

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA MICROBIOLÓGICA E INDICADORES DE ESTADO TRÓFICO EM UM RESERVATÓRIO DE USOS MÚLTIPLOS, LOCALIZADO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA MICROBIOLÓGICA Y DE INDICADORES DE ESTADO TRÓFICO EM UM RESERVÓRIO DE USO MÚLTIPLE UBICADO EM EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

ASSESSMENT OF MICROBIOLOGICAL DYNAMICS AND TROPHIC STATUS INDICATORS IN A MULTI USE RESERVOIR LOCATED IN THE BRAZILIAN SEMIARID

Júlio César Sousa Prado¹; Letícia Lacerda Freire¹; Francisco Hiago de Siqueira Gomes²; Marcus Vinícius Freire Andrade¹; Mayara Carantino Costa¹

1. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará | *Campus Sobral* – Programa de Especialização em Gestão Ambiental.
2. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH).

PALAVRAS-CHAVE

Água; Acaraú Mirim; Cianobactérias; *Escherichia coli*; Sazonalidade.

PALABRAS CLAVE

Agua; Acaraú Mirim; Cianobacterias; *Escherichia coli*; Estacionalidad.

KEY WORDS

Water; Acaraú Mirim; Cyanobactérias; *Escherichia coli*; Seasonality.

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a dinâmica da qualidade microbiológica com base nas concentrações de *E. coli* e sua relação com indicadores de estado trófico (IET) do período seco e chuvoso das águas do reservatório Acaraú Mirim, localizado no Município de Massapê – CE, Brasil, entre o período de 2014-2020. As variáveis de interesse definidas foram: contagem de *E. coli*, concentrações de Fósforo e Clorofila *a*, para determinar os IET e a quantificação de cianobactérias. Os resultados mostraram que há relação moderada entre os níveis de precipitação e as concentrações de *E. coli* do reservatório, diferente do período seco. A relação entre as concentrações de *E. coli* e os valores de IET, e as concentrações de cianobactérias, não houve correlação. Na comparação entre a qualidade da água, considerando as variáveis analisadas e os padrões nacionais para enquadramento de águas doces classe II, o reservatório apresentou possibilidade de atendimento às classes I/II.

RESUMEN

*Este estudio tuvo como objetivo evaluar la dinámica de la calidad microbiológica a partir de las concentraciones de *E. coli* y su relación con los indicadores de estado trófico (TSI) en la estación seca y lluviosa de las aguas del embalse Acaraú Mirim, ubicado en el Municipio de Massapê - CE, Brasil, entre el período 2014-2020. Las variables de interés definidas fueron: conteos de *E. coli*, concentraciones de Fósforo y Clorofila *a*, para determinar TSI y cuantificación de cianobacterias. Los resultados mostraron que existe una relación moderada entre los niveles de precipitación y las concentraciones de *E. coli* en el embalse, a diferencia del período seco. La relación entre las concentraciones de *E. coli* y los valores de TSI y las concentraciones de cianobacterias no se correlacionó. En la comparación entre la calidad del agua, considerando las variables analizadas y las normas nacionales para la clasificación de agua dulce clase II, el embalse presentó la posibilidad de cumplir con las clases I/II.*

ABSTRACT

*This study aimed to evaluate the dynamics of microbiological quality based on *E. coli* concentrations and their relationship with trophic state indicators (TSI) in the dry and rainy season of the waters of the Acaraú Mirim reservoir, located in the Municipality of Massapê - CE, Brazil, between the period 2014-2020. The variables of interest defined were: *E. coli* counts, Phosphorus and Chlorophyll *a* concentration, to determine TSI and quantification of cyanobacteria. The results showed that there is a moderate relationship between the levels of precipitation and the concentrations of *E. coli* in the reservoir, different from the dry period. The relationship between *E. coli* concentrations and TSI values, and cyanobacterial concentrations, was not correlated. In the comparison between the water quality, considering the analyzed variables and the national standards for classification of class II fresh water, the reservoir presented the possibility of meeting classes I/II.*

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos principais recursos do meio ambiente necessários para a sobrevivência dos seres vivos (LASKAR *et al.*, 2022). Para o abastecimento humano, tal elemento deve estar potável, ou seja, livre de substâncias e organismos que possam trazer consequências para aqueles indivíduos que as consomem (ROSSI *et al.*, 2020). A Organização Mundial da Saúde – OMS (2002) revela que a água para consumo ou fins recreativos, quando não tratada, pode se tornar um veículo de transmissão de doenças infecciosas, principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo.

O semiárido brasileiro possui baixos índices de segurança hídrica (ROCHA; SOARES, 2015). Tal problemática está atrelada, principalmente, à precipitação anual geralmente inferior a 800 mm, elevados índices de evapotranspiração potencial (acima de 2000 mm), má distribuição espaço-temporal, resultando em longos períodos de estiagem (ANA, 2019). Com isso, historicamente houve a necessidade da construção de reservatórios no intuito de represar água para haver a regularização da disponibilidade para o abastecimento da população e usos múltiplos (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

Muitos desses reservatórios funcionam como receptores de águas residuárias e resíduos sólidos, acarretando no aumento de nutrientes responsáveis pela eutrofização progressiva do corpo hídrico, e conseqüentemente, alterando sua estrutura trófica. Em resposta, muitos reservatórios perderam a capacidade para abastecimento humano, manutenção da vida aquática e a possibilidade de realizações de atividades de recreação (BRITO, 2015; VIDAL).

A evolução do estado trófico do corpo hídrico ocasionado por maior concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, associados às condições ambientais adequadas, como temperatura e radiação solar, podem favorecer o desenvolvimento de cianobactérias (SONOBE; LAMPARELLI; CUNHA, 2019). E quando tais variáveis são associadas à temperatura adequada, existem fortes indícios de aumento da carga microbiana do corpo d'água (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

O grupo dos coliformes são os principais indicadores de contaminação da água, sendo esse grupo dividido em coliformes totais (CT) e termotolerantes (CTT), os CT são bactérias da família Enterobacteriaceae, classificadas morfológicamente como bacilos, gram-negativos, não formadores de esporos (PRADO; MATEUS, 2022). Apresentam-se como microrganismos aeróbios e anaeróbios facultativos, fermentadores de lactose quando submetidos à 35°C por 24 h / 48 h, com produção de gás (MADIGAN *et al.* 2016). Os CTT são um subgrupo dos CT, que fermentam lactose a 44,5°C a 24 h / 48 h, apresentam como principal bioindicador de contaminação fecal a bactéria *Escherichia coli* (PRADO *et al.* 2019). O habitat normal da *E. coli* é o intestino de animais de sangue quente, surtos relacionados a este microrganismo estão ligados ao descarte incorreto de esgoto em corpos d'água, em que tais mananciais são utilizados para abastecimento humano ou irrigação de hortaliças (ISHII, SADOWSKY, 2008).

Pesquisas revelam o aumento nas concentrações de *E. coli* em reservatórios em período chuvoso, possivelmente atrelado à maior drenagem de água contaminada proveniente das residências de entorno desses reservatórios, sugerindo uma maior possibilidade de alteração da qualidade sanitária da água em tais períodos (KOLM; SIQUEIRA; MACHADO, 2016). Souza *et al.* (2019), ao analisarem os indicadores microbiológicos nas águas do reservatório Sobral (Ceará), no período de março de 2016 a setembro de 2017, observaram maior concentração de *E. coli* no período chuvoso, atribuindo ao aumento da poluição pela presença de matéria orgânica carregada pela chuva.

Dessa forma, este trabalho objetivou analisar a dinâmica microbiológica com base nas concentrações de *E. coli* e a sua relação com indicadores de estado trófico nas águas do reservatório Acaraú Mirim, localizado no Município de Massapê – CE, Brasil, entre o período de 2014 a 2020.

