excederam 100 µS/cm. Isso levanta a hipótese da existência de atividades humanas nas proximidades dos reservatórios, as quais contribuem para a introdução de íons nas águas dos reservatórios por meio do escoamento superficial durante os períodos de chuva.

As flutuações da variável cloreto são apresentadas na Figura 5B, destacando-se as concentrações mais significativas durante o período chuvoso. Conforme discutido por Piratoba *et al.* (2017), a origem do cloreto pode ser tanto de caráter antrópico quanto geológico, sendo a lixiviação de rochas e a

contribuição de esgotos domésticos e industriais as fontes preeminentes. Importante mencionar que todas as concentrações de cloreto estão em conformidade com o limite estipulado pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, o qual é estabelecido em até 250 mg/L.

A maior parte das medições dos sólidos totais revelou valores mais elevados durante o período de chuvas, uma tendência esperada devido à influência do escoamento superficial, que arrasta consigo matéria orgânica e sedimentos (Figura 6A). Conforme discutido por Silva e Souza (2013), há uma relação direta entre os sólidos totais e a sazonalidade, visto que os níveis de ST tendem a ser mais altos durante a temporada de chuvas. Isso implica em um aumento notável nos conteúdos de sais minerais neste intervalo de tempo.

Conforme estipulado pela Resolução CONAMA 357/05, os valores aceitáveis para o parâmetro de sólidos totais em águas doces de Classe 2 não devem exceder 500 mg/L. Nesse contexto, é possível constatar que os valores registrados no açude estudado estão em conformidade com os requisitos legais estabelecidos.

A variável turbidez apresentou maiores concentrações no período seco (Figura 6B). Resultado semelhante ao açude Taquara, foi obtido por Santos *et al.* (2021) na região amazônica, que também registrou resultados onde a turbidez foi maior no período seco.

Santos *et al.* (2021) relatam que a turbidez é um parâmetro físico que possui uma considerável influência na vida aquática. Refere-se ao grau de interferência que a luz encontra ao passar através da água. Ocorre pela presença de materiais em suspensão, tais como matéria inorgânica e orgânica oriundos de processos erosivos e despejos industriais. 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.

A cor verdadeira demonstrou níveis superiores durante o período de estiagem (Figura 7A). Conforme elucidado pela CETESB (2022), a cor está intrinsecamente ligada à presença de sólidos dissolvidos, especialmente matéria coloidal de natureza orgânica e inorgânica. Nesse contexto, a elevação das concentrações de cor durante o período de seca é atribuída à diminuição do volume do reservatório, o que, por sua vez, leva a um aumento nas concentrações desses materiais. É notável que todos os valores de cor nos períodos sazonais respeitaram o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente é de até 75 mg Pt/L.

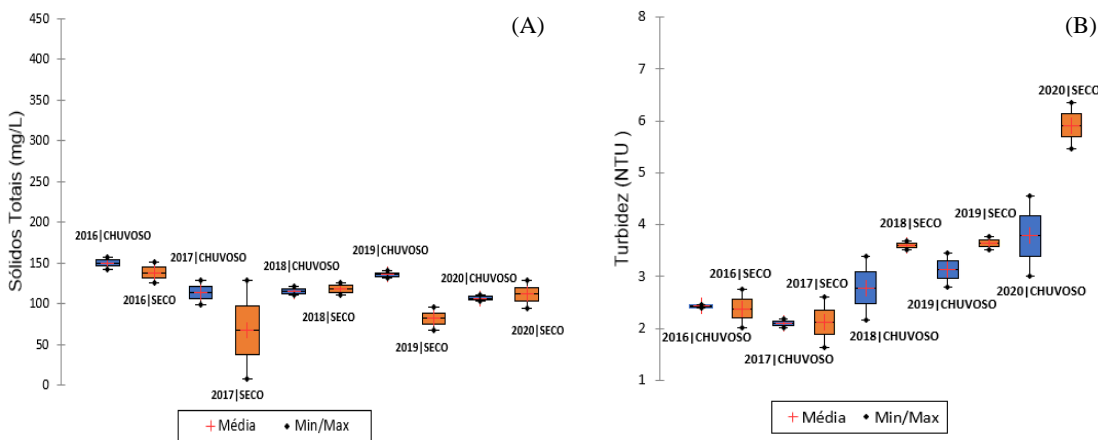


Figura 6. Representação do período sazonal dos Sólidos Totais (A) e Turbidez (B).

