

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇOS
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CLIMA E AMBIENTE**

HUGO MARTINHO LAVARDA MARTINS

**Análise das variáveis climáticas e da qualidade da água para gestão do
reservatório da UHE São Domingos no Estado do Mato Grosso do Sul**

Florianópolis

2025

HUGO MARTINHO LAVARDA MARTINS

Análise das variáveis climáticas e da qualidade da água para gestão do reservatório da UHE São Domingos no Estado do Mato Grosso do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Clima e Ambiente do Campus de Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Mestre em Clima e Ambiente.

Orientador: **Prof. Dr. Michel Nobre Muza**

**Florianópolis
2025**

CDD 551.6
M386a

Martins, Hugo Martinho Lavarda

Análise das variáveis climáticas e da qualidade da água para gestão do reservatório da UHE São Domingos no Estado do Mato Grosso do Sul [DIS] / Hugo Martinho Lavarda Martins; orientação de Michel Nobre Muza – Florianópolis, 2025.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Variáveis abióticas. 2. Precipitação. 3. Temperatura. 4. Sazonalidade. I. Muza, Michel Nobre. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117



Ata da Avaliação Final da Dissertação

Aluno (a) :	Hugo Martinho Lavarda Martins	Matrícula:	202215000046
Curso:	Clima e Ambiente		
Título:	Análise das variáveis climáticas e da qualidade da água para gestão do reservatório da UHE São Domingos no Estado do Mato Grosso do Sul		
Orientador(es) de Pesquisa: Prof. Dr. Michel Nobre Muza			
Data :	08/07/2025	Horário:	14h
Local :	Florianópolis-SC		
A Banca Examinadora, tendo em vista a exposição oral apresentada pelo(a) aluno (a) e procedida a arguição pertinente ao trabalho, considerou o(a) candidato(a):			(x) Aprovado(a) () Reprovado(a)
O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) Orientador(es)?			(x) Sim () Não
Observação da Banca :			
Condicionado a ampla e minuciosa revisão do texto, referências bibliográficas e objetivos, metodologia e resultados. Necessária reestruturação da apresentação e análise dos resultados estatísticos de acordo com comentários nas revisões da dissertação e em vídeo da defesa (youtube.com/watch?v=hUOCv3e6as4). Anexar o PPT em anexo no documento final.			
Novo Título (se for o caso) : Não			
Nome da Revista da submissão do Artigo : Revista Brasileira de Climatologia. ISSN 2237-8642.			

Membros da Banca		Função	Instituição	Conceito	Assinatura
Dr(a).	Michel Nobre Muza	Presidente/Orientador (a)	IFSC	A	Documento assinado digitalmente  MICHEL NOBRE MUZA Data: 09/07/2025 14:25:04-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Dr(a).	Débora Monteiro Brentano	Avaliador Interno	IFSC	A	Documento assinado digitalmente  DEBORA MONTEIRO BRENTANO Data: 19/06/2026 09:38:05-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Dr(a).	Adriano Vitor	Avaliador Interno	IFSC	A	Documento assinado digitalmente  ADRIANO VITOR Data: 19/06/2026 13:08:03-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Dr(a).	Lorena Pinheiro Silva	Avaliador externo	UMCES-UMD	A	Documento assinado digitalmente  LORENA PINHEIRO SILVA Data: 26/06/2026 14:44:05-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

*Dedico este trabalho a minha
companheira e meu filho pelo apoio e
ensinamentos e meus pais meus
primeiros professores.*

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me conceder força, sabedoria e serenidade ao longo desta jornada. Sua presença foi essencial em todos os momentos, especialmente nos mais desafiadores.

À **sociedade brasileira**, cujos recursos públicos tornam possível a existência de instituições de ensino e pesquisa de qualidade.

Ao **Instituto Federal de Santa Catarina**, por seu compromisso com a educação pública, gratuita e de excelência. A estrutura, os profissionais e o ambiente acadêmico foram fundamentais para minha formação.

Ao **Programa de Mestrado**, pela oportunidade de fazer parte desta comunidade acadêmica. A confiança depositada em mim ao me aceitar no programa foi o primeiro passo para a realização deste trabalho.

À **Eletrobras Eletrosul**, pela generosa disponibilização dos dados utilizados nesta pesquisa. A colaboração foi essencial para a viabilidade e relevância do estudo.

Ao **meu orientador Prof. Michel**, agradeço profundamente pela orientação, paciência e dedicação ao longo de toda a trajetória deste mestrado. Sua experiência, conselhos e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos **membros da banca examinadora**, expressei minha sincera gratidão pelas valiosas contribuições, sugestões e críticas construtivas que enriqueceram significativamente este trabalho. A participação de vocês foi essencial para a qualidade e aprofundamento da pesquisa.

Aos **colegas do mestrado**, agradeço a parceria, apoio mútuo e pelas trocas de conhecimento ao longo dessa jornada. Compartilhar desafios e conquistas com vocês tornou essa experiência muito mais leve e enriquecedora.

Aos **meus familiares**, minha eterna gratidão pelo amor incondicional, compreensão e apoio em todos os momentos. Sem o incentivo e a força de vocês, esta conquista não teria sido possível.

RESUMO

O monitoramento da Qualidade da Água na Usina Hidrelétrica São Domingos no Estado do Mato Grosso do Sul, que gera 48 MW por meio do reservatório artificial na confluência dos Rios Verde e São Domingos, é realizado para atender as condicionantes do licenciamento vigente. O presente trabalho analisa as principais variáveis climáticas, sendo a temperatura e pluviometria, e sua relação com a qualidade da água, para compreender como a dinâmica do clima e ambiente pode auxiliar na gestão de reservatórios. Utilizou-se o levantamento de informações de 36 campanhas de coleta de dados da qualidade da água no período de 2015 a 2024 e dados meteorológicos da região de estudo obtidos de reanálise ERA-5 diária no mesmo período. Explorou-se as modificações sazonais do clima na sua relação com as variáveis abióticas do meio ambiente aquático. Para subsidiar a avaliação dos resultados foram utilizadas ferramentas estatísticas de testes não paramétricos como tendência de Mann-Kendall, coeficiente de correlação Tau de Kendall, Kruskal-Wallis. Os resultados mostram que as variáveis: temperatura da água, turbidez, transparência, precipitação e temperatura do ar, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos chuvoso e seco. Foram encontrados outliers no período chuvoso nas variáveis: clorofila-a, condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio inorgânico total, nitrogênio total. Na análise temporal, identificaram-se tendências estatisticamente significativas para as seguintes variáveis: condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio total, turbidez, oxigênio dissolvido e índice de qualidade da água do reservatório. Além disso, identificou-se forte correlação entre os parâmetros: índice de qualidade da água do reservatório e fósforo, temperatura da água e do ar; precipitação e turbidez; transparência e turbidez; turbidez e condutividade elétrica; nitrogênio total Kjeldahl e fósforo total; e precipitação e transparência. A associação entre precipitação, turbidez e nutrientes revela o escoamento superficial como principal vetor da degradação da qualidade da água. Tais resultados demandam estratégias de manejo que transcendem o espelho d'água, foco no controle do uso do solo da bacia hidrográfica. Além disso, a dependência meteorológica dos índices reforça a importância do monitoramento contínuo, permitindo que a gestão do reservatório antecipe episódios de degradação ambiental diante de eventos climáticos extremos.

Palavras-chave: Variáveis Abióticas, Precipitação, Temperatura, Sazonalidade.

ABSTRACT

Water quality monitoring at the São Domingos Hydroelectric Power Plant (HPP) in the state of Mato Grosso do Sul — which generates 48 MW through an artificial reservoir at the confluence of the Verde and São Domingos Rivers — is conducted to comply with current environmental licensing requirements. This study analyzes key climatic variables, specifically air temperature and rainfall, and their relationship with water quality parameters, aiming to understand how climate and environmental dynamics can support reservoir management. Data from 36 water quality sampling campaigns carried out between 2015 and 2024 were used alongside daily ERA5 reanalysis meteorological data for the same period. Seasonal climate variations were examined in relation to abiotic variables of the aquatic environment. Non-parametric statistical tools were applied to support the assessment, including the Mann-Kendall trend test, Kendall's Tau correlation coefficient, and the Kruskal-Wallis test.

Results indicate that water temperature, turbidity, water transparency, precipitation, and air temperature exhibit statistically significant differences between the rainy and dry seasons. Outliers were identified during the rainy season for chlorophyll-a, electrical conductivity, total phosphorus, total inorganic nitrogen, and total nitrogen. Temporal analysis revealed statistically significant trends for electrical conductivity, total phosphorus, total Kjeldahl nitrogen, total nitrogen, turbidity, dissolved oxygen, and the Reservoir Water Quality Index (RWQI). Strong correlations were found between the RWQI and phosphorus; water temperature and air temperature; precipitation and turbidity; transparency and turbidity; turbidity and electrical conductivity; total Kjeldahl nitrogen and total phosphorus; and precipitation and transparency. The association between precipitation, turbidity, and nutrients identifies surface runoff as the primary driver of water quality degradation. These findings call for management strategies that extend beyond the water body itself, with emphasis on watershed land-use control to reduce nutrient loading. Furthermore, the meteorological dependence of water quality indices underscores the importance of continuous monitoring, enabling reservoir managers to anticipate environmental degradation episodes in the face of extreme weather events.