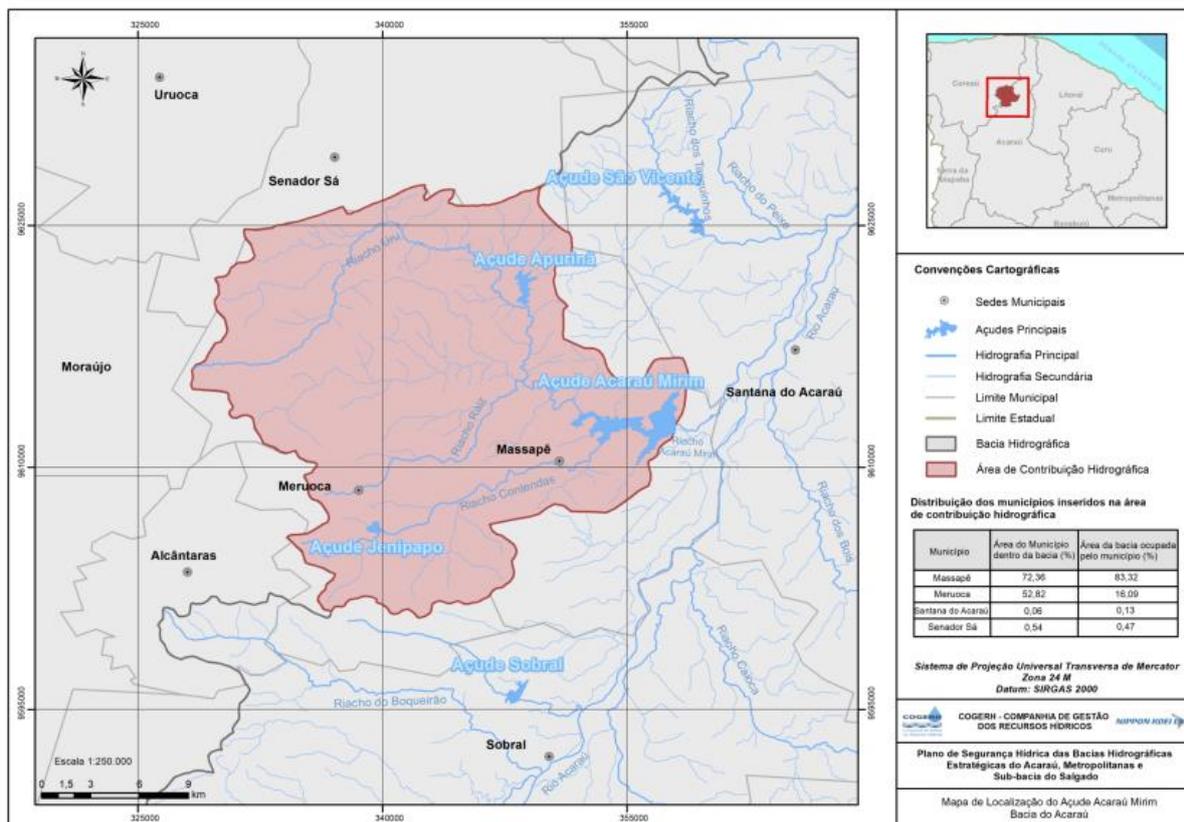
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar a dinâmica microbiológica da água do reservatório Acaraú Mirim foram considerados os dados da presença e concentração de *E. coli* do período seco e chuvoso. Tais achados foram correlacionados com o Índice de Estado Trófico (IET) e as quantificações de cianobactérias. Após, os resultados das variáveis analisadas foram comparados aos padrões para águas doces em Classe II, conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

2.1 Área de estudo

O reservatório Acaraú Mirim está localizado no município de Massapê – CE, conforme as coordenadas UTM, Zona 24 M, 9627608 mN e 960026 mN, e 358818 mE e 328338 mE, na porção noroeste da Bacia Hidrográfica do Acaraú. Na Figura 1 estão apresentados os principais contribuintes da rede hidrológica para o reservatório Acaraú Mirim, sendo eles: o Riacho Acaraú Mirim, o Riacho Uru e o Riacho Contendas (COGERH, 2017).

Figura 1 - Localização do reservatório Acaraú Mirim e da área de contribuição hidrográfica.



Fonte: Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (2017).

O reservatório artificial construído em 1907, apresenta barragem do tipo terra homogênea, com capacidade de armazenamento de 28,57 hm³, apresentando área da bacia hidrográfica de 492,270 km² e área hidráulica correspondente a 746 ha, com altura máxima da lâmina d'água de 18 m (SRH/CE, 2015).

O município de Massapê é abastecido com águas do reservatório Acaraú Mirim, assim como as localidades de Tangurê, Aiuá, Santa Rosa, Pedro Linhas e Tangente. Além do abastecimento, outras atividades estão ligadas ao açude, como a piscicultura, a irrigação de culturas agrícolas e a dessedentação de animais (COGERH, 2017).

2.2 Obtenção de dados e análise estatística

Foram realizadas consultas ao Portal Hidro Web (<<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>) para a obtenção de dados da precipitação pluviométrica mensal e diária, bem como ao Portal Hidrológico do Ceará (<<http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/>>) para obtenção de dados sobre o volume de água do reservatório Acaraú Mirim.

Os dados sobre os parâmetros de qualidade foram disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), que realiza o monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios estratégicos do Estado do Ceará, no intuito de promover ações para a gestão dos recursos hídricos. O monitoramento do açude Acaraú Mirim é realizado desde 2008 pela COGERH. As amostras são coletadas e analisadas trimestralmente em um ponto fixo, através de parâmetros químicos, físicos e biológicos.

No período de 2008 a 2014 não houveram avaliações periódicas de todas as variáveis de interesse para este trabalho: contagem de *E. coli*, de cianobactérias, as concentrações de Fósforo total (PT) e Clorofila *a*, para averiguação do estado trófico do corpo d'água. Desse modo, a ausência desses indicadores de qualidade de recursos hídricos, anteriores ao ano de 2014, justifica a escolha do período de avaliação desse trabalho (2014-2020).

Quanto às concentrações de *E. coli* na água do reservatório, foram considerados dados referentes aos resultados do método do substrato enzimático, que permite determinar simultaneamente os CT e *E. coli* presentes em uma determinada amostra, e que tais valores são comparados a tabela do Número Mais Provável (NMP) que apresenta um limite de confiança de 95% (FUNASA, 2013).

A correlação entre as concentrações de *E. coli* (NMP 100 mL⁻¹) e as variáveis de concentração de cianobactérias e o IET, foi determinada pelo coeficiente de correlação linear de Pearson (r) que objetiva analisar a proporcionalidade entre duas variáveis (GARSON, 2009).

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Na equação 1, X é equivalente aos dados de concentração de *E. coli* e Y aos valores de IET ou das contagens de cianobactérias do reservatório Acaraú Mirim. O n equivale ao número da amostra da variável analisada, X_i representa a primeira variável apresentada, \bar{X} a média e S_x representa o desvio padrão da amostra X , igualmente para as variáveis Y . Os resultados de correlação de Pearson (r) podem variar de -1 a 1, onde o sinal indica o nível de relacionamento das variáveis, por outro lado quando os valores se apresentam igual a 0, significa que as variáveis não apresentam correlação (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

Os dados de cada parâmetro foram submetidos ao teste T Student, o qual consiste em um teste de hipóteses que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula, e que tem por finalidade comparar as médias de dois grupos independentes (BARROS; MAZUCHELLI, 2005). Neste trabalho o valor de p foi avaliado como uma significância (α) de 0,5.

Para o IET, foram considerados dados referentes às concentrações de Fósforo e Clorofila a , tais valores foram submetidos as equações 2 e 3 respectivamente, para ambientes lênticos, propostas por Lamparelli (2004).