A análise da Figura 7B revela que, ao longo de todos os anos estudados, houve uma tendência de elevação das concentrações de sódio durante o período chuvoso. Esse padrão também foi observado no estudo de Gomes (2023), em que a concentração de sódio aumentou durante a estação das chuvas. O sódio, um elemento bastante predominantes na crosta terrestre, é notório por ser altamente solúvel, o que faz com que ele esteja presente em todas as águas naturais. De acordo com Lima e Garcia (2008), em corpos de água superficiais, as concentrações de sódio geralmente ficam abaixo de 50 mg/L, o que é corroborado pelos resultados apresentados na Figura 7B, onde todas as amostras se mantiveram abaixo desse limite.

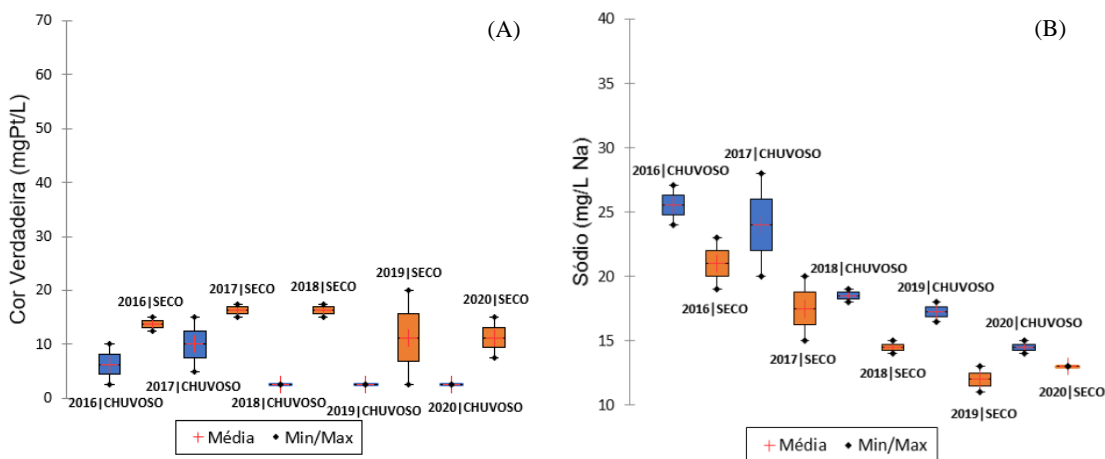


Figura 7. Representação do período sazonal da cor verdadeira (A) e sódio (B).

O potássio apresentou maiores concentrações no período chuvoso (Figura 8A). 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 CETESB (2022) as concentrações de potássio em águas naturais são usualmente menores que 10 mg/L. As maiores concentrações de potássio obtidas nos anos em estudo, foram menores que 10 mg/L.

A variável magnésio, em sua análise sazonal, apresentou tendência a valores mais elevados durante o período chuvoso, exceto no ano de 2020 (Figura 8B). Os resultados foram semelhantes às observações feitas por Gomes (2023), nesse estudo dos seis lagos analisados, quatro mostraram concentrações de magnésio mais altas durante o período chuvoso. Este fenômeno é explicado pela redução do volume do reservatório, que resulta em uma maior concentração de sais de magnésio (Carvalho *et al.*, 2022).