Keywords: Abiotic Variables, Precipitation, Temperature, Seasonality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Situação da UHE São Domingos, Água Clara, MS, Brasil.	36
Figura 2 – a) Vista da margem esquerda a partir do ponto amostral; b) Medições realizadas no ponto amostral; c) Avaliação da profundidade total do ponto amostral; d) Avaliação da transparência da coluna d'água no ponto amostral; e) Vista do barramento a partir do ponto amostral; f) Armazenamento e preservação das amostras do ponto amostral.....	39
Figura 3 - Distribuição temporal das 36 campanhas de monitoramento de qualidade da água realizadas no ponto amostral do reservatório da UHSD, com identificação dos períodos sazonais (chuvoso e seco), entre junho de 2015 e dezembro de 2024.....	40
Figura 4 – Mapa Climático do Brasil com destaque ao nosso local de estudo, com a classificação da umidade da UHE São Domingos, Água Clara, MS, Brasil.	48
Figura 5 – Mapa Climático do Brasil com destaque ao nosso local de estudo, com a classificação da temperatura da UHE São Domingos, Água Clara, MS, Brasil.	49
Figura 6 – Estações Hidrológicas proximidades UHE São Domingos, MS, Brasil	50
Figura 7 – Série histórica das variáveis abióticas de qualidade da água e climáticas monitoradas no ponto amostral do reservatório da UHSD, com destaque para a sazonalidade, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024.	53
Figura 8 – Diagrama de caixa (<i>boxplot</i>) dos parâmetros de qualidade da água analisados ao longo da série histórica (junho/2015 a dezembro/2024), UHSD. A linha central representa a mediana; as caixas indicam os percentis 25 e 75; as barras de erro os percentis 10 e 90; os círculos representam valores individuais e os "x" as médias.	56
Figura 9 - Série temporal de Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) monitorada no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha tracejada indica o Valor Máximo Permitido (VMP) pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ($30 \mu\text{g/L}$).	58

Figura 10 - Série temporal de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) monitorada no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024.....	58
Figura 11 - Série temporal de Fósforo Total (mg/L) monitorada no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha tracejada indica o VMP pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (0,025 mg/L para ambientes com tempo de residência intermediário).	60
Figura 12 – Série temporal Fósforo total, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.....	64
Figura 13 – Série temporal Turbidez com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.....	64
Figura 14 – Série temporal IQAR, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.....	65
Figura 15– Série temporal Condutividade Elétrica, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).	66
Figura 16 – Série temporal Nitrogênio Total Kjeldahl, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.	66
Figura 17 – Série temporal Nitrogênio Total, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do	

reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.67

Figura 18 – Série temporal Oxigênio Dissolvido, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.67

Figura 19 – Série temporal Temperatura da água, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.69

Figura 20 – Série temporal Nitrogênio Inorgânico Total, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.69

Figura 21 – Série temporal Transparência de Secchi, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.70

Figura 22 – Série temporal Temperatura média, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.70

Figura 23 – Série temporal Clorofila a, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua

representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025). ...71

Figura 24 – Série temporal Sólidos Dissolvidos Totais, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).71

Figura 25 – Série temporal Precipitação Acumulada, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).71

Figuras 26 – Histogramas das variáveis com distribuição normal em ambos os períodos sazonais (Temperatura da Água — Tag; Transparência de Secchi — Tsecc; Oxigênio Dissolvido — OD; IQAR; Temperatura do Ar — Tar), com curva de densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.79

Figuras 27 – Histogramas das variáveis com distribuição normal apenas no período chuvoso (Fósforo Total — FT; Precipitação Acumulada — Prec), com curva de densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.80

Figuras 28 – Histogramas das variáveis que não atenderam os pressupostos de normalidade em nenhum dos períodos sazonais — Clorofila-a (Cla), Condutividade Elétrica (CE), Nitrogênio Inorgânico Total (NIT) e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) —, com curva de densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.81

Figuras 29 – Histogramas das variáveis que não atenderam os pressupostos de normalidade em nenhum dos períodos sazonais — Nitrogênio Total (NT), Turbidez (Tur) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) —, com curva de

densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.	82
Figuras 30 – Diagramas de caixa (<i>boxplots</i>) comparativos entre os períodos chuvoso e seco para todas as variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas no ponto amostral do reservatório da UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha central representa a mediana; as caixas indicam os percentis 25 e 75; os pontos representam os valores individuais.....	86
Figura 31 - Série temporal da Temperatura da Água (°C) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$).	89
Figura 32 - Série temporal de Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$).	89
Figura 33 - Série temporal de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.	89
Figura 34 - Série temporal de Fósforo Total (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal).	90
Figura 35 - Série temporal de Nitrogênio Inorgânico Total (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.	90

- Figura 36 - Série temporal de Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa apenas no período chuvoso pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.91
- Figura 37 - Série temporal de Nitrogênio Total (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.91
- Figura 38 - Série temporal de Turbidez (UNT) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.91
- Figura 39 - Série temporal de Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.92
- Figura 40 - Série temporal de Transparência de Secchi (m) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.92
- Figura 41 - Série temporal de Oxigênio Dissolvido (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa apenas no período chuvoso pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y

apresentam escalas distintas para cada período sazonal. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).....93

Figura 42 - Série temporal do Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.93

Figura 43 - Série temporal de Temperatura Média do Ar (°C) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.94

Figura 44 - Série temporal de Temperatura Média do Ar (°C) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quando de Uso e Ocupação do Solo – UHE São Domingos 2020	37
Tabela 2 – Informações sobre o ponto de amostragem , objeto de estudo da UHSD, Água Clara / MS.	38
Tabela 3 – Critérios para determinação da profundidade de coleta de amostras de água no ponto amostral do reservatório da UHSD. Fonte: Eletrobras (2020) / Adaptação: Autor.....	40
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade da água avaliados neste estudo, com respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Limites de Quantificação (LQ) dos ensaios laboratoriais.....	41
Tabela 5 – Classes de qualidade da água do reservatório segundo o Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR), com descrição do nível de degradação correspondente, para o estado do Mato Grosso do Sul, Brasil.	42
Tabela 6 – Variáveis e pesos utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR).	42
Tabela 7 – Estatística descritiva das variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas em 36 campanhas, no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. AIQ = Amplitude Interquartil. Shapiro-Wilk: W = estatística do teste; p = valor de probabilidade.....	55
Tabela 8 – Identificação de valores atípicos (<i>outliers</i>) por campanha de monitoramento, com indicação da sazonalidade, precipitação acumulada nos 30 dias anteriores à coleta e anomalia de precipitação. UHSD, período de junho de 2015 a dezembro de 2024.	57
Tabela 9 – Dados das variáveis de qualidade da água e climáticas registrados na Campanha 19, realizada em 20 de maio de 2020 (período de transição seca/chuva), no ponto amostral do reservatório da UHSD.....	61
Tabela 10 – Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall e da inclinação de Sen (<i>Sen's Slope</i>), com nível de significância de 95%, para as variáveis de	

qualidade da água e climáticas monitoradas no reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024.....	62
Tabela 11 – Matriz de coeficientes de correlação de Tau de Kendall entre as variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas no reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001.	72
Tabela 12 – Resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk para as variáveis de qualidade da água e climáticas, estratificadas por sazonalidade (período chuvoso e período seco), UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024....	77
Tabela 13 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para comparação entre os períodos chuvoso e seco, com indicação da estatística U, valor de p e dimensão do efeito (correlação rank bisserial). UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024.....	83
Tabela 14 – Estatística descritiva resumida (mediana e Amplitude Interquartil — AIQ) das variáveis de qualidade da água e climáticas, estratificada por sazonalidade (período chuvoso e período seco). UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024. ▲ indica valor maior na comparação entre os períodos; ▼ indica valor menor; ● indica valores iguais entre os períodos.....	85
Tabela 15 – Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall aplicado às séries temporais sazonais (período seco e período chuvoso) e à série histórica completa das variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas no reservatório da UHSD, entre junho de 2015 e dezembro de 2024. ↑ tendência crescente significativa; ↓ tendência decrescente significativa; nível de significância $\alpha = 0,05$	88

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	Agência Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGCRE	Coordenadoria Geral de Acreditações
Cla	Clorofila a
E. coli	Escherichia coli
ECWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa Brasileira de Pesquisa Energética
ERA5	Quinta geração de reanálise climática global do ECWF
ESG	Environmental, Social and Governance
FT	Fósforo Total
IEC	International Electrotechnical Commission
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia
IQAR	Índice de Qualidade da Água do Reservatório
ISO	International Organization for Standardization
LQ	Limite de Quantificação
MS	Estado do Mato Grosso do Sul
NBR	Normas Brasileiras
NIT	Nitrogênio Inorgânico Total
NT	Nitrogênio Total
NTK	Nitrogênio Total de Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento sustentável ONU
ONU	Organização das Nações Unidas
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
Tag	Temperatura da água
Tar	Temperatura do Ar
Tsecc	Profundidade da transparência com o Disco de Secchi
Tur	Turbidez
UHE	Usina Hidrelétrica
UHSD	Usina Hidrelétrica São Domingos
UTM	Universo Transverso de Mercator
VMP	Valores Máximos Permitidos
WWF	World Wide Fund for Nature
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZdS	Transparência de Secchi
Zeü	Profundidade da zona eufótica
Zmax	Profundidade máxima
Zmed	Profundidade Média

SUMÁRIO

1.	Introdução	21
2.	Objetivos	26
2.1.	Objetivo Geral.....	26
2.2.	Objetivos Específicos	26
3.	Fundamentação teórica	27
3.1.	Aspectos legais e locais	27
3.2.	A origem das medições climáticas	29
3.3.	O impacto das mudanças climáticas	30
3.4.	Fatores ambientais e climáticos que influenciam na bacia hidrográfica	31
3.5.	Estudo limnológico.....	31
4.	Metodologia	35
4.1.	Área de Estudo.....	35
4.2.	Dados utilizados	37
4.3.	Frequência de amostragem.....	40
4.4.	Variáveis ambientais aquáticas monitoradas.....	40
4.4.1.	<i>Índice de Qualidade de água do reservatório - IQA_R</i>	42
4.4.2.	<i>Variáveis Físicas</i>	42
4.4.3.	<i>Variáveis Químicas</i>	45
4.4.4.	<i>Variáveis Climáticas</i>	48
4.4.5.	<i>Precipitação e Temperatura do Ar</i>	50
5.	Análises Estatísticas	51
6.	Resultados e Discussão	51
6.1.	Série Histórica de dados.....	52
6.1.1.	<i>Estatística descritiva dos dados</i>	55
6.1.2.	<i>Análise exploratória de dados abióticos</i>	55
6.1.3.	<i>Análise valores identificados como Outliers</i>	56
6.2.	Testes de tendencia de Mann-Kendall para série histórica	62
6.2.1.	<i>Variáveis hidrológicas com tendencia decrecente ao longo do período</i> 63	
6.2.2.	<i>Variáveis hidrológicas com tendencia crecente ao longo do período</i>	66
6.2.3.	<i>Variáveis ausentes de significância estatística ao longo do período</i>	68
6.3.	Coeficiente de correlação Tau de Kendall	72
6.3.1.	<i>Temperatura da água (Tag)</i>	74
6.3.2.	<i>Clorofila-a (Cla)</i>	74
6.3.3.	<i>Condutividade Elétrica (CE)</i>	74
6.3.4.	<i>Fósforo total (FT)</i>	75
6.3.5.	<i>Nitrogênio Inorgânico Total (NIT)</i>	76
6.3.6.	<i>Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)</i>	76
6.3.7.	<i>Turbidez (Tur)</i>	76
6.3.8.	<i>Transparência de Secchi (Tsecc)</i>	77
6.3.9.	<i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	77
6.3.10.	<i>Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQA_R)</i>	77
6.4.	Análise descritiva por Sazonalidade	77
6.4.1.	<i>Comparação entre a Sazonalidade</i>	83
6.4.2.	<i>Análise exploratório pela sazonalidade</i>	85
6.5.	Testes de Mann-Kendall para detectar tendência sazonal das séries temporais	88
7.	Considerações Finais.....	95
7.1.	Aspectos Gerais	95
7.2.	A importância do monitoramento da qualidade da água.....	102