Equação para definição do IET de Fósforo:

$$IET_L = 10 \times \left(6 - \left\{ \frac{1,77 - 0,42 \times [\ln PT]}{\ln 2} \right\} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Equação para definição do IET de Clorofila a :

$$IET_L = 10 \times \left(6 - \left\{ \frac{0,92 - 0,34 \times [\ln CL]}{\ln 2} \right\} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Na equação 2, PT é a concentração de Fósforo total medida à superfície da água em $\mu\text{g.L}^{-1}$, quanto CL é a concentração de clorofila *a* medida à superfície da água em $\mu\text{g.L}^{-1}$, e In é o logaritmo natural. Após a obtenção dos dados do IET para as concentrações de Fósforo e Clorofila *a*, foi realizada a média aritmética simples (equação 4) dos índices relativos.

$$\text{IET} = \frac{[\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}]}{2} \quad (\text{Equação 4})$$

Para a interpretação dos valores, foi consultada a Tabela 1 de classificação do estado trófico de reservatórios.

Tabela 1 - Classificação do Estado Trófico – Ambientes Lênticos

Categoria Estado Trófico	Ponderação	PT Total – PT ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$\text{PT} \leq 8$	$\text{CL} \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$8 < \text{PT} \leq 19$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < \text{PT} \leq 52$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$
Eutrofico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < \text{PT} \leq 120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < \text{PT} \leq 233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$\text{PT} > 233$	$\text{CL} > 69,05$

Fonte: Lamparelli (2004).

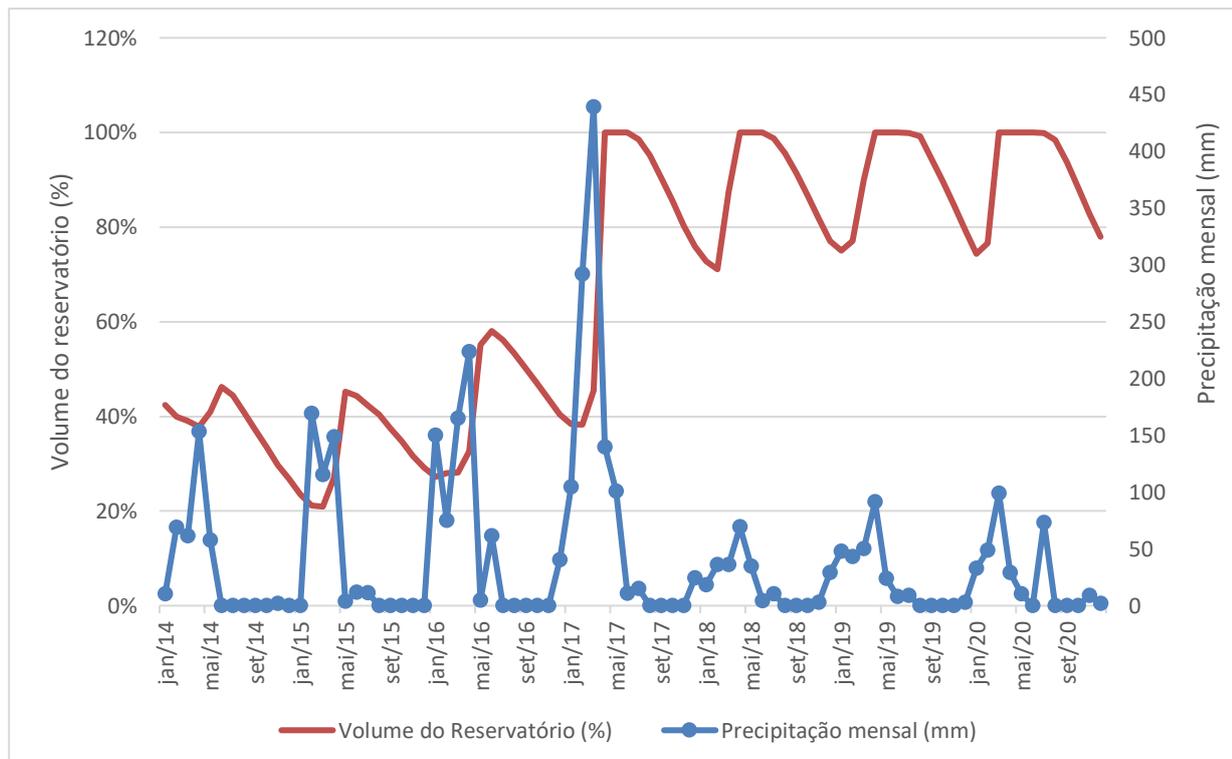
Para a comparação das variáveis analisadas com enquadramento das águas foi utilizado a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, que estabelece que as águas doces sejam aquelas com salinidade $\leq 0,5 \text{‰}$, condição na qual se enquadra o reservatório Acaraú Mirim. Além disso, a referida legislação estabelece classes de qualidade para a água fluvial, quando o reservatório não apresenta o enquadramento, espera-se no mínimo que o reservatório se enquadre em classe II. Em particular a classe II determina que a água esteja viável ao abastecimento humano, após tratamento convencional, também propõe que haja a proteção das comunidades aquáticas, além de ser permitido eventos de contato primário, tais como natação, esqui e mergulho, conforme a Resolução CONAMA nº 274/2000. Atividades ligadas à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas de jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto também são permitidas, além da aquicultura e atividades ligadas à pesca.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Condições de precipitação na área de estudo e volume de água no reservatório Acaraú Mirim

Os resultados da quantificação dos valores de precipitação e volume do reservatório Acaraú Mirim entre o período de 2014 a 2020 estão apresentados na Figura 2. Observa-se que o aumento de volume do reservatório não é instantâneo ao aumento de precipitação da região em que está localizado. Isso pode ser explicado através do ciclo hidrológico, onde inicialmente a maior parte da precipitação fica temporariamente retida no solo, e a outra parte da água escoar na superfície do solo formando os rios e riachos intermitentes, que só então são desaguados dentro dos reservatórios (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Ainda se inclui a água no solo abastecendo os lençóis freáticos e o próprio clima tropical com altas temperaturas e que contribui para os altos índices de perda.

Figura 2 - Precipitação e volume de água no reservatório Acaraú Mirim entre o período de 2014 a 2020



Fonte: Autores (2022).

Os dados referentes à precipitação no período do estudado apresentaram três características distintas, como mostra a Figura 4. É possível observar que o ano mais chuvoso foi o de 2017, com

pico em março de 439,2 mm, e que ocasionou um maior volume captado pelos contribuintes do reservatório a partir de 2018, elevando o seu volume de água. Nota-se que os meses chuvosos são de janeiro a maio, já os meses secos compreendem de junho a dezembro. De acordo com o portal da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME (2019), o mês de dezembro marca o início da pré-estação chuvosa do Ceará, que se estende até janeiro, o início da quadra chuvosa se dar realmente a partir de fevereiro a maio, marcando a quadra invernososa.

Nas pesquisas de Pontes *et al.* (2019), mostrou o monitoramento mensal entre 2016 e 2017 do reservatório Paulo Sarasate, popularmente conhecido como açude Araras, localizado também ao norte do Ceará. Os resultados demonstraram que o mês de março de 2017 foi o mais chuvoso do ano, apesar do pico de 201,8 mm mostrar-se inferior ao exibido nesta pesquisa. Consequentemente o reservatório recebeu um maior aporte hídrico de água o que acarretou no aumento de volume armazenada. Kharake *et al.* (2021), afirmam que uma determinada região pode apresentar distribuição de chuvas assimétricas, e que tal fenômeno pode ter diversas origens e características distintas.