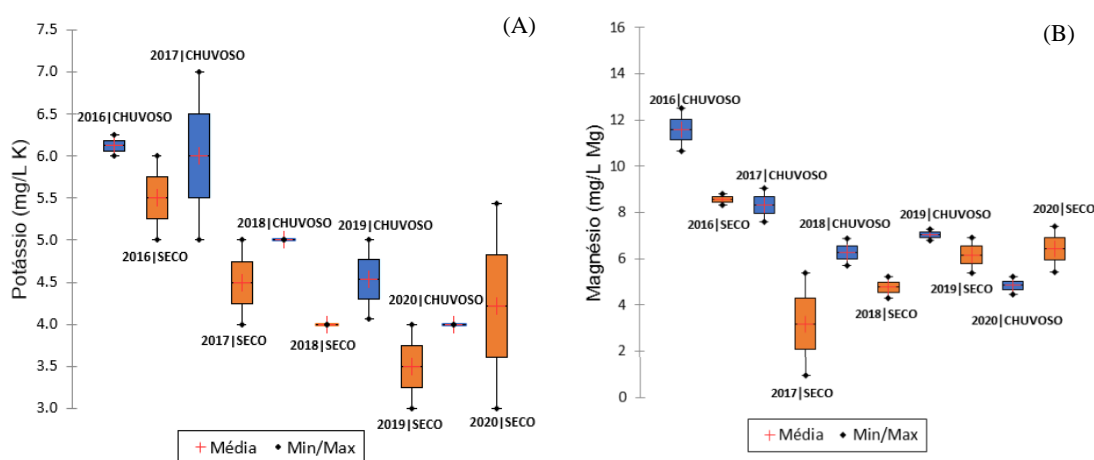


Figura 8. Representação do período sazonal do potássio (A) e magnésio (B).

Analisando as variações de pH entre os períodos chuvoso e de estiagem observa-se que durante as chuvas, as águas predominantemente assumem uma inclinação para o pH básico (Figura 9A). Costa *et al.* (2021) encontraram resultado semelhante em que o aumento nas precipitações impulsiona um crescimento gradual do pH, no Rio Guamá em Belém, Pará. Essa tendência se deve à maior diluição dos compostos dissolvidos e à aceleração do escoamento, como resultado do aumento do volume de água.

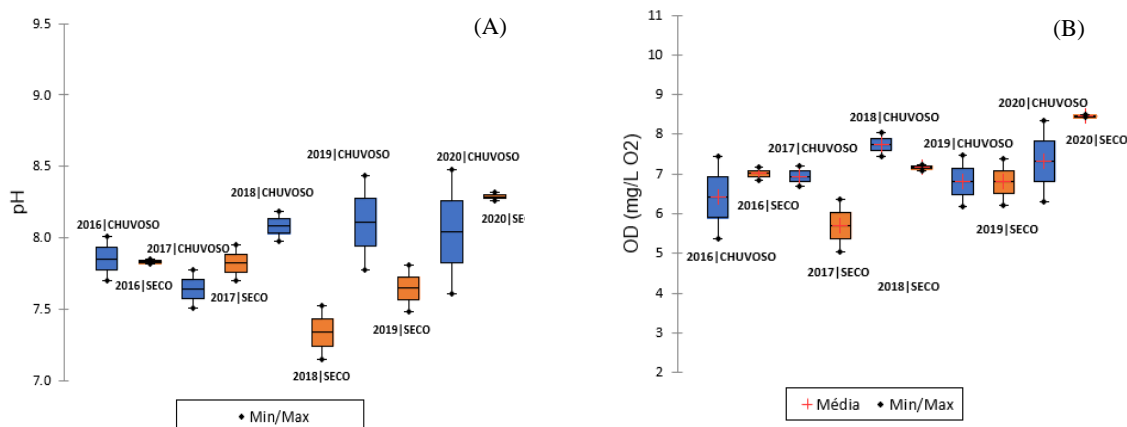


Figura 9. Representação do período sazonal do pH (A) e OD (B).

Ressalta-se que as espécies de alcalinidade como carbonato, bicarbonato e hidróxido são fundamentais para o efeito tampão, pois reagem com ácidos e bases adicionados ao sistema, mantendo o pH estável. Esse mecanismo é essencial em processos biológicos e industriais, onde flutuações de pH podem ser prejudiciais (Moreira *et al*, 2021).

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, os valores aceitáveis para o parâmetro de pH em águas doces de Classe 2 devem situar-se entre 6 e 9. As flutuações dos valores durante os períodos sazonais estão em conformidade com os requisitos legais. Essa conclusão está alinhada com a observação de Sousa *et al*. (2020), que identificou, em reservatórios do semiárido, valores consistentes com os limites estabelecidos pelo CONAMA.