7.3.	Limitações do Estudo e Perspectivas Futuras	104
8.	Referências	106
9.	Produto Desenvolvido – Produto Técnico Tecnológico	114
9.1.	Tipo do Produto:	114
9.2.	Título do Projeto:	114
9.3.	Objetivo:	114
9.4.	Descrição do Produto:	114
9.5.	Resultados Esperados:.....	115
9.6.	Apresentação do PTT versão final	116
9.7.	Apresentação do artigo submetido	117
9.8.	Aceite do artigo submetido – ABClima Decisão editorial	142
	Apêndices	143

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos tem um destaque importante para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS da agenda 2030 da Organização das Nações Unidas em 2015 (ONU-BR, 2022), que visam erradicação da pobreza e proteção do meio ambiente. Dentre os objetivos, destacam-se aqueles diretamente relacionados com a temática dos recursos hídricos e energéticos: 6 – Água Potável e Saneamento; 7 – Energia Acessível e Limpa; 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura e 12 – Consumo e Produção Responsáveis. Esses objetivos reforçam a importância do monitoramento e da gestão eficiente de reservatórios artificiais, especialmente aqueles voltados à geração de energia elétrica.

O Brasil apresenta uma matriz energética notavelmente limpa em comparação com dados globais, 49,1% de sua energia proveniente de fontes renováveis, contrastando com os 14,3% observados mundialmente. No que se refere a matriz elétrica, essa diferença é ainda mais expressiva: 86,1% da eletricidade brasileira é gerada por fontes renováveis, enquanto a média global é de 29,5%. A energia hidrelétrica, em particular representa 58,9% da matriz elétrica nacional, contrastando com os 15,3% observados mundialmente (EPE, 2025). Essa predominância confere ao país uma posição estratégica no cenário energético global, mas também impõe desafios significativos.

O contexto hidroelétrico brasileiro remonta a inauguração da primeira hidrelétrica do país, em 1889, no estado de Minas Gerais (Fonseca, 2013), desde então, o setor avançou significativamente, culminando em empreendimentos de grande porte, como a Usina Hidrelétrica de Belo Monte, localizada no estado do Pará, com potência instalada de 11,2 GW, destacando-se por estar inteiramente em território nacional, e a Usina de Itaipu, de caráter binacional, com capacidade de 14 GW de potência instalada e operando comercialmente desde 1982.

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, o Brasil conta atualmente com 1.362 centrais hidrelétricas em operação, distribuídas entre 721 Centrais Geradoras de Energia Elétrica (CGHs), 426 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e 215 Usinas Hidroelétricas (UHEs). Aproximadamente 60% dessas unidades estão localizadas nas regiões Centro-Oeste e Sudoeste, responsáveis por de 50% da geração hidrelétrica nacional (ANEEL, 2023).

Apesar de expressiva capacidade instalada, o país enfrenta desafios crescentes relacionados à disponibilidade e a qualidade de água. De acordo com o monitoramento do MapBiomass (WWF, 2021), nos últimos 30 anos o Brasil perdeu cerca de 15% da área superficial dos recursos hídricos. No aspecto qualitativo, Menezes *et al.* (2016) apontam a deterioração da qualidade da água está atribuída ao manejo inadequado do solo, impulsionado por processos de urbanização, industrialização e atividades agropecuárias. Em áreas urbanas, a poluição hídrica é agravada pela presença de metais pesados, efluentes domésticos e industriais, além do excesso de nutrientes.

A atividade agrícola, também exerce forte pressão sobre os recursos hídricos, especialmente quando associada a componentes tóxicos e nutrientes como nitrogênio e fósforo. O cultivo de grãos, a formação de pastagens e criação intensiva de animais demandam grandes volumes de água e geram resíduos que, se não tratados devidamente, podem carrear elevadas cargas de nutrientes e patógenos para os corpos hídricos (Kunz, Higashihara e Oliveira, 2005). Este cenário torna impreterível o gerenciamento adequado dos recursos hídricos reservados nas usinas hidrelétricas.

Os reservatórios artificiais são definidos por Muniz (2017) como sistemas complexos, pois promovem consideráveis alterações no regime hidrológico e na dinâmica ecológica da bacia hidrográfica, especialmente do rio, introduzindo uma nova perspectiva sobre o ecossistema aquático. Empresas de diversos setores tem investido consideráveis recursos no desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental para mitigar os possíveis impactos e prejuízos ao meio ambiente. Segundo dados do *Bank of America* (2021), um em cada três dólares investidos globalmente em fundos de investimento foi destinado a fundos de ESG (*Environmental, Social and Governance* / Sustentabilidade ambiental, social e governança corporativa), evidenciando a crescente importância da sustentabilidade e da governança ambiental (Alves, 2022).

O barramento de rios altera profundamente a hidrodinâmica fluvial, reduzindo a velocidade do fluxo e promovendo a deposição de sedimentos, a estratificação térmica e modificações nos ciclos de nutrientes e oxigênio dissolvido. Essas transformações físico-químicas configuram um filtro ambiental severo sobre a biota aquática: espécies reofílicas, adaptadas a ambientes lóticos e dependentes de variações sazonais do fluxo para migração e reprodução, tendem a ser substituídas

por comunidades generalistas ou por espécies invasoras tolerantes a condições lênticas. Paralelamente, a ruptura da continuidade longitudinal dos rios, inclusive por estruturas de menor porte, como as Pequenas Centrais Hidrelétricas, compromete a conectividade fluvial, resultando em perda de biodiversidade e simplificação das teias tróficas (Couto e Olden, 2018).

A fauna de água doce constitui um indicador sensível para a avaliação da biodiversidade global, sendo particularmente vulnerável aos impactos gerados por represas. Esses empreendimentos promovem alterações expressivas nos compartimentos abiótico e biótico dos ecossistemas aquáticos, com efeitos que se propagam especialmente a jusante, manifestando-se na modificação do regime hidrológico, da temperatura da água e do transporte de sedimentos, processos que comprometem tanto a morfologia do canal quanto os ciclos reprodutivos das espécies. Adicionalmente, a fragmentação dos corredores fluviais restringe o fluxo gênico entre populações e interrompe o transporte longitudinal de nutrientes. A supressão da dinâmica natural de cheias reduz ainda a conectividade lateral entre o canal principal e as planícies de inundação, desestabilizando a integridade ecológica de toda a bacia hidrográfica (Zarfl *et al.*, 2019)

Reservatórios artificiais operam como verdadeiros reatores biogeoquímicos em linha, distinguindo-se fundamentalmente dos sistemas lóticos naturais. Uma de suas características mais determinantes é o elevado tempo de residência hidráulica, variável considerada central no equilíbrio entre o transporte de água e as reações biogeoquímicas que nela se processam. No compartimento abiótico, esse prolongamento do tempo de contato intensifica a retenção de sedimentos, favorece a desgaseificação e altera a estequiometria de nutrientes essenciais, como carbono, nitrogênio, fósforo e silício. Tais modificações repercutem diretamente sobre o compartimento biótico, uma vez que o desequilíbrio nas razões de nutrientes pode desencadear florações de algas nocivas e cianobactérias, com consequências sobre a estrutura das teias alimentares e a produtividade do ecossistema. Diante desse cenário, emerge uma perspectiva de gestão integrada que preconiza a incorporação dos impactos biogeoquímicos em todas as fases do ciclo de vida das barragens, da concepção à desconstrução, com ênfase na manipulação estratégica do tempo de residência e dos fluxos ambientais como ferramentas de mitigação de danos ecológicos e otimização dos serviços ecossistêmicos (Maavara *et al.*, 2020).

Na região Andino-Amazônica, os reservatórios artificiais diferem dos sistemas naturais por operar predominantemente como estruturas de armazenamento ou desvio de água, impondo ao rio um hidrograma artificial cujas flutuações de vazão se dissociam dos padrões sazonais históricos. A complexidade dos impactos associados reside, em grande medida, na capacidade dessas represas de atuar como armadilhas de sedimentos, podendo reter até 100% da carga sólida transportada, com consequências geomorfológicas que se estendem a milhares de quilômetros a jusante, afetando processos como o meandramento e a formação de planícies de inundação. Frente a esse quadro, propõe-se uma mudança de paradigma na avaliação de impactos: em lugar de licenciamentos locais e fragmentados, advoga-se por uma abordagem em escala regional e de rede, capaz de quantificar os efeitos cumulativos e sinérgicos da proliferação de barragens sobre a conectividade hidrológica e ecológica de bacias inteiras (Anderson *et al.*, 2018).

Neste contexto, o gerenciamento de recursos hídricos torna-se parte essencial das estratégias corporativas, inclusive no setor de geração de energia elétrica, fornecendo subsídios para as tomadas de decisão (Domingues, Baptista e Diogo, 2017). Como defendido por Tundisi *et al.* (2008) o regime de chuva que, está ligado ao gerenciamento de riscos em reservatórios, e que levam a entrada de nutrientes e sedimentos. Durante o período chuvoso, que na região centro-oeste do Brasil, incluindo o estado do Mato Grosso do Sul (MS), se estende de outubro a maio, há um aumento significativo do aporte de nutrientes, o que pode favorecer a proliferação de algas e alterar a transparência da água, reduzindo a penetração da radiação solar nas camadas mais profundas.