Na região nordestina brasileira ocorrem curtos intervalos de chuvas durante o ano (KOUSKY, 1980), fenômeno que pode ser denominado de seca meteorológica, e que ainda pode ser caracterizada pelo *déficit* de precipitação em relação ao valor normal. Tal região apresenta falta de água induzida pelo desequilíbrio entre precipitação e a evaporação, a qual depende de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e insolação (FERNANDES *et al.*, 2009). Esse tipo de seca existe quando numa determinada região ocorrem precipitações abaixo dos 70% a 75% do valor normal durante um período prolongado (INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES, 2003).

Segundo dados da COGERH (2017), o aporte de água do reservatório Acaraú Mirim é da ordem 124 hm³, valor superior à sua capacidade de armazenamento, que é 40,26 hm³. No entanto, apresenta índice de não superação da capacidade máxima de armazenamento (42%), que pode estar relacionado à ocorrência de anos consecutivos com precipitações abaixo da média.

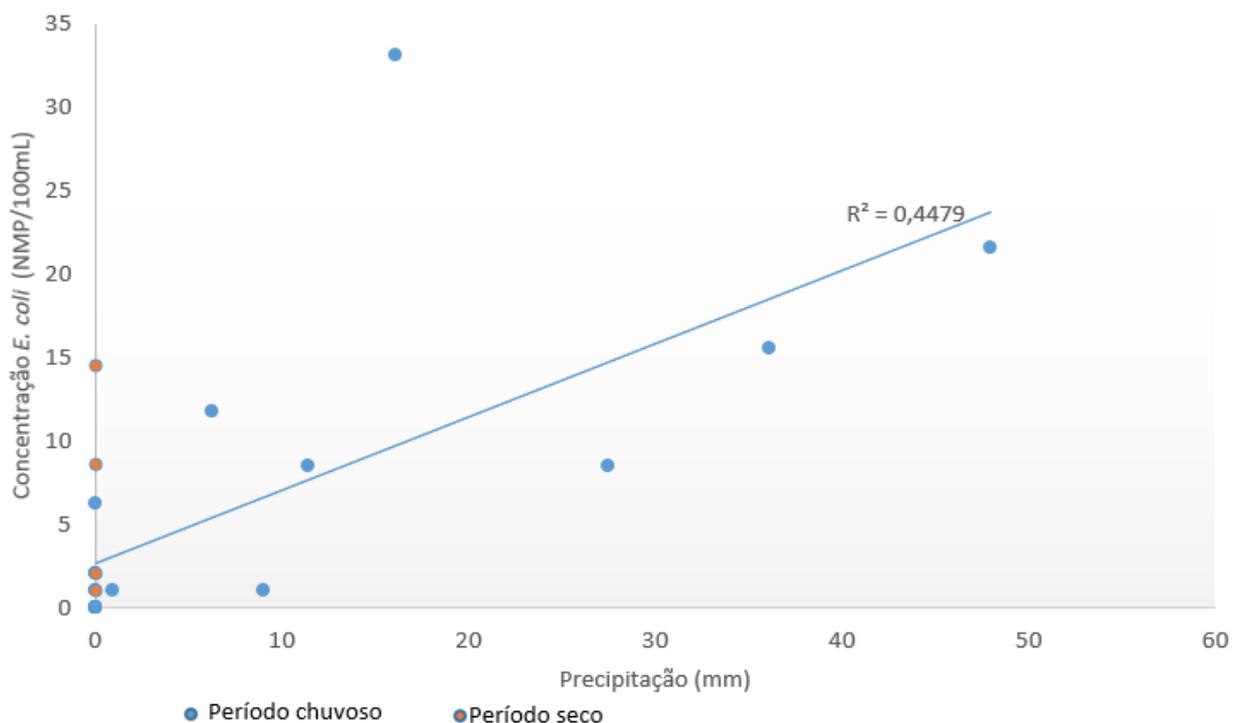
Notadamente o reservatório Acaraú Mirim está significativamente propenso a seca hidrológica, que está relacionada com a redução dos níveis médios de água em reservatórios de superfície e subterrâneo por um determinado período de tempo, podendo ser de dias, semanas, meses ou anos sucessivos. Geralmente está defasado da seca meteorológica, sendo necessário um período maior para que as eficiências de precipitação se traduzam em deficiências nos reservatórios (PIRES, 2003).

Normalmente ocorre no fim de um período muito longo de seca meteorológica. A seca hidrológica traz consequências como a redução de abastecimento de água nos centros urbanos, industriais, nos sistemas de irrigação e na produção de energia elétrica (PEVCIN; RAKAR, 2018).

3.2 Dinâmica da variação sazonal de *E. coli* no reservatório Acaraú Mirim

Na Figura 3 está apresentada a variação sazonal de precipitação em relação às concentrações de *E. coli* (NMP/100mL) na água do reservatório Acaraú Mirim. É possível observar os níveis de precipitação e as concentrações de *E. coli* na estação chuvosa (pontos azuis) e seca (pontos laranjas), seguida pela Tabela 2 com dados estatísticos descritivos.

Figura 3 - Variação sazonal e as concentrações de *E. coli* na água do reservatório Acaraú Mirim



Fonte: Autores (2022).

Tabela 2 – Análise estatística descritiva das concentrações de *E. coli*

Período Sazonal	Mínimo (NMP/100mL)	Máximo (NMP/100mL)	Média (NMP/100mL)	Desvio padrão	Coef. de Variação	Teste T ($\alpha \leq 0,05$)
Seco	1	14,5	2,07	4,09	197%	0,02

Chuvoso	3	33,1	9,03	10,24	113%
----------------	---	------	------	-------	------

Fonte: Autores (2022).

Na estação seca foi detectado a presença de *E. coli* em 46,67% das amostras analisadas do reservatório Acaraú Mirim, com concentrações variando de 1 a 14,5 (NMP/100mL), para a estação chuvosa foi possível a constatação da presença de *E. coli* em 58,33% das amostras analisadas com concentrações variando de 3 a 33,1 (NMP/100mL). Quanto ao resultado do test T de Student, o valor de p (0,02) demonstra existir significativa entre as concentrações de *E. coli* do período seco e chuvoso.

É possível inferir que o período chuvoso exibiu coeficiente de correlação de Pearson (r) com relação moderado ($r= 0,54$) quando comparado a concentração de *E. coli* no reservatório Acaraú Mirim, diferente do período seco que mostrou correlação fraca ($r= -0,07$). Dancey e Reidy (2005) definem que quando o valor da correlação se apresenta na faixa 0,10 até 0,30 pode ser considerada como uma correlação fraca, já quando os valores estão na faixa de 0,40 até 0,60 considera-se como uma correlação moderada, e valores na faixa de 0,70 até 1 considera-se como uma correlação forte. Tal correlação pode ser explicada pelo fato de que quanto maior a precipitação em uma mesma área, maior será escoamento superficial para o interior do reservatório, favorecendo o transporte de sedimentos potencialmente contaminada por microrganismos (TORNEVI; BERGSTEDT; FORSBERG, 2014).

Kistemann *et al.* (2002), ao analisarem a carga microbiana de três afluentes de reservatórios de água potável presentes na Alemanha durante chuvas extremas e escoamento superficial, observaram que as concentrações para coliformes, *E. coli*, contagem de *Streptococcus* spp. e *Clostridium perfringens* aumentaram consideravelmente nos reservatórios durante eventos chuvosos. O fenômeno foi associado ao escoamento extremo, passível de gerar impactos ambientais como a contaminação das fontes para abastecimento humano, deteriorando sua qualidade.

Em contrapartida, Jokinen *et al.* (2019) ao analisarem os níveis de *E. coli* do reservatório Taber Laker localizado no sul de Alberta, Canadá, observaram que as concentrações de *E. coli* sempre estiveram baixas durante a pesquisa, independente do volume de precipitação, o que estaria relacionado com a umidade do solo gerada por precipitações anteriores (como por exemplo, neve, chuva ou irrigação) podendo causar escoamento de outra forma que não ocorreria apenas devido à chuva.