A variável Oxigênio Dissolvido (OD) detém notável importância, uma vez que possibilita a avaliação do nível de poluição por matéria orgânica. De maneira geral, o açude Taquara exibiu valores mais elevados de OD durante o período chuvoso (Figura 9B). Resultados congruentes foram observados por Silva *et al*. (2018), onde o parâmetro de oxigênio dissolvido demonstrou concentrações mais altas durante a estação chuvosa. Esse comportamento é atribuído ao aumento do nível de água nos rios e nascentes, incrementando a turbulência e promovendo uma melhor aeração da água.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores permitidos para o parâmetro de Oxigênio Dissolvido (OD) em águas doces de Classe 2 não devem ser inferiores a 5 mg/L de O₂. Os valores encontrados cumprem com esse requisito estabelecido. Em consonância, a ANA (2021) menciona que águas poluídas por esgotos tendem a apresentar baixa concentração de oxigênio dissolvido, uma vez que este é consumido durante o processo de decomposição da matéria orgânica.

Os resultados referentes ao fósforo total destacam que, de maneira geral, as concentrações mais elevadas foram identificadas durante o período de chuvas (ver Figura 10A). Esse padrão pode ser justificado pela ocorrência do escoamento superficial, que facilita a entrada de matéria orgânica no açude. De acordo com Mendonça *et al.* (2023), o período chuvoso contribui com a altas concentrações de fósforo, juntamente com a entrada de matéria orgânica da bacia hidrográfica.

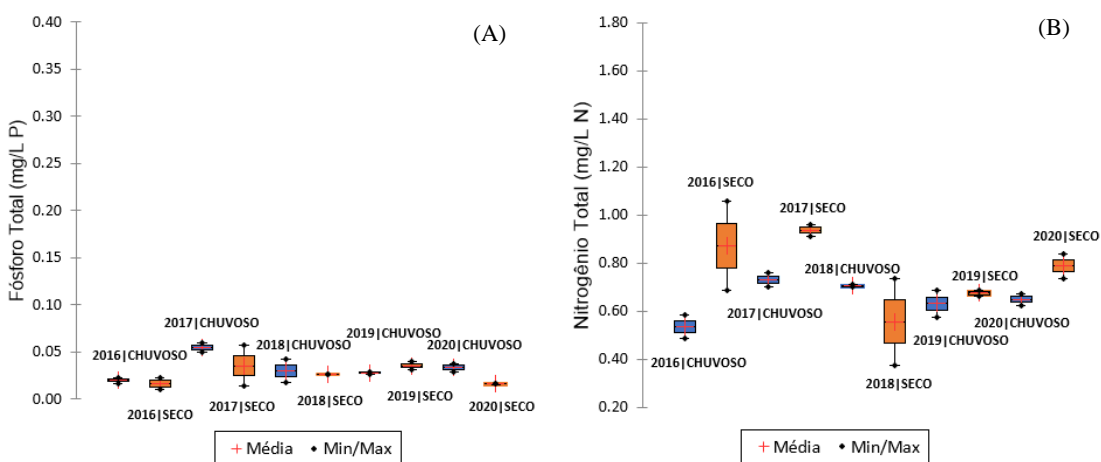


Figura 10. Representação do período sazonal do Fósforo Total (A) e Nitrogênio Total (B).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores permitidos para o parâmetro de fósforo total em águas doces de Classe 2 devem ser inferiores a 0.030 mg/L de fósforo, em ambientes lânticos. O açude Taquara atendeu a essa regulamentação nos anos de 2020 (período de estiagem), 2019 (período chuvoso), 2018 (período de estiagem), e 2016 (períodos de estiagem e chuvoso).

Na Figura 10B, é possível visualizar o comportamento do nitrogênio total sob a influência da sazonalidade. Em geral, o nitrogênio total apresentou concentrações mais elevadas durante a estação de estiagem. De acordo com a ANA (2021), as principais fontes de nitrogênio no ambiente aquático derivam do lançamento de esgoto doméstico e efluentes industriais. Em áreas agrícolas, a escorrência de água da chuva em solos tratados com fertilizantes também contribui para o aporte de nitrogênio, assim como a drenagem de águas pluviais em áreas urbanas.

De acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, que se aplica a ambientes lânticos, o valor máximo aceitável de Nitrogênio Total em águas doces de Classe 2 é de 1.27 mg/L. É importante notar que o açude em estudo está em conformidade com essa resolução regulatória.