Para avaliação ambiental eficaz, Straskraba e Tundisi (2013) indicam que os Estudos de Impacto Ambiental - EIA e ao longo do empreendimento deverão contemplar um adequado e contínuo programa de amostragens, conduzido por equipes multidisciplinares com conhecimento e experiência em recursos naturais, aspectos socioeconômicos e da ecologia local, também interface água-terra, causa-efeitos e não apenas aspectos estruturais. Além disso, também sugerem que é fundamental considerar os elementos da bacia hidrográfica desde as fases preliminares do planejamento e ao longo da operação dos reservatórios.

Diante deste cenário, a análise integrada das variáveis climáticas e da qualidade da água de reservatórios tem se mostrado uma ferramenta viável e

estratégica para o gerenciamento ambiental. Essa abordagem permite identificar tendências e oscilações sazonais, compreender a relação entre precipitação, temperatura e qualidade da água, e avaliar como essas variáveis interagem no reservatório ao longo do tempo.

Diante da relevância do tema este trabalho está estruturado em seis capítulos principais. Inicialmente, apresenta-se a fundamentação teórica, que contextualiza os principais conceitos relacionados sobre o tema. Em seguida, a metodologia descreve a área de estudo, método de coleta de dados, as variáveis analisadas e os procedimentos adotados para obtenção das informações. Na sequência, são detalhadas as análises estatísticas aplicadas aos dados coletados, seguidas pela apresentação dos resultados e discussão, onde se interpretam os resultados sob a ótica da literatura científica. Finalizando com as considerações finais, que sinterizam as principais conclusões e implicações do estudo. Por fim, é apresentado o Projeto do Produto Técnico-Tecnológico, desenvolvido a partir dos resultados obtidos nesta dissertação, com o objetivo de contribuir de forma prática com a gestão ambiental sustentável.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar as variáveis climáticas e da qualidade da água do reservatório da UHE São Domingos, do Estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2015 a 2024, visando observar a tendência e a sazonalidade do monitoramento.

2.2. Objetivos Específicos

1. Correlacionar a influência da temperatura e da precipitação na variabilidade dos parâmetros da qualidade da água do reservatório.
2. Analisar a sazonalidade e a tendência temporal das variáveis climáticas em contraste as medições da qualidade da água do reservatório.
3. Apresentar um estudo do monitoramento de médio a longo prazo de dados e informações do ambiente aquático da UHE e do clima, contribuindo com o conhecimento da comunidade local.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Aspectos legais e locais

Aspectos legais relacionados à água e aos reservatórios são contemplados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005), que estabelece a classificação, o enquadramento dos corpos d'água e as normas para lançamento de efluentes. As águas superficiais ou subterrâneas, os efluentes e as águas emergentes e armazenadas em depósitos, ressalvados os casos definidos em lei, incluem-se entre os bens do Estado (Artigo 26), sendo competência privativa da União legislar sobre as águas (Art. 22) e obrigação de instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga e direitos e uso (Brasil, 1988). Assim a Lei das Águas nº 9.433/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 1997). Posteriormente, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA).

O Estado do Mato Grosso do Sul é localizado no planalto central do Brasil, apresentando uma biodiversidade na vegetação de biomas de savana aberta (cerrado brasileiro). Os fatores climáticos da latitude, relevo e vegetação são associados à sua variabilidade climática, principalmente a temperatura. As maiores temperaturas ocorrem na primavera e verão. Em contraste, no outono e inverno a temperatura média é mais amena, resultado da frequente entrada de massas de ar frio. O ciclo anual da temperatura mostra-se essencialmente quente no verão e com temperaturas amenas no inverno, enquanto a precipitação tem um período consideravelmente chuvoso no verão e seco no inverno (Cavalcanti *et al.*, 2009).

Além disso, o inverno pode apresentar períodos diurnos com umidade relativa extremamente baixa. O verão chuvoso é reflexo das características de monções da América do Sul (Luiz-Silva *et al.*, 2021). A variabilidade climática da precipitação sofre influência tanto de características tropicais, como a alta da Bolívia e baixa pressão do Chaco, como de subtropicais como os complexos convectivos de mesoescala associados aos jatos de baixos níveis a leste do Andes, contribuindo com transporte de calor e umidade tropical em direção a áreas subtropicais. Climatologicamente, o período chuvoso inicia na metade de outubro e estende-se até março. A passagem de frentes frias vindas do Sul são a principal causa da ocorrência de precipitação, mas também há forte incremento relacionado a convecção local.

A temperatura na região da bacia rio Verde, por situar-se na região tropical, possui estabilidade no fotoperíodo anual, com aporte de energia solar e luminosa o qual é revertido em elevadas temperaturas e elevada evapotranspiração potencial, tanto nos meses chuvosos quanto secos. A morfologia da sub-bacia do rio Verde, possui fluxo no sentido noroeste sudeste e altitude acima do nível médio do mar de 300 m na foz no rio Paraná e de 850 m na cabeceira dos tributários. Mesmo com a variação de altitude a região não constitui barreira significativa para provocar alterações no fluxo de ventos e correntes convectivas devido a orografia que resultariam no aumento da condensação do ar, nebulosidade e chuvas (Eletrobras, 2013).

A precipitação, faz parte de um conjunto de eventos ocorridos na bacia hidrográfica, que são avaliados e registrados nas atividades de monitoramento e prevenção de riscos (Tundisi e Tundisi, 2008). Durante o período sazonal de chuvas, característico da região centro-oeste do Brasil, a quantidade de nutrientes e matéria orgânica levada ao reservatório tende a aumentar consideravelmente, ao contrário do que ocorre durante o período de seca. Este período de chuvas pode potencializar a proliferação de algas e a alteração das características de transparência da água do reservatório, com a atenuação da penetração da radiação solar nas camadas mais profundas.

O regime hidrológico sazonal desempenha papel determinante na dinâmica limnológica de reservatórios tropicais, modulando tanto as características físico-químicas da água quanto a estrutura das comunidades biológicas. Durante o período chuvoso, o maior aporte de material alóctone por escoamento superficial promove o carregamento de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, para os reservatórios, favorecendo o processo de eutrofização e a proliferação de fitoplâncton em sistemas já comprometidos troficamente (Vidal e Capelo Neto, 2014). Concomitantemente, o incremento de sólidos em suspensão eleva a turbidez e reduz a transparência da água, atenuando a penetração da radiação solar e, conseqüentemente, comprimindo a zona eufótica (Vidal e Capelo Neto, 2014). Esse padrão foi igualmente documentado em reservatórios da bacia do Rio da Prata, onde a sazonalidade das precipitações foi identificada como um dos principais determinantes das condições limnológicas dos habitats laterais fluviais, influenciando a alternância entre material particulado

inorgânico, predominante no verão, e orgânico, predominante no inverno (Debastiani Júnior *et al.*, 2016).

Em contrapartida, eventos hidrológicos extremos de seca severa produzem respostas distintas e potencialmente mais drásticas. A redução do volume armazenado favorece a concentração de nutrientes, o aumento da condutividade elétrica e a elevação das temperaturas, condições que intensificam o processo de eutrofização e alteram a estrutura da comunidade fitoplanctônica (Figueiredo e Becker, 2018). Entretanto, o comportamento dos reservatórios frente à seca severa não é homogêneo: sistemas mais profundos tendem a apresentar aceleração do processo de eutrofização com incremento da biomassa algal, ao passo que reservatórios rasos podem exibir colapso do fitoplâncton em virtude do aumento da turbidez inorgânica gerada pela ressuspensão de sedimentos, que limita a disponibilidade de luz (Figueiredo e Becker, 2018). Em sistemas de reservatórios em cascata, a extrema redução de vazão associada à descarga de sedimentos de montante pode ainda intensificar o enriquecimento nutricional, com elevação do fósforo total e alteração das razões de nutrientes, condições que favoreceram o estabelecimento e a dominância de espécies como *Ceratium furcoides* e *Cylindrospermopsis raciborskii* no reservatório de Xingó (Silva *et al.*, 2020).

3.2.A origem das medições climáticas

Em artigo da revista *Cirrus* (2008), afirma-se que a literatura sobre a precipitação é anterior ao Século XV. O tema já havia sido tratado por Aristóteles, em 340 a.C, que, no entanto, não abordou medições, mas sim o conhecimento dos ciclos naturais para o desenvolvimento da agricultura e da caça. Os primeiros registros de aparelhos para medir chuva teriam sido utilizados na Palestina para fins agrícolas, cerca de 100 d.C, onde se empregavam buracos no chão ou painéis de barro. Essa medição serviria, inicialmente, para determinar a produção de grãos e valor do imposto a ser pago. Desde então, houve grande evolução tecnológica, com o desenvolvimento de estudos avançados a partir da década de 1960, incluindo o uso de sensoriamento remoto e, posteriormente a operação de oito satélites equipados com sensores de micro-ondas e radares meteorológicos.

Em seu livro, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) explicam que a temperatura do ar é a medida de calor sensível armazenado no ar, comumente registrada na escala

em graus Celsius ou Fahrenheit e medida pelo instrumento chamado de termômetro. Esse instrumento possui uma história fascinante, conforme relatado por Pires, Afonso e Chaves (2006), que remete à noção intuitiva de temperatura, passando pelas leis da física, entre Isaac Newton e James Joule, e chegando à atualidade, com a utilização de sensores eletrônicos em substituição do mercúrio devido aos seus problemas ambientais.

3.3. O impacto das mudanças climáticas

No início deste século, foi defendido que as mudanças climáticas globais, impulsionadas pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), provocam alterações significativas nos padrões climáticos, incluindo o aumento da temperatura do ar, variações nos regimes de precipitação e maior frequência de eventos extremos, como secas e inundações (Nobre, 2001). Na região centro-oeste do Brasil, essas mudanças se manifestariam por meio da intensificação da variabilidade climática, especialmente associada aos fenômenos *El Nino* e *La Nina*, que afetam diretamente a disponibilidade hídrica e a dinâmica dos reservatórios. Projeções climáticas indicavam que, até o final do século XXI, a região poderia enfrentar aumentos de temperatura entre 1 °C a 6 °C (Nobre, 2001).