Quanto ao período seco, nota-se menor presença nas concentrações de *E. coli*, com relação aos valores máximos, apesar de haver picos nas concentrações mesmo sem chuvas. Nascimento *et al.* (2016), explicam em seus trabalhos que as altas temperaturas do período seco sobre as águas dos reservatórios, quando associada a uma alta carga de nutrientes, favorece o processo de eutrofização do corpo d'água, levando ao desenvolvimento de plantas aquáticas e cianobactérias nesses ambientes. Todas essas variáveis podem alterar a composição da biomassa da comunidade microbiana presentes nesses locais.

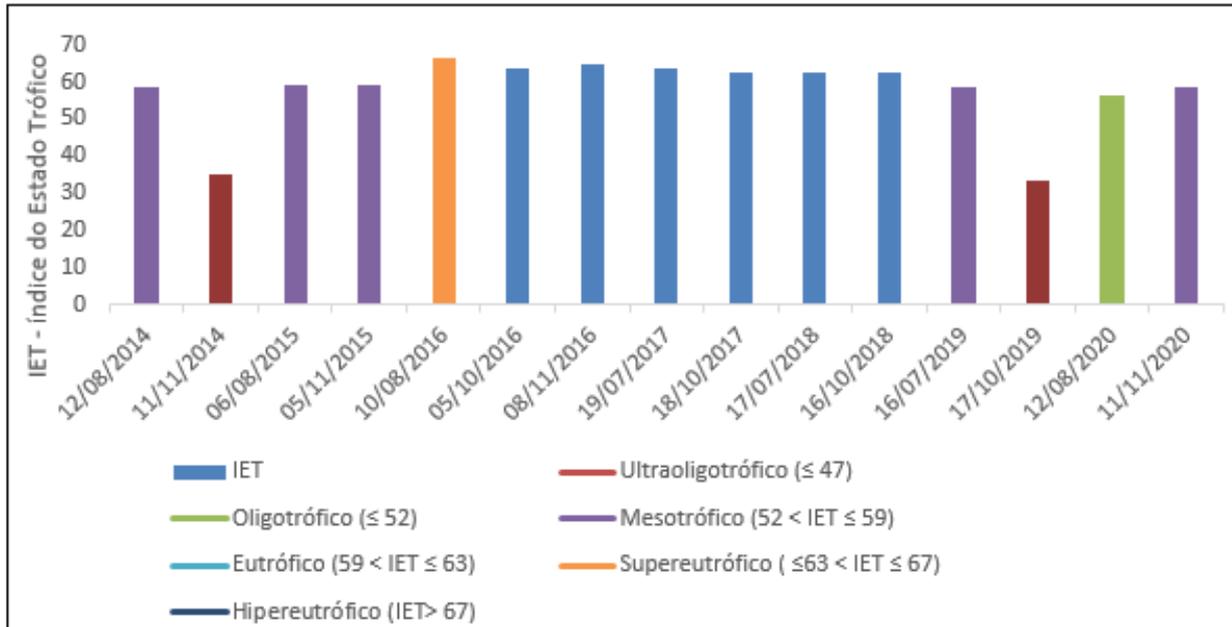
Vermeulen e Hofstra (2013) ao analisarem as concentrações *E. coli* em três sistemas fluviais da Europa Ocidental: Reno, Meuse e Drentse Aa, observaram que as significativas temperatura do período seco sobre as águas dos reservatórios foram correlacionadas negativamente com a concentração de *E. coli*, e isto está de acordo com as expectativas de que temperaturas mais altas aumentam a morte dos microrganismos.

3.3 Dinâmica da variação sazonal de *E. coli* no reservatório Acaraú Mirim

Nas Figuras 4 e 5 estão apresentadas a classificação do Índice do Estado Trófico da água do reservatório Acaraú Mirim do período seco e chuvoso respectivamente, seguidas pela Tabela 3 com dados estatísticos descritivos.

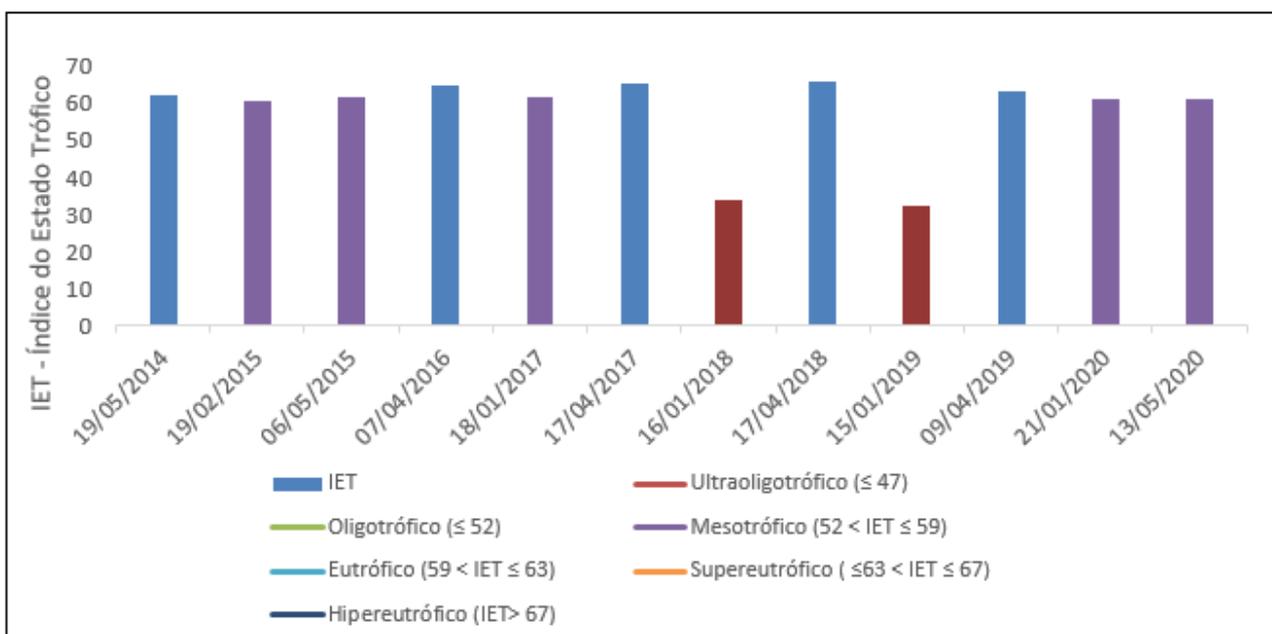
O período seco apontou maior variação dos índices quando comparado ao período chuvoso, apesar do período seco apresentar maior quantidade de campanhas de coleta para as investigações dos parâmetros. Avalia-se também que o reservatório no período seco foi classificado como supereutrófico, diferente do período chuvoso em que a maior classificação observada foi o eutrófica. As águas do reservatório durante a maior parte do período da pesquisa foram classificadas como eutróficas, segundo a escala de Lamparelli (2004).

Figura 4 - Classificação do Índice do Estado Trófico da água do reservatório Acaraú Mirim no período seco



Fonte: Autores (2022).

Figura 5 - Classificação do Índice do Estado Trófico da água do reservatório Acaraú Mirim no período chuvoso



Fonte: Autores (2022).

Tabela 3 - Estatística descritiva dos valores de IET

Período Sazonal	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coef. de Variação	Teste T ($\alpha \leq 0,05$)
Seco	33,52	66,29	57,71	9,92	17%	0,167
Chuvoso	32,42	65,92	57,93	11,67	20%	

Fonte: Autores (2022).