Análise Sazonal da Variáveis Biológicas

As flutuações sazonais nas concentrações de clorofila "a" estão evidenciadas na Figura 11A, onde as maiores concentrações foram observadas durante o período de estiagem. Uma conclusão oposta foi encontrada por Lacerda e Mapeli. (2021), em que concentrações mais elevadas de clorofila "a" foram identificadas durante os meses com maior disponibilidade hídrica em áreas de cerrado, na Serra Bandeira, Bahia. Sousa *et al.* (2020) constataram que em reservatórios situados em regiões semiáridas, valores superiores de clorofila "a" foram observados durante períodos de temperaturas mais altas.

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, as concentrações aceitáveis para o parâmetro de clorofila "a" em águas doces de Classe 2 não devem exceder 30 µg/L. Observa-se que, na maioria das análises, os valores deste parâmetro se encontram dentro dos padrões definidos. Contudo, uma exceção foi identificada no ano de 2018, durante o período de estiagem no açude Taquara, com médias de 40.94 µg/L. Um resultado análogo foi obtido por Pontes *et al.* (2019), onde concentrações relativamente elevadas de clorofila foram registradas no reservatório Paulo Sarasate-CE, ultrapassando os valores estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005.

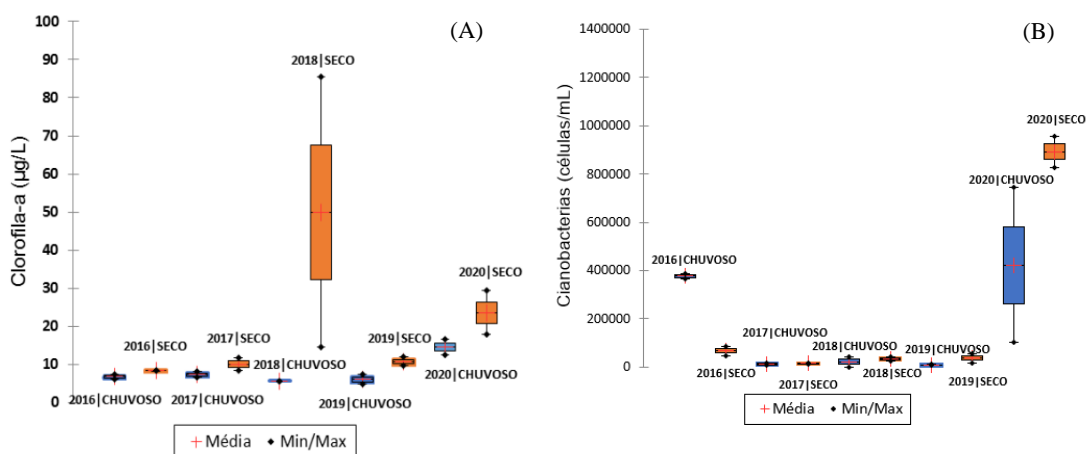


Figura 11. Representação do período sazonal da clorofila "a" (A) e cianobactérias (B).

Na Figura 11B, é possível observar o padrão das cianobactérias em resposta à sazonalidade. De maneira geral, o açude Taquara apresentou maiores valores durante o período de estiagem, um achado similar ao obtido por Lima (2022), que identificou uma maior concentração de cianobactérias durante a época de seca.

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, os limites aceitáveis para o parâmetro de cianobactérias em águas doces de Classe 2 não devem exceder 50000 células/mL. Por meio da análise descritiva, constata-se que os seguintes períodos não estão em conformidade com a legislação: 2016 (estiagem e chuvoso), 2019 (estiagem) e 2020 (estiagem e chuvoso).

Segundo Nichetti (2022), a proliferação de cianobactérias em águas, principalmente em rios, está associada à ação antrópica e à poluição das águas provenientes das atividades da indústria, agricultura e à falta de saneamento básico. O acompanhamento da evolução das cianobactérias em águas de abastecimento é de extrema importância para a segurança e a saúde da população, principalmente perante os problemas ambientais da atualidade.