O aumento de 1,1 °C na temperatura do ar média global leva a mudanças no sistema climático sem precedentes em escala de séculos ou milênios, afetando todas as regiões do planeta (Boehm & Schumer, 2023). Esse aquecimento intensifica a frequência e a severidade dos eventos extremos, como ondas de calor, tempestades e secas. Projeções indicam que, um cenário de aumento de 2 °C na temperatura do ar, ondas de calor podem ocorrer até 5,6 vezes mais do que em condições pré-industriais, afetando diretamente a disponibilidade de água nos reservatórios e a qualidade dos ecossistemas aquáticos.

Além disso das alterações nos padrões climáticos, projeta-se o risco de ultrapassagem de pontos críticos no sistema climático, como o derretimento de geleiras ou a perda de florestas tropicais. Tais projeções reforçam a urgência de estratégias de adaptação e monitoramento climático, especialmente em regiões estratégicas para a geração de energia e abastecimento hídrico, como o Centro-Oeste do Brasil. Essas alterações no regime climático, especialmente o aumento de temperatura e intensidade de eventos extremos, tem implicações diretas sobre a

qualidade da água nos reservatórios de modo geral. Mudanças climáticas que resultem em redução das vazões fluviais tendem a diminuir a capacidade de diluição de nutrientes e poluentes (Lucas, 2022).

3.4. Fatores ambientais e climáticos que influenciam na bacia hidrográfica

Os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a qualidade da água têm como principais fatores o aumento da temperatura, alterações no regime de chuvas, o uso do solo e a ocorrência de eventos extremos (Ogasawara, 2020). Além disso, a intensificação das atividades agrícolas e o lançamento de efluentes, podem aumentar sua concentração devido a diminuição das vazões e aumentando as exportações em eventos extremos de precipitação. Em áreas urbanas, a impermeabilização do solo e a modificação dos sistemas de drenagem contribuem ainda mais para o transporte de resíduos para os corpos d'água.

Levando-se em conta que o entorno do reservatório é densamente ocupado por áreas de pastagem formadas e silvicultura, destaca-se a importância de considerar os usos do solo na área da influência do reservatório. A pecuária extensiva, baseada na monocultura da braquiária, e o cultivo de eucalipto tem papel predominante na bacia de drenagem. O manejo inadequado do solo, aliado ao uso recorrente de fertilizantes e agroquímicos, representa um fator de pressão sobre a qualidade de água da bacia do rio Verde. Além disso a presença de solo exposto é uma categoria crítica de uso do solo que demanda atenção especial pela sua contribuição para os processos erosivos e carreamentos de sedimentos (Eletrobras, 2020).

3.5. Estudo limnológico

Segundo a perspectiva de Reynolds (2006), a estrutura das comunidades fitoplanctônicas é governada pela seleção ambiental, que atua como um filtro sobre os atributos morfológicos e fisiológicos das espécies, favorecendo a dominância daquelas cujas adaptações melhores respondem às restrições de recursos (nutrientes) e energia (luz). Em reservatórios, o fitoplâncton exerce papel fundamental na base da cadeia alimentar aquática. Por meio da fotossíntese, utiliza a radiação solar para transformar nutrientes minerais em matéria orgânica, compondo a comunidade de produtores primários do ecossistema aquático, e sustentando os

demaís níveis tróficos (Cetesb, 2021). A estrutura das comunidades fitoplanctônicas responde diretamente ao estado trófico do sistema; enquanto águas oligotróficas tendem a apresentar maior diversidade e baixa abundância, o processo de eutrofização favorece um aumento expressivo na densidade e biomassa total (Reynolds, 2006). Nesses ambientes enriquecidos, a seleção ambiental promove a dominância de grupos específicos com estratégias adaptativas superiores, com destaque para as cianobactérias, que frequentemente formam florações persistentes em condições de elevada disponibilidade de nutrientes (Reynolds, 2006; Esteves, 2011).

A dinâmica do fitoplâncton em ecossistemas tropicais é marcada pela dominância persistente de grupos adaptados à constância ambiental e à elevada carga de nutrientes. As observações indicam que a abundância relativa dessas comunidades está positivamente correlacionada com a temperatura e inversamente relacionada à disponibilidade de luz na zona de mistura, à turbulência e às concentrações de nitrato (Huszar *et al.*, 2000).

Ao considerar o reservatório como uma unidade ecológica, o equilíbrio ambiental torna-se um fator fundamental. O despejo de cargas orgânicas e nutrientes provenientes de fontes agrícolas, domésticas ou industriais, especialmente com altas concentrações de fósforo e nitrogênio, favorece a proliferação de algas e cianobactérias. Esse processo pode comprometer a qualidade da água, reduzindo o oxigênio dissolvido, alterando o pH e transparência da coluna d'água, além de gerar odores, sabores e toxicidade, denominado eutrofização (Cetesb, 2021).

Os níveis da água, a precipitação, a biomassa e a produtividade primária afetam a dinâmica das comunidades aquáticas. Outros fatores abióticos também exercem influência, incluindo aspectos físicos (morfometria do ecossistema, velocidade ou vazão da água, cobertura florestal das margens, temperatura e radiação subaquática), químicos (nutrientes da água e do sedimento, e formas de carbono) e físico-químicos (pH). Embora esses fatores sejam frequentemente analisados de forma isolada, na natureza eles atuam de forma sistêmica, tornando complexa a separação de seus efeitos individuais (Esteves, 2011).

Para lagos de regiões tropicais, a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa e a temperatura água são os fatores importantes para a produção primária do fitoplâncton e não tem caráter limitante, pois esses fatores estão

disponíveis o ano todo. Já a temperatura da água influencia diretamente os processos vitais em ecossistemas lacustres como, a produtividade primária e a decomposição de matéria orgânica. Esses processos, por sua vez, afetam a concentração de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, uma vez que temperaturas mais altas sobre o metabolismo dos microrganismos resultam em maiores taxas de decomposição de detritos orgânicos e na ciclagem de nutrientes (Esteves, 2011).

O estado trófico do reservatório, a transparência da água e a temperatura exercem influência direta sobre a estrutura das comunidades aquáticas. Com base nos dados de concentração de nutrientes e de clorofila-a, os reservatórios podem ser classificados em diferentes graus de trofia, por meio da determinação do índice de Estado Trófico (IET) (Straskraba e Tundisi, 2013). A transparência da água é outro fator de grande importância, pois a presença de sedimentos na água diminui a atividade fotossintética devido à variação da zona eufótica. Além disso, a temperatura induz processos metabólicos oxidativos vitais, tais como solubilidade de gases, decomposição de matéria orgânica, alterações do pH e a variação da densidade da água (Straskraba e Tundisi, 2013).

Estudos limnológicos apontam que a dinâmica das populações fitoplanctônicas é sensível a alterações climáticas, as quais modificam a estratificação e o comportamento das variáveis do ecossistema, conforme discutido por Passerini (2010) com base em Tundisi et al. (2004).

A incorporação sistemática de observações climáticas nas investigações limnológicas é fundamental para garantir uma análise rigorosa dos eventos em ecossistemas de água doce. Conforme defendido por Passerini (2010), com base em Tundisi et al. (2004), essa integração permite que pesquisadores antecipem alterações na estrutura termal e suas respectivas repercussões biológicas. Além disso, a inclusão de dados climatológicos nos modelos de gestão torna-se uma estratégia indispensável para a projeção de cenários de mudanças climáticas e para a compreensão plena do funcionamento de lagos e reservatórios.

O gerenciamento de riscos na avaliação de reservatório corresponde a um conjunto de tarefas que registram eventos relacionados à sua bacia hidrográfica (Tundisi e Tundisi, 2008). As alterações na dinâmica da diversidade biológica e aumento da dominância da comunidade fitoplanctônica, decorrente do aumento de nutrientes, constituem evidências de um processo de eutrofização. Essa condição

pode ter como origem o crescimento incomum e desequilibrado de determinado grupo de algas, incluindo espécies produtoras de toxinas, capazes de causar intoxicação em peixes, anfíbios e mamíferos. Além disso, pode comprometer a água destinada ao abastecimento de humanos e à dessedentação animal. A eutrofização também pode favorecer o crescimento desordenado de macrófitas oportunistas, comprometendo a navegação, a pesca e, eventualmente, a geração de energia hidráulica (Tundisi e Marsumura-Tundisi, 2008).

Este trabalho se justifica pela crescente pressão antrópica e climática sobre os ecossistemas de água doce, que figuram entre os mais ameaçados do planeta, apresentando declínios de biodiversidade (estimados em 85% desde 1970) e qualidade ambiental superiores aos ecossistemas terrestres (WWF, 2024). Diante desse cenário de vulnerabilidade e mudanças climáticas, torna-se essencial investigar como as variáveis climáticas (como temperatura e precipitação) interagem com os parâmetros físico-químicos da água, uma vez que essas relações regem o funcionamento metabólico dos reservatórios. Compreender tais interações é fundamental para subsidiar estratégias de gestão mais resilientes em reservatórios de centrais hidrelétricas, permitindo prever e mitigar os impactos das variações climáticas sazonais sobre os recursos hídricos.

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa e o cumprimento dos objetivos propostos, foi adotada uma abordagem metodológica baseada em pesquisa de campo.