A classificação supereutrófica observada no período seco está relacionada a corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, e que tem relação com a baixa transparência que em geral é afetada por atividade antrópica, nas quais ocorrem com frequência alterações indesejadas na qualidade da água, com a ocorrência de episódios de florações de algas, e interferências nos múltiplos usos (LAMPARELLI, 2004). Tal ocasião pode estar relacionada a um determinado estresse que o reservatório tenha sido submetido. Dessa forma Figueiredo *et al.* (2006), explicam que o aumento da carga poluidora, seja de origem doméstica, industrial, agrícola ou até mesmo a criação de organismos aquáticos contribuem para o processo de eutrofização.

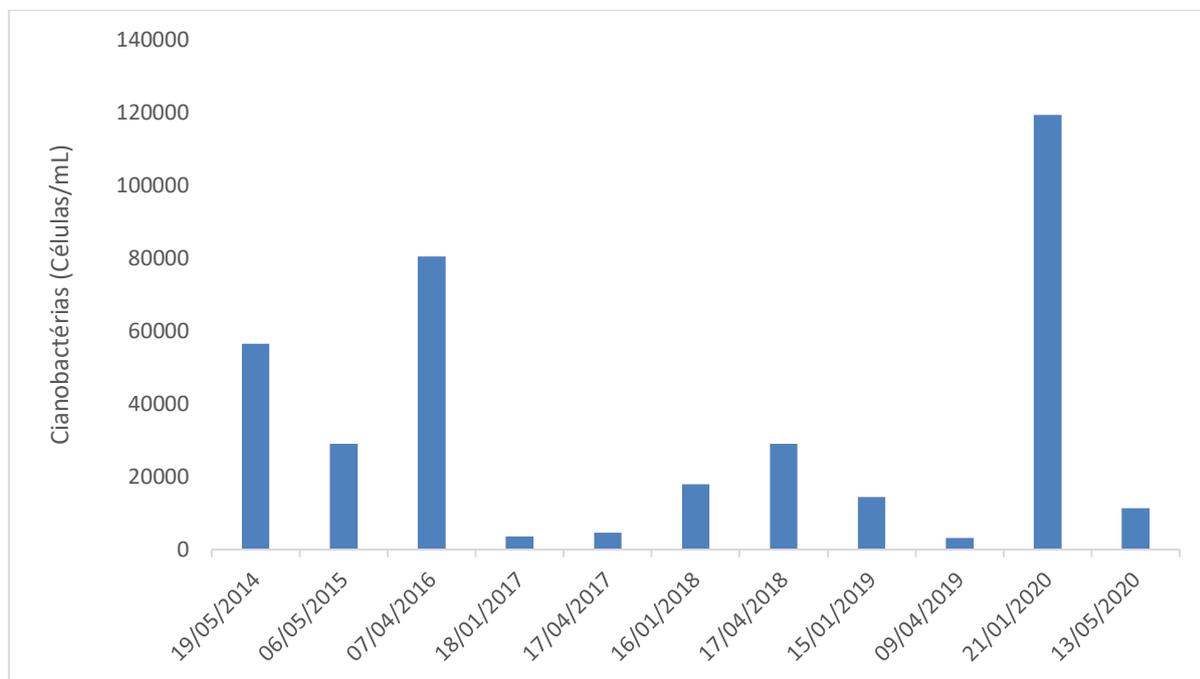
O período seco não apresentou diferença da média de IET comparado ao período chuvoso (Tabela 3), apesar de nesse período ocorrer menor contribuição de sedimentos para o reservatório em razão do escoamento superficial, o que consequentemente não elevaria os níveis de nutrientes (XAVIER, 2005). No entanto, Batista *et al.*, (2014), ao analisarem a variação sazonal dos índices de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil, encontraram os maiores índices do IET para o período seco e que sugeriram que tal evento esteja associado a uma maior evaporação das águas, o que consequentemente causaria uma maior concentração de nutrientes. A estabilidade observada nos valores de IET para a estação chuvosa, pode ser explicada em sua totalidade pelo aumento do volume acumulado de água, que consequentemente age como fator diluente dos nutrientes ali presentes (TOLEDO *et al.*, 1984).

Na maior parte do período avaliado o reservatório Acaraú Mirim apresentou condições eutróficas (40,74%) e mesotróficas (37,04%). Águas eutróficas são aquelas com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, onde ocorre alterações indesejadas na qualidade da água, já quando classificado como Mesotrófico define-se como corpo d'água com eficiência intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos (LAMPARELLI, 2004).

A correlação de Pearson entre as concentrações de *E. coli* e o IET do reservatório no período seco e chuvoso apontaram os valores de $r = 0,032$ e $r = 0,285$ respectivamente, indicando que não houve relação linear significativa entre as variáveis. Com isso, ressalta-se a necessidade de avaliar outros parâmetros, como por exemplo bactérias heterotróficas, que poderiam inibir o crescimento dos coliformes, em especial *E. coli* (MAIER; PEPPER; GERBA, 2004). O resultado do teste t de Student mostrou que o valor de p (0,167) não apresentou diferença significativa entre os níveis de IET do período chuvoso e seco.

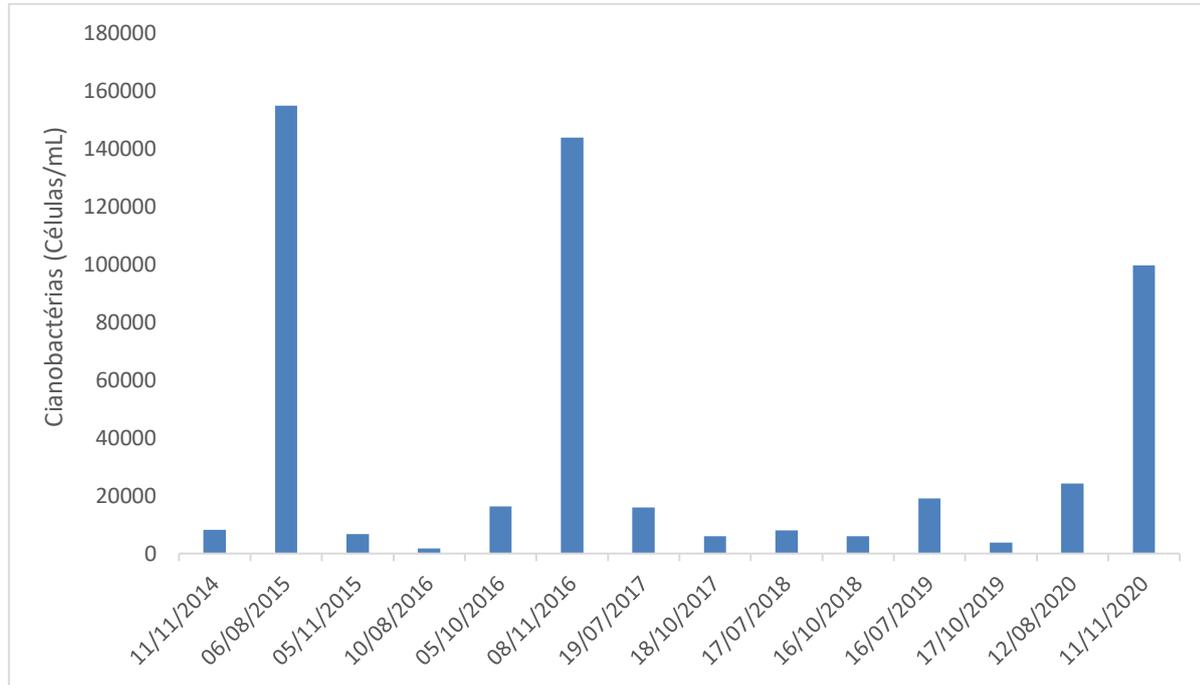
Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas as quantificações de cianobactérias na água do reservatório Acaraú Mirim no período chuvoso e seco, respectivamente, seguidas pela Tabela 4 com dados estatísticos descritivos.