Na Figura 12, é possível observar o padrão de variação sazonal da *E. coli*. De forma geral, a *E. coli* apresentou concentrações mais elevadas durante a estação chuvosa. Os coliformes termotolerantes, sendo predominantemente representados pela *Escherichia coli*, possuem limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, com um valor máximo permitido de 1000 NMP por 100 mL. Durante o período de análise no açude, as concentrações observadas estiveram em conformidade com os requisitos desta resolução.

De acordo com Sousa *et al.* (2023), a detecção de *E. coli* sugere que a contaminação provavelmente decorre da ausência de saneamento básico nas comunidades ribeirinhas, onde há o lançamento inadequado de esgoto doméstico diretamente nos estuários.

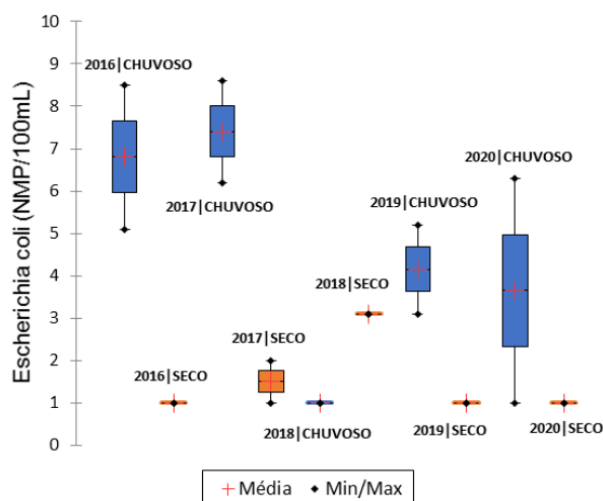


Figura 12. Representação do período sazonal do *E. coli*.

Santos *et al.* (2018) avaliaram o efeito sazonal na qualidade das águas superficiais do rio Jucu no Espírito Santo, analisando variáveis físico-químicas e microbiológicas e verificaram que o fator sazonalidade contribuiu para o agravamento na qualidade da água durante o período avaliado.

Observa-se que o IET aponta para todos os anos e períodos analisados águas classificadas segundo o estado trófico como mesotrófico, que indica um enriquecimento moderado com nutrientes.

É importante destacar que todos os parâmetros analisados podem estar sofrendo interferência das ações antrópicas, pois o desmatamento tem impactos significativos no reservatório, contribuindo para o assoreamento. A perda de vegetação nativa expõe o solo à erosão, facilitando o transporte de sedimentos para o açude durante as chuvas. Além disso, prejudica a camada produtiva do solo, que é rasa na região semiárida, diminuindo sua fertilidade. O escoamento superficial aumentado dificulta a recarga do reservatório, já que reduz a infiltração e consequentemente a água que atinge o lençol freático. O gado bovino pastando próximo ao açude também afeta a qualidade da água, pois seus excrementos ricos em nutrientes podem ser carregados para dentro da bacia hidráulica. A presença de lixões na área de influência do açude causa impactos ambientais negativos, como poluição do solo e do lençol freático. Além disso, o despejo inadequado de resíduos domiciliares e de construção civil é observado na região do reservatório e nas zonas urbanas dos municípios (Ceará, 2017).

Conclusões

A análise abrangente dos parâmetros físicos, químicos e biológicos que compõem a qualidade da água do açude Taquara revela um cenário em que a maioria dos valores, durante o período de avaliação, se situa dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA para águas doces classe 2. Isso indica um quadro geral de conformidade com os padrões de qualidade regulamentados.

No entanto, é importante salientar que os parâmetros fósforo total, ferro, clorofila *a* e cianobactérias não atenderam aos critérios da mencionada resolução, sugerindo a presença de possíveis interferências de origem antrópica. Esse cenário instiga a reflexão sobre as atividades humanas que podem estar contribuindo para tais discrepâncias e a necessidade de uma abordagem mais atenta no sentido de mitigar essas influências negativas.

Ao longo do período de análise, fica claro o impacto da sazonalidade nos valores dos parâmetros avaliados. Essa observação aponta para a relevância de considerar a flutuação sazonal ao interpretar os resultados e ao planejar intervenções ou políticas destinadas à utilização, preservação e melhoria da qualidade da água nesse ecossistema.