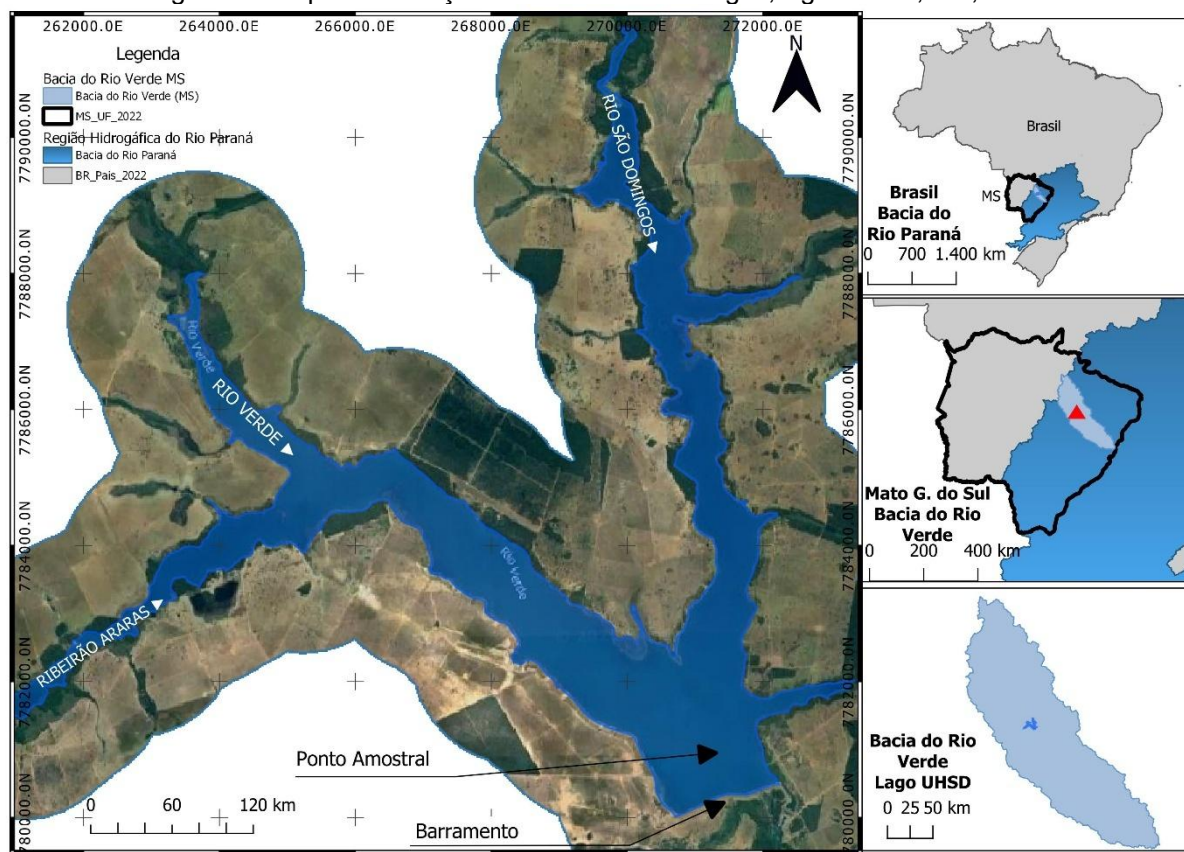
A pesquisa de campo caracteriza-se pela coleta direta de dados a partir da observação dos fenômenos que ocorrem na realidade investigada (Praça, 2015). Segundo a classificação proposta por Gil (2010), esta pesquisa enquadra-se na área das Ciências Exatas e da Terra, possui natureza aplicada, apresenta caráter exploratório quanto aos seus objetivos e utiliza método de levantamento de campo como principal estratégia para obtenção dos dados.

4.1. Área de Estudo

O reservatório da Usina São Domingos - UHSD, está dentro bacia hidrográfica do rio Verde, porção oeste da Bacia do Rio Paraná conforme apresentado na Figura 1. Com área de 1.784,3 hectares e perímetro da área inundada de 76,5 km, o reservatório de São Domingos está nos municípios de Água Clara/MS e Ribas do Rio Pardo/MS. O barramento está instalado na calha do rio Verde e proporciona um volume de 131 milhões de metros cúbicos e um tempo de residência de 20 dias.

A bacia hidrográfica da UHSD estende-se por 10.100 km², possuindo território em cinco municípios da região (Figueirão, Camapuã, Paraíso das Águas, Água Clara e Ribas do Rio Pardo). O uso do solo na bacia, além de suas características pedológicas e geológicas, tem impactos antrópicos como pastagem, floresta plantada, solo exposto, mata e água, conforme pode ser observado na Tabela 1 (Eletrobras, 2020).

Figura 1 - Mapa de Situação da UHE São Domingos, Água Clara, MS, Brasil.



Fonte: Autor / Qgis, 2024)

Na área de drenagem do reservatório, as pastagens plantadas ocupam 63,98% do território em um raio de 10 km do alague (Tabela 1). Por ser pastagem, a bovinocultura tem presença de dejetos, fontes de nitrogênio e fósforo e o manejo de vegetação arbustiva e arbórea e possivelmente solo deteriorado com baixa fertilidade. O sobrepastejo reduz a vegetação e expõe o solo, que sob chuvas intensas sofre processo erosivos e perda de matéria orgânica e o surgimento de plantas e pragas de pastagem. Isso por consequência acentua o uso de controle químico como herbicidas e inseticidas na tentativa de controle dos invasores indesejáveis.

Destaca-se a presença significativa de florestas plantadas (Tabela 1; 21,88% no raio de 5 km), representadas exclusivamente pela monocultura do eucalipto, o qual está associado ao empobrecimento nutricional do solo, remoção espécies vegetais nativas, erosão hídrica e uso de controle químico e biológico. A vegetação nativa, embora presente em áreas próximas ao reservatório (10,35% no raio de 2 km), apresentam baixo índice de cobertura arbórea, o que limita a sua função ecológica. As áreas de solo exposto (5,64% no raio de 5 km), são significativas pois, intensificam os efeitos da seca e, durante chuvas intensas, favorecem o carreamento de

sedimentos, aumentando a turbidez da água, reduzindo a fotossíntese e contribuindo para o assoreamento (Eletrobras, 2020). A ocupação por massas de água (10%; no raio de 2 km) reflete a presença da calha dos rios e do reservatório da usina (Eletrobras, 2020).

Tabela 1 – Quando de Uso e Ocupação do Solo – UHE São Domingos 2020

Área Estudada	Raio de 2 km		Raio de 5 km		Raio de 10 km	
	Área (Km ²)	%	Área (Km ²)	%	Área (Km ²)	%
Pastagem	89,50	60,98%	185,19	58,93%	403,14	63,98%
Floresta Plantada	20,81	14,18%	68,76	21,88%	118,70	18,84%
Mata	15,19	10,35%	23,63	7,52%	53,47	8,49%
Solo exposto	6,28	4,28%	17,72	5,64%	32,94	5,23%
Água	14,99	10,21%	18,98	6,04%	21,85	3,47%
Total	146,77	100,00%	314,28	100,00%	630,1	100,00%

Fonte: (Eletrobras, 2020). Obs. Raio é a distância a partir da linha do nível normal da água do reservatório

O clima da região Centro-Oeste do Brasil é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, com a estação seca ocorrendo no meio do ano devido à atuação do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e de dorsais continentais (Marcuzzo e Melo, 2012). A estação chuvosa está associada ao avanço da Massa Equatorial Continental e à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que geram instabilidade atmosférica durante os meses de verão. De acordo com a classificação de Köppen, a região de Água Clara-MS apresenta clima do tipo “Aw”, definido como tropical com estação seca, com temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C e precipitação anual entre 1.000 e 1.500 mm, sendo que o mês mais seco registra precipitação inferior a 60 mm (Alvares *et al.*, 2013).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (2025), a Região Hidrográfica do Paraná compreende aproximadamente 10% do território brasileiro, abrangendo sete unidades da federação, entre elas o Estado do Mato Grosso do Sul. Trata-se da região hidrográfica mais populosa e economicamente dinâmica do país, concentrando 61,3 milhões de habitantes (ANA, 2015). Essa expressiva densidade populacional e atividade econômica se refletem em uma elevada demanda por recursos hídricos, com destaque para o uso industrial. A região também se sobressai por apresentar maior área irrigada e o maior aproveitamento do potencial hidráulico disponível no Brasil (ANA, 2015). Entre os principais desafios de gestão enfrentados estão o abastecimento urbano, a qualidade da água, os conflitos de uso.

4.2. Dados utilizados

Utilizaram-se dados de 10 anos de amostragem de água superficial, coletados em um ponto amostral do reservatório (Figura 1), no período de julho de 2015 a dezembro de 2024. Ao todo, foram realizadas durante este período, 36 campanhas de amostragem, sendo 18 durante o período seco e 18 no período chuvoso, permitindo a análise comparativa entre as condições sazonais. Os dados foram gentilmente cedidos pela Eletrobras, empresa responsável pelo monitoramento e pela Usina, conforme autorizações em anexo.

Adotou-se, neste estudo, este ponto amostral superficial do reservatório, por ser considerado os dez anos anteriores. Tal escolha se justifica por sua localização na região mais profunda do corpo hídrico, situada na bacia de acumulação, precisamente na confluência dos rios Verde e São Domingos, que formam o reservatório. Além disso, esse ponto apresenta maior histórico de coletas. As campanhas de monitoramento vêm sendo conduzidas sazonalmente desde as fases prévias à implantação da Usina, iniciadas em 2009, sendo que a entrada em operação comercial ocorreu em julho de 2013 (Eletrobras, 2023)