Figura 6 - Contagem de cianobactérias da água do reservatório Acaraú Mirim no período chuvoso



Fonte: Autores (2022).

Figura 7 - Contagem de cianobactérias da água do reservatório Acaraú Mirim no período seco



Fonte: Autores (2022).

Tabela 4 - Estatística descritiva das concentrações de Cianobactérias

Período Sazonal	Mínimo (Células/mL)	Máximo (Células/mL)	Média (Células/mL)	Desvio padrão	Coef. de Variação	Teste T ($\alpha \leq 0,05$)
Seco	1815	154.998	36.782,69	53.682,09	146%	0,207
Chuvoso	3110	119.165	33.559,00	37.213,67	111%	

Fonte: Autores (2022).

No reservatório Acaraú Mirim, a densidade média de cianobactérias no período seco e chuvoso foi de 36.782 células/mL e 33.559 células/mL, respectivamente. Nota-se que no período seco a densidade de cianobactérias foi superior à do período chuvoso. Huszar *et al.* (2000) ao analisarem a densidade média de cianobactérias de reservatórios capixabas e Oliveira e Albuquerque (2009) estudando a qualidade do reservatório de Campinas – PE, também observaram essa variação, onde os autores atribuíram a diminuição da densidade de cianobactérias durante o período chuvoso aos eventos de precipitação que atuam como fator de diluição, como também um fator de estresse das comunidades aquáticas, exercendo forte influência na biomassa total do reservatório. Por outro lado,

Braga *et al.*, (2020), reportam que reservatórios situados em regiões tropicais possuem maior probabilidade de sofrer com a eutrofização, por possuírem, frequentemente, elevadas temperaturas e altas incidências de radiação solar, condição perfeita para o desenvolvimento de cianobactérias.

A portaria GM/MS N°. 888, de 4 de maio de 2021 indica que seja realizado o monitoramento para identificação e contagem de células de cianobactérias de águas bruta quando captada para tratamento e abastecimento humano, limitando a contagem de cianobactérias no ponto de captação de até 10.000 células/mL, o documento ainda expõe que quando os limites ultrapassarem 20.000 células/mL deve-se realizar investigação das cianotoxinas microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas com frequência mínima semanal.

Os achados dessa pesquisa revelam que tanto no período seco como durante o chuvoso, houveram intervalos de tempo com valores superiores aos indicados pela portaria do Ministério da Saúde. A portaria ainda indica o não uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias no manancial ou qualquer intervenção que provoque a lise das células, definindo apenas as excepcionalidades sobre tal uso.

Os dados para cianobactérias não apresentaram correlação significativa entre as concentrações de *E. coli* para o período chuvoso e seco, mesmo realizando a padronização dos valores das concentrações. Para o resultado do teste t de Student, mostrou que o valor de *p* (0,207) não apresentou diferença significativa entre a contagem de cianobactérias do período chuvoso e seco.

Estudos realizados por Cho *et al.* (2021), mostram que há fortes indícios de interação entre cianobactérias e *E. coli* em águas mais quentes, com o aumento da estratificação térmica e formação de espumas superficiais. Isso forneceriam vantagens competitivas adicionais para cianobactérias em comparação com algas eucarióticas em sistemas de água doce, cenário que pode promover o crescimento de *E. coli*. Patz *et al.* (2014), relatam que há maiores probabilidade de altas concentrações de *E. coli* e cianobactérias no período chuvoso em reservatórios, pois tais fatos podem sobrecarregar sistemas de esgotos e levar a transbordamentos que contaminam as águas, proporcionando assim oportunidades adicionais para interações sinérgicas.

3.4 Comparação entre as variáveis analisadas e os padrões para o enquadramento de águas doces Classe II (BRASIL, 2015)

As variáveis analisadas para o período seco e chuvoso para as concentrações de *E. coli* variaram de 1 NMP/100mL a 14,5 NMP/100mL, e 3 NMP/100mL a 48 NMP/100mL respectivamente, já as concentrações de PT variaram 0,015 mg/L a 0,073 mg/L, e 0,032 mg/L a 0,157 mg/L, para as concentrações de clorofila *a* variaram 0,0001 µg/L a 85,97 µg/L, e 0,0001 µg/L a 23,49 µg/L, e por último as concentrações de cianobactérias variaram 1.815 células/mL a 154.994 células/mL, e 3.110 células/mL a 119.165 células/mL.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 357/2005 quando CT (*E. coli*) forem detectados em águas doces utilizadas para fins recreativos deverão ser obedecidos os padrões de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA N° 274/2000. Esta resolução, considera uma água excelente qualidade quando os valores de CT e *E. coli* não ultrapassam os valores de 250 CT e 200 *E. coli* NMP por 100 mL, e quando água for utilizada para os demais fins, não deverá ultrapassar o limite de 200 CT por 100 mL (CONAMA 357/05). Isso indica que as concentrações de *E. coli* do reservatório Acaraú Mirim estiveram dentro dos limites estabelecidos para corpos d'águas enquadradas na classe II.

Quanto às concentrações de PT, o reservatório Acaraú Mirim no período seco na sua maioria das vezes (53,33%) quando comparado com Resolução CONAMA N° 375/2005 atenderia a classe III para ambientes lênticos, apesar desse período também exibir as menores concentrações de PT quando comparado ao período chuvoso, atendendo também na classe I (6,67%). Quanto ao período chuvoso, o reservatório apresentou concentrações de PT (75%) acima do padrão estabelecido, podendo atender a classe III em apenas três (25%) campanhas de coletas. Isso significa que o reservatório Acaraú Mirim na maioria do ano atenderia a classe III com a presença de concentrações de PT acima do permitido pela legislação ambiental para águas doces.

Para clorofila *a*, o reservatório no período seco apresentou concentrações acima do estabelecido (6,67%) equiparando com a legislação. Nesse período o reservatório atendeu a Classe II (40%), Classe I para o período seco (53,33%) e chuvoso (78,57%). Quanto às concentrações de cianobactérias o reservatório Acaraú Mirim quando comparado a Resolução, atendeu a classe I para o período seco (66,67%) e chuvoso (50%), apontando conformidade na maioria do ano com a Resolução CONAMA N° 357/2005 para classe I.

3.5 CONCLUSÃO

Em síntese, os resultados comprovaram que as maiores concentrações de *E. coli* na água do reservatório Acaraú Mirim tiveram correlação principalmente com o período chuvoso, ou seja, maiores os níveis de precipitação, maiores às concentrações de *E. coli*. Para os parâmetros de IET e cianobactérias não foi evidenciado correlação significativa período seco e chuvoso.

Quando comparado os parâmetros analisados na Resolução CONAMA 357/2005, as águas do reservatório Acaraú Mirim apresentaram fortes indícios de enquadramento nas classes I e II para águas doces. Os resultados microbiológicos sugerem a necessidade de uma maior frequência de vigilância bacteriológica da água do reservatório no período chuvoso, como também o desenvolvimento de ações de educação ambiental para a divulgação dos problemas potenciais nesse período. Além da identificação das fontes poluidoras para que sejam aplicadas ações de controle para a preservação e manutenção da qualidade da água. Assim, ressalta-se a importância do monitoramento sistemático da qualidade das águas dos mananciais, não buscando atender apenas a uma legislação específica, mas também para prevenção de problemas que podem ser prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

REFERÊNCIAS

- BARROS, E. A. C.; MAZUCHELI, J. Um estudo sobre o tamanho e poder dos testes t-Student e Wilcoxon. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 27, n. 1, p. 23-32, 2005.
- BATISTA, A. A.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; IZIDIO, N. M. C.; LOPES, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 39-48, 2014.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.; BARROS, M.; SPENCER, M.; PORTO, M.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental 2ª**. Reimpressão. São Paulo. Ed Prentice Hall. 305p. 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). Plano Nacional de Segurança Hídrica. Brasília, 2019.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 274/2000. Classificação das águas doces, salobras e salinas e determinar os limites e categorias de balneabilidade. Publicado no D.O.U, 2000.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357/2005. Classificação de águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U, 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Manual Prático de Análise de Água. 4º Ed. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888/2021. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade. Brasília, 2021.