Agradecimientos

Os autores agradecem à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), pelo fornecimento dos dados do seu banco de dados de monitoramento qualitativo e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa de mestrado concedida.

Referencias bibliográficas

- ANA, Agência Nacional de Águas (2019a) *Monitoramento da Qualidade da Água em Rios e Reservatórios*. In: Bases Conceituais para Monitoramento de Águas Continentais. Brasília: Unidade 2, 4 pp.
- ANA, Agência Nacional de Águas (2019b) *Monitoramento da Qualidade da Água em Rios e Reservatórios*. In: Fundamentos legais sobre a Gestão da Qualidade das Águas. Brasília: Unidade 1, 4 pp.
- ANA, Agência Nacional de Águas (2021) *Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA)* Acesso em 16 de maio de 2023, disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn1.
- APHA, American Public Health Association (2017) *Standard methods for the examination of water and wastewaters*. Water Environment Federation, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association, 1445 pp.
- Bernardini, C. S. M., Silva, F. J. A., Farrapeira Neto, C. DE A., Albuquerque, G. de L. S., Alencar. I. F. DE O., Sales, R. J. de M., Toniolli, L. DE S. (2021) Qualidade da água como retrato da vulnerabilidade socioambiental: o caso do rio cocó-Fortaleza/CE. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, **14**(1) <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.70470>.
- Carvalho, B. de A. F., Eloí, W. M., Alexandre, D. M. B. (2022) Análise sazonal da qualidade da água do açude Ayres de Sousa, Ceará, Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, **15**(3), 1203–1219. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.81045>
- Carvalho, L. L. S. D., Lacerda, C. F. D., Carvalho, C. M. D., Lopes, F. B., Andrade, E. M. D., Gomes Filho, R. R. (2020) Spatio-temporal variability of groundwater quality in an irrigated area in the Brazilian semiarid region. *Research, Society and Development*, [S. l.], **9**(8), 644985786. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5786>
- CEARÁ, Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (2017) *Inventários ambientais de açudes da Bacia do Acaraú: Açude Taquara*. Fortaleza, 122 pp.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2022) *Qualidade das águas no estado de São Paulo em 2021 (2022)* São Paulo. Acesso em 6 de setembro de 2023, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/RAI-2021-Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo.pdf>.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005) *Resolução CONAMA 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 República Federativa do Brasil, Brasília.
- Costa, g. M. M., Ribeiro, H. M. C., Pantoja, D. N. S. M., Pontes, A. N., Coutinho, E. C., Bordalo, A. O., Meireles, R. R. (2021) Avaliação do efeito da sazonalidade na qualidade da água superficial no rio Guamá, Belém, PA. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, **12**(10), 545-560. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0043>
- Ferreira, D. B., Barroso, g. R., Dantas, M. S., Oliveira, K. L. DE., Christofaro, C., Oliveira, S. C. (2021) Pluviometric patterns in the São Francisco River basin in Minas Gerais, Brazil. *RBRH*, **26**(27) <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120210035>
- Google Maps (2024) *Datos de mapas @ 2024 Google [Internet]*. Consultado el 29 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://maps.app.goo.gl/osTw4gTmfhe5Jpzb9>