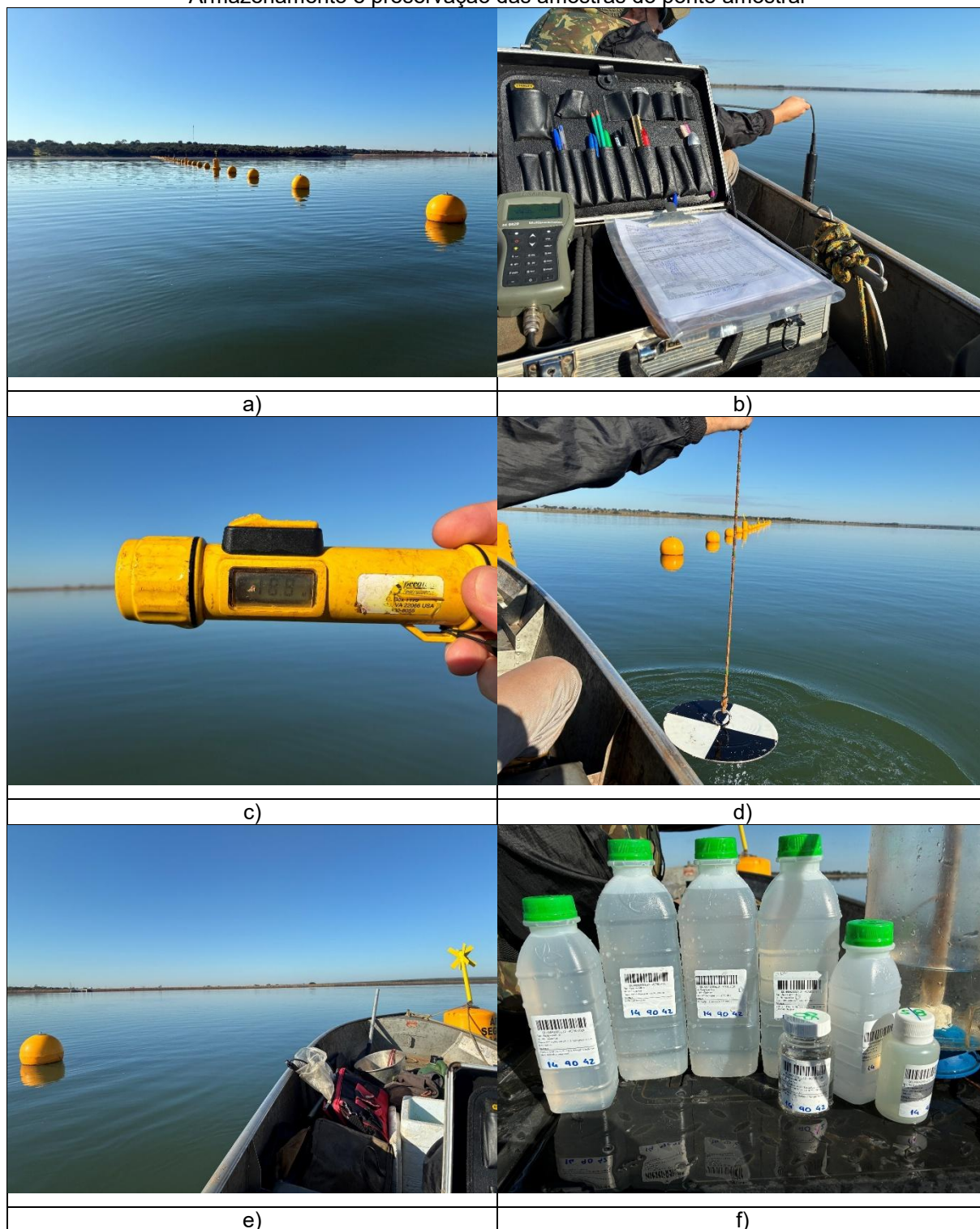
A Tabela 2 apresenta a descrição e a localização do ponto amostral analisado neste trabalho, bem como sua definição no contexto do monitoramento global do empreendimento, o qual contempla diversos pontos distribuídos na área de influência. Para fins de padronização e clareza ao longo do texto, este ponto será referido como ponto de amostragem. Nas figuras de 2 a 7 tem-se os registros fotográficos realizados durante as coletas.

Tabela 2 – Informações sobre o **ponto de amostragem**, objeto de estudo da UHSD, Água Clara / MS.

Ponto	Código	Descrição	Fuso	Leste	Norte
Estação amostral	RVBAc	Rio Verde, ponto próximo à barragem, abrange todas as contribuições recebidas pelo reservatório.	22K	271.445	7.781.068

*Coordenadas em UTM e Datum Sirgas 2000

Figura 2 – a) Vista da margem esquerda a partir do ponto amostral; b) Medições realizadas no ponto amostral; c) Avaliação da profundidade total do ponto amostral; d) Avaliação da transparência da coluna d'água no ponto amostral; e) Vista do barramento a partir do ponto amostral; f) Armazenamento e preservação das amostras do ponto amostral



Para a determinação da profundidade da coleta da amostra utilizou-se o cálculo descrito na Tabela 3. O disco de Secchi (Figura 2 - d) é utilizado para

determinar a transparência da água e a zona eufótica, que será utilizada para calcular a profundidade da coleta da amostra, coletada com a garrafa tipo Van-Dorn. Sendo a profundidade correspondendo a 54% da Profundidade de Secchi, determinada com o Disco de Secchi no momento da coleta.

Tabela 3 – Critérios para determinação da profundidade de coleta de amostras de água no ponto amostral do reservatório da UHSD. Fonte: Eletrobras (2020) / Adaptação: Autor.

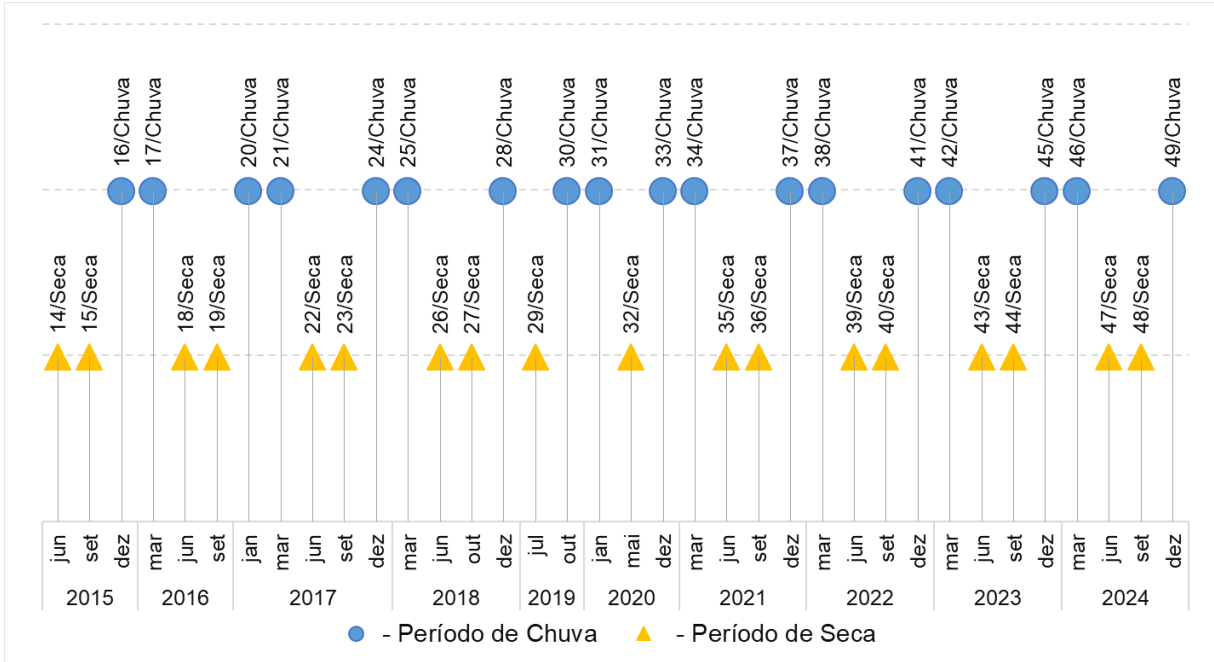
Profundidade	Descrição	Fórmulas
I Superfície	Camada da zona eufótica com 40% da luz incidente, disco de Secchi.	$(T_{secchi} \times 0,54)$

Onde: Tsecc=Profundidade de transparência de Secchi

4.3.Frequência de amostragem

A frequência de monitoramento no ponto de amostragem está apresentada na Figura 3, que também exhibe as **datas das campanhas realizadas entre junho de 2015 a dezembro de 2024**. Ao todo, foram realizadas 36 coletas, distribuídas entre os períodos de seca e de chuva, todas ocorridas após o enchimento do reservatório, Esse registro evidencia a distribuição sazonal das amostragens ao longo do período.

Figura 3 - Distribuição temporal das 36 campanhas de monitoramento de qualidade da água realizadas no ponto amostral do reservatório da UHSD, com identificação dos períodos sazonais (chuvoso e seco), entre junho de 2015 e dezembro de 2024.



Fonte: Autor

4.4.Variáveis ambientais aquáticas monitoradas

O monitoramento ambiental do empreendimento contempla um conjunto amplo de parâmetros, dos quais forma selecionados aqueles apresentados na Tabela

4, por apresentarem maior variação ao longo da série temporal analisadas. Algumas variáveis foram determinadas diretamente no ponto de amostragem, com o uso de sonda multiparâmetros (Figura 2 - b), disco de Secchi e profundímetro (Figura 2 - c), outras foram analisadas em laboratório (Laboratório Biolaqual Ambiental) acreditado pelo Cgcre/Inmetro, conforme a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025. Além disso, foi utilizado o Índice de Qualidade da Água do Reservatório - IQAR, como indicador sintético da condição ambiental. As variáveis climáticas consideradas incluem dados de reanálise de precipitação diária, temperatura média diária e temperatura observada, permitindo a correlação entre fatores meteorológicos e a qualidade da água ao longo do tempo.

Tabela 4 – Parâmetros de qualidade da água avaliados neste estudo, com respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Limites de Quantificação (LQ) dos ensaios laboratoriais.

Parâmetros	Abreviação	Limites Conama Art. 15	Limites Mínimos de Quantificação
Temperatura da água (°C)	Tag		
Clorofila a (µg/L)	Cla	< 30	
Condutividade elétrica (µS/cm)	CE		
Fósforo total (mg/L)	FT	< 0,050	0,02 e 0,008 Obs.:
Nitrogênio inorgânico total (mg/L)	NIT	< 11,0	1,5
Nitrogênio total Kjeldahl (mg/L)	NTK		1,0
Nitrogênio Total (mg/L)	NT	< 11,0	1,5
Turbidez (UNT)	Tur	< 100 UNT	1,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	SDT	< 500	21,0
Transparência (m)	Tsecc		
Oxigênio dissolvido (mg/L)	OD	> 5	
IQAR Reservatório	IQAR		
Precipitação Observada (mm)	Prec.		
Temperatura Observada (C)	Tar		

Obs.: O LQ para o Fósforo total era 0,02 mg/l até dezembro de 2018, após 0,008 mg/l
 Fonte: CONAMA (2005); Laboratório Biolaqual Ambiental / Elaboração: Autor.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece diretrizes para a classificação dos corpos hídricos de águas superficiais (doces, salobras e salinas) no Brasil, com base em seus usos preponderantes. Ela define as condições e padrões de qualidade da água e os limites para o lançamento de efluentes, visando à proteção da saúde humana, da vida aquática e do uso sustentável dos recursos hídricos. A norma também orienta o enquadramento dos corpos d'água em classes, de especial a classe 4, conforme sua destinação, como abastecimento recreação, irrigação, pesca e navegação (CONAMA, 2005).

Na Tabela 4, estão descritos os parâmetros adotados para este estudo, seus Valores Máximos Permitidos - VMP pela Resolução do Conama 357 (2005), para rios de Classe II, e os valores de Limite de Quantificação – LQ, definidos pela metodologia

de análise laboratorial da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025. O Conama estabeleceu diretrizes de qualidade para o enquadramento dos corpos hídricos no território nacional, de acordo com usos, e para o lançamento de efluentes, a Resolução 357 fixou limites superiores e inferiores para diversas variáveis de águas doces, salobras e salinas.