BRITO, M. R. Gestão dos recursos hídricos em Jaicós-PI. 2015.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 186-205, 2013.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). Inventários Ambientais de Açudes da Bacia do Acaraú: Açude Acaraú Mirim. Fortaleza, 2017.

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Portal Hidrológico do Ceará (2019). Disponível em: <<http://www.funceme.br/?p=5963>> Acesso em: 31 de Dez de 2021.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH). Atlas Eletrônico de Recursos Hídricos do Ceará. Fortaleza, 2015.

CHO, K.; WOLNY, J.; KASE, J.A; UNNO, T.; PACHEPSKY, Y. Interactions of E. coli with algae and aquatic vegetation in natural waters. *Water research*. **Water research**, 117952, 2021.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. **Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 336, 2013.

DANCEY, C.; REIDY, J. *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows*. Porto Alegre, Artmed, 2006.

FERNANDES, D. S.; HEINEMAN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, S. C. Índices para a quantificação da seca. **Embrapa Arroz e Feijão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 1-33, 2009.

FIGUEIREDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. B.; MOTA, F. S. B. Avaliação do risco de eutrofização em reservatórios da bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Tecnológica de Fortaleza**, v. 27, n. 2, p. 179-189, 2006.

GARSON, G. D. Statnotes: Topics in Multivariate Analysis. 2009. Disponível em: <<http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>>

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C. L. Assembléias de cianoprocaríotos em oito águas tropicais produtivas brasileiras. In: **O espectro trófico revisitado**. Springer, Dordrecht, p. 67-77. 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES. Atlas para preparação e resposta contra desastres na Bacia do Limpopo. Cidade do Cabo, 99 p. (Creda Communications). 2003.

ISHII, S.; SADOWSKY, M. J. Escherichia coli in the environment: implications for water quality and human health. **Microbes and environments**, v. 23, n. 2, p. 101-108, 2008.

JOKINEN, C. C.; HILLMAN, E.; TYMENSEN, L. Sources of generic Escherichia coli and factors impacting guideline exceedances for food safety in an irrigation reservoir outlet and two canals. **Water research**, v. 156, p. 148-158, 2019.

KHARAKE, Ashali; PATHARE, Jyoti; DESHMUKH, Pragati. Spatio-temporal variability of intra-monsoonal rainfall in Pravara-Mula River Basin, India. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 10, p. 1-10, 2021.

KISTEMANN, T. T.; CLABEN, C. K.; DANGENDORF, F.; FISCHER, R.; GEBEL, J.; VACATA, V.; EXNER, M. Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. **Applied and environmental microbiology**, v. 68, n. 5, p. 2188-2197, 2002.

KOLM, H. E.; SIQUEIRA, A.; MACHADO, E. C. Influência da pluviosidade na qualidade da água de dois sangradouros do litoral do Paraná, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, Itajaí**, v. 20, n. 2, p. 1-11, 2016.

KOUSKY, Vernon E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2004.

LASKAR, N.; SINGH, U.; KUMAR, R.; MEENA, S. K. Spring water quality and assessment of associated health risks around the urban Tuirial landfill site in Aizawl, Mizoram, India. **Groundwater for Sustainable Development**, p. 100726, 2022.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M. **Microbiologia de Brock-14ª Edição**. Artmed Editora, 2016.

MAIER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. **Environmental Microbiology-2Ed**. San Diego; Academic Press, 2004.

NASCIMENTO, E. D.; MAIA, C. M. M.; ARAÚJO, M. F. F. Contaminação da água de reservatórios do semiárido potiguar por bactérias de importância médica. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 414-427, 2016.

OLIVEIRA, F. H. P. C.; ALBUQUERQUE, N. L. AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE JUCAZINHO (PERNAMBUCO-BRASIL), PERTENCENTE À BACIA DO RIO CAPIBARIBE. In: ANAIS DO XVIII DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, Campo Grande – MS, 2009.

Organização Mundial da Saúde - OMS. Water, Sanitation, and World Health Organization. *Emerging issues in water and infectious disease*. 2002.

PATZ, J. A.; GRABOW, M. L.; LIMAYE, V. S. When it rains, it pours: future climate extremes and health. *Annals of Global Health*, v. 80, n. 4, p. 332-344, 2014.

PEVCIN, P.; RAKAR, I. Evaluation of Delivery Mechanisms in the Water Supply Industry—Evidence from Slovenia. In: **Evaluating Reforms of Local Public and Social Services in Europe**. Palgrave Macmillan, Cham, p. 207-223. 2018.

PIRES, V. Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Universidade de Lisboa, Portugal. 2003.

PONTES, M. M.; BARROS FILHO, M. A. C.; FREITAS, F. R. S. IV-259-VARIAÇÃO TEMPORAL DE FATORES LIMNOLÓGICOS NO RESERVATÓRIO PAULO SARASATE, CEARÁ. *ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 30, p. 1-14. 2019.

PRADO, J. C. S.; FONTENELLE, R. O. S.; Coutinho, M. G. S.; SILVA, L. C.; NEVES, A. M. Avaliação microbiológica e parasitológica da água proveniente de chuvas armazenadas em cisternas obrigatórias em uma zona rural do município de Santana do Acaraú, CE. *Revista Uningá*, 2019, 56 (3), 141-150, 2019.

PRADO, J. C. S.; MATEUS, G. A. P. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E PARASITOLÓGICA DA ÁGUA DE UM AÇUDE LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE SANTANA DO ACARAÚ—CE. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 11, n. 2, p. 164-176, 2022.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. *Journal of Development Economics*, v. 112, p. 72-91, 2015.

ROSSI, A.; WOLDE. B. T.; LEE, L. H.; WU, M. Prediction of recreational water safety using *Escherichia coli* as an indicator: case study of the Passaic and Pompton rivers, New Jersey. *Science of the Total Environment*, v. 714, p. 136814, 2020.

SONOBE, H. G.; LAMPARELLI, M. C.; CUNHA, D. G. F. Avaliação espacial e temporal de aspectos sanitários de reservatórios com captação de água para abastecimento em SP com ênfase em cianobactérias e cianotoxinas. *Eng. Sanitária e Ambiental*, v. 24, p. 909-918, 2019.

SOUZA, J. C. X.; FREIRE, M. K. X.; FREITAS, F. R. S. AVALIAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS NAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO SOBRAL, (SOBRAL/CEARÁ). In: ANAIS DO VII Seminário de Iniciação Científica do IFCE, Sobral - CE, 2019.

TOLEDO, A. P.; AGUDO, E. G.; TOLARICO, M.; CHINEZ, S. J. A Aplicação de Modelos Simplificados para a Avaliação do Processo de Eutrofização em Lagos e Reservatórios Tropicais; XIX CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – AIDIS, Santiago do Chile, 1984. *Anais...* Santiago do Chile, 1984.

TORNEVI, A.; BERGSTEDT, O.; FORSBERG, B. Precipitation effects on microbial pollution in a river: lag structures and seasonal effect modification. **PloS one**, v. 9, n. 5, p. e98546, 2014.

VERMEULEN, L. C.; HOFSTRA, N. Influence of climate variables on the concentration of *Escherichia coli* in the Rhine, Meuse, and Drentse Aa during 1985–2010. **Regional environmental change**, v. 14, n. 1, p. 307-319, 2014.

XAVIER, C. F. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba. 2005. 167f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 200