- Gomes, J. M. Estudo sazonal de parâmetros físico-químicos em lagos na região sul do Amazonas. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal do Amazonas, Humaitá (AM) 2023. Acesso em: 16 de agosto de 2023, disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/9499>.
- Koppen, W. (1918) Klassifikation der klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf, *Pet. Mitt*, **64**, 193-203.
- Lacerda, V. O., Mapeli, A. M. (2021) Efeitos da sazonalidade sobre a fenologia e a fisiologia de *Parkia platycephala* Benth (Fabaceae, Caesalpinioideae) em área de Cerrado. *Ciência Florestal*, **31**, 1344-1363. <https://doi.org/10.5902/1980509839111>.
- Lima, F. J. D. O., Lopes, F. B., Andrade, E., Rocha, F. C. D., Meireles, A. C. (2022) Spatio-Temporal Dynamics of Toxic Cyanobacteria in an Artificial Lake in the Brazilian Semi-Arid Region. *Revista Caatinga*, **35**, 423-435. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n218cr>.
- Lima, W.S., Garcia, C.A.B. (2008) Qualidade da Água em Ribeirópolis-SE: o Açude do Cajueiro e a Barragem do João Ferreira. *Scientia Plena*, **4**(12), 1-24. Acesso em: 18 de Agosto de 2023, disponível em: <https://scientiaplenu.emnuvens.com.br/sp/article/view/650>.
- Mascoli Junior, R., Anjos, R. C. dos, Sousa, Y. de L., Ribeiro, M. L. (2020) Análise temporal da qualidade da água de corpos hídricos urbanos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, **13**(2), 263-272. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.2.64563>
- Mendonça, J. C., Lopes, F. B., Andrade, E. M., Praxedes, C. F., Lima, F. J. O., Silva, F. H. O. (2023) Qualitative vulnerability of the waters of a surface reservoir subjected to drought in a tropical semi-arid region. *Revista Ciência Agronômica*, **54**(2023). <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230033>
- Moreira, O. B. de., Castro, L. dos A., Oliveira, M. A. L. de. (2021) Cálculo e preparo de soluções tampão: guia completo usando o software peakmaster. *Química Nova*, **44**(6), 783-791. Acesso em 09 de abril de 2024, disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170702>
- Nascimento, M. D. N., Bush, M., Bicudo, D. D. C. (2021) Qualidade da água e dinâmica espacial e sazonal no maior reservatório de fornecimento de água do Brasil e implicações para comunidades de diatomáceas. *Acta Limnológica Brasiliensis*, **33**. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X7120>
- Nichetti, L. M. K., Dysarz, J. M., Batista, A. G., Dalonso, N. (2022) Avaliação das florações de cianobactérias nos rios de abastecimento do município de Joinville. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **27**, 477-487. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200289>.
- Piratoba, A. R. A., Ribeiro, H. M. C.; Morales, G. P., Gonçalves, W. G. (2017) Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, **12**(3), 435-456. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>
- Pontes, M. M., Barros Filho, M. A. C., Freitas, F. R. S. (2019) Variação temporal de fatores limnológicos no reservatório Paulo Sarasate, Ceará. In *Anais do 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Natal, RN. Acesso em 16 outubro de 2023, disponível em: <https://www.abes-dn.org.br/congresso-da-abes-em-natal-acesse-anais-eletronicos-palestras-e-certificados/>.
- Pratte-Santos, R., Terra, V.R, Azevedo Júnior, R.R. (2018) Avaliação do efeito sazonal na qualidade das águas superficiais do rio Jucu, Espírito Santo, sudeste do Brasil. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], **3**, 127-143. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n3-2018-7>.
- Santos, Z., Sousa, M. S., Santos, R. F., Lopes, R. B., Melo, S. G., Moura, L. S. (2021) Análise do índice de qualidade de água em função da sazonalidade na microbacia do Irurá no município de Santarém-Pará. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, **12**(5), 314-326. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0027>
- Silva, A. E. P., Angelis, C. F., Machado, L. A. T., Waichaman, A. (2008) Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazônica*, **38**(4), 733-742. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400017>
- Silva, A. G., Souza, L. D. (2013) Efeitos antrópicos e sazonais na qualidade da água do rio do Carmo. *HOLOS*, **5**, 122-136. <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1197>.

- Silva, M. B. M. DA., Brandão, I. A. de P., Ribeiro, M. M. R. (2022) Feasibility, seasonality and reliability of rainwater harvesting in buildings of a university in Campina Grande, Paraíba. *RBRH*, **27**(17). <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220210127>
- Sousa, C. B., Costa, F. N., Funo, I. C. da S. A., FREITAS, A. S., BARROS, T. M. (2023) Qualidade microbiológica de ostras e de águas em manguezais de macromaré da costa amazônica (ilha de São Luís, MA), Brasil. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, **28**, e20220051. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220051>
- Sousa, K. P. de, Eloi, W. M., Barreto, F. M. DE S. (2021) Evaluation of the water quality of the Maceió stream estuary. *International Journal of Development Research*, **11**(09), 50282-50288. <https://doi.org/10.37118/ijdr.22897.09.2021>.
- Sousa, K.A., DE Espindola, G. M., da Silva, C.E. (2020) Análise de atributos limnológicos em reservatórios do semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **14**(01), 357-371. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p357-371>