4.4.1. Índice de Qualidade de água do reservatório - IQAR

O **IQAR** foi criado para verificar a degradação da qualidade da água dos reservatórios. Desenvolvido com uma matriz de seis classes de qualidade da água, numeradas de I a VI, estabelecido a partir dos percentis 10%, 25%, 50%, 75% e 90% de cada parâmetro considerado para o cálculo do índice (IAP, 2009). Resultando na Tabela 5.

Tabela 5 – Classes de qualidade da água do reservatório segundo o Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR), com descrição do nível de degradação correspondente, para o estado do Mato Grosso do Sul, Brasil.

Valor	Classe	Descrição
0 - 1,50	I	Não impactado a muito pouco degradado
1,51 - 2,50	II	Pouco degradado
2,51 - 3,50	III	Moderadamente degradado
3,51 - 4,50	IV	Criticamente degradado a poluído
4,51 - 5,50	V	Muito poluído
> 5,51	VI	Extremamente poluído

Fonte: IAP (2009) / Adaptação: Autor.

Tabela 6 – Variáveis e pesos utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR).

Parâmetro de Qualidade da Água	Peso (w)
Déficit de Oxigênio dissolvido (%)	17
Clorofila a (µg/L)	15
Fósforo total (PO ₂ -mg/L)	12
Profundidade Secchi (m)	12
Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L)	12
Tempo de residência (dias)	10
Nitrogênio inorgânico total (N-mg/L)	8
Cianobactérias (nº de células /mL)	8
Profundidade média (metros)	6

Fonte: ANA (<https://www.ana.gov.br/portallpnqa/indicadores-qualidade-agua.aspx>).

Selecionadas as variáveis, o método atribuiu valores e pesos numa escala de importância para avaliação do nível de qualidade de água do reservatório, apresentados na Tabela 6.

4.4.2. Variáveis Físicas

4.4.2.1. Temperatura da água - Tag

Variações de temperatura fazem parte do regime climático local e global, e ecossistemas aquáticos continentais podem apresentar grandes variações diárias e/ou sazonais de temperatura. A elevação da temperatura superficial de um corpo d'água pode gerar camadas d'água com diferentes densidades. Essa barreira física impede a propagação do calor através do transporte de massa d'água, formando um gradiente térmico na coluna d'água. Nesse cenário, se a energia do vento não for suficiente para misturar essas camadas d'água, o calor não se distribui uniformemente, levando à ocorrência de microestratificações diárias ou estratificações sazonais ou permanentes na coluna d'água. Esse fenômeno pode contribuir significativamente para a redução da concentração de oxigênio dissolvido na água (estratificação química), podendo provocar a morte de seres aquáticos e aumentar a quantidade de matéria orgânica presente na água (Esteves, 2011).

A temperatura da água foi determinada em campo com a utilização de sonda Multiparâmetros Hanna 9829. A Resolução nº 357/2005 do CONAMA não estabelece limites para temperatura da água em ambientes aquáticos Classe 2.

4.4.2.2. Transparência (m) – Tsecc – Zona eufótica

A transparência da coluna d'água, Zona eufótica, é a camada onde a luz solar penetra o suficiente para permitir a fotossíntese, sendo seu limite inferior geralmente definido como a profundidade onde a radiação atinge 1% da intensidade na superfície. Zona eufótica, essa profundidade depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar, por partículas em suspensão, tais como bactérias, plâncton, detritos orgânicos e inorgânicos a radiação subaquática. Esta camada marca o equilíbrio entre a produção primária líquida e a respiração dos organismos aquáticos. No entanto, em ambientes tropicais, devido a maior intensidade da radiação solar, organismos como cianobactérias e fitoplâncton podem manter atividade fotossintética significativa mesmo abaixo desse limite convencional, demonstrando grande capacidade adaptativa a baixa luminosidade (Esteves, 2011).

Na Figura 7 está representado o histórico dos valores de transparência de Secchi no ponto de amostral. E o CONAMA não estabelece VMP para transparência de Secchi Classe 2.

4.4.2.1. Turbidez (UNT) - Tur

A turbidez da água é uma propriedade óptica que expressa a dificuldade de penetração da luz em função da presença de partículas em suspensão, como argilas, areias, matéria orgânica, detritos e organismos planctônicos. Esses materiais são frequentemente introduzidos nos corpos hídricos por meio do escoamento superficial, sendo influenciados diretamente pelo uso e manejo do solo nas áreas adjacentes. A turbidez é, portanto, um importante indicador da qualidade ambiental e da integridade ecológica de microbacias hidrográficas, sendo amplamente utilizadas em programas de monitoramento e conservação de recursos hídricos. A presença em concentrações elevadas pode sinalizar processos erosivos intensos, deterioração do solo (Hermes *et al.*, 2006).

Além disso, atividades de mineração (como a retirada de areia ou a exploração de argila), assim como o lançamento de esgotos e efluentes industriais, são importantes fontes que causam a elevação da turbidez nos corpos hídricos. Um controle efetivo da turbidez, deve ser feito o controle da erosão através da utilização de diversos métodos, incluindo a recuperação das matas ciliares. A consequência principal é a redução da entrada de material em suspensão, o escoamento de substâncias tóxicas para o sistema aquático, diminuindo as chances de ocorrer um processo de eutrofização do corpo d'água (Tundisi e Marsumura-Tundisi, 2008).

4.4.2.1. Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - CE

A condutividade elétrica é uma grandeza que traduz numericamente a capacidade de uma solução conduzir corrente elétrica. Em ambientes aquáticos, a condutividade elétrica depende das concentrações iônicas e da temperatura, e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água; à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Os íons mais representativos para a condutividade elétrica de águas continentais são: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{2+}), potássio (K^{+}), cloreto (Cl^{-}), sulfato (SO_4^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^{-}), enquanto nitrato, nitrito e especialmente ortofosfato têm pouca influência, e o íon amônio pode ter influência somente em altas concentrações (Esteves, 2011).

Além disso, a condutividade também representa um importante indicador das modificações na composição iônica da água, do metabolismo e da bacia de drenagem dos ambientes aquáticos continentais. Por exemplo, a condutividade reduz com a produção primária e aumenta com o processo de decomposição (Duque-Estrada,

Cesar e Roland, 2004). No entanto, a condutividade não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes da água.

Altos valores de condutividade podem indicar características corrosivas da água, e, em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Para reservatórios, pode ser observada uma variação da condutividade elétrica em diferentes profundidades, e uma variação com o regime do reservatório — com a entrada de água dos tributários somada à tração realizada pela vazão vertida e turbinada da usina durante a operação em períodos de cheia.

4.4.2.2. Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) - SDT

Em saneamento, sólidos na água correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis).

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante. Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem se sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia.

4.4.3. Variáveis Químicas

4.4.3.1. Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{L}$) - Cla

Clorofila-a é uma importante variável nos ecossistemas aquáticos, sendo o principal pigmento responsável pelo processo de fotossíntese. Pode ser considerada como um indicador de estado trófico dos ambientes aquáticos, pois indica a biomassa de algas presente no corpo hídrico (Esteves, 2011). Sua concentração está

diretamente relacionada à abundância de fitoplâncton, organismos microscópicos fotossintetizantes que compõem a base das cadeias alimentares aquáticas. A presença de clorofila-a e de fitoplâncton nos corpos d'água podem sinalizar a qualidade ambiental. Desta forma a clorofila-a é amplamente utilizada como parâmetro de monitoramento da qualidade da água em sistemas aquáticos (Crioni, Teramoto e Kiang, 2023). De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite máximo da clorofila-a para rios de Classe 2 é de 30 µg/L, valor de referência para o monitoramento da qualidade da água.

4.4.3.1. Série nitrogenada – NIT, NTK e NT

Por ser um elemento importante no metabolismo de ecossistemas aquáticos, o nitrogênio atua como fator limitante na produção primária de ecossistemas; em concentrações elevadas, esse nutriente favorece a produção primária. Por isso, é um dos nutrientes responsáveis pelo processo de eutrofização e, consequentemente, influencia a quantidade de oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e clorofila na água, podendo causar a diminuição da biodiversidade existente no local (Wetzel, 2023).

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas: nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras chamam-se formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Pode-se associar a idade da poluição com a relação entre as formas de nitrogênio. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas, significa que a fonte de poluição se encontra próxima; se prevalecer nitrato, significa que a fonte de poluição se encontra distante (Guimarães *et al.*, 2020).

Lagos e reservatórios atuam como importantes sumidouros de nitrogênio, a eficiência de retenção depende do clima e da densidade desses corpos hídricos na paisagem. Reservatórios apresentam maior capacidade de retenção que lagos, devido a maiores razões de drenagem, velocidade de sedimentação e cargas de nitrogênio (Wetzel, 2023).

As variáveis utilizadas em nosso estudo são: Nitrogênio inorgânico total (mg/L), Nitrogênio total Kjeldahl (mg/L) e Nitrogênio Total (mg/L).

4.4.3.2. Fósforo total (mg/L) - FT

O fósforo pode ser proveniente de fontes naturais — decomposição de rochas, carreamento pelo escoamento superficial proveniente da chuva, material particulado presente na atmosfera e da decomposição de organismos de origem alóctone — e fontes artificiais — esgoto doméstico e industrial, fertilizantes agrícolas e material particulado de origem industrial contido na atmosfera (Esteves, 2011). As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem levar ao aumento excessivo de fósforo em águas naturais.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são as formas em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas, enquanto os polifosfatos (ou fosfatos condensados) são polímeros de ortofosfatos. No entanto, esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

De forma geral, os ortofosfatos são biodisponíveis e, uma vez assimilados, são convertidos em fosfato orgânico e em fosfatos condensados. Após a morte de um organismo, os fosfatos condensados são liberados na água, entretanto, não estão disponíveis para absorção biológica até que sejam hidrolisados por bactérias para ortofosfatos.

Sabendo que o estabelecido pela Resolução Conama nº 357/2015 para rios Classe 2 com tempo de residência intermediário (entre 2 e 40 dias) é de no máximo 0,05 mg/L (art. 15º §IX, alínea b).

4.4.3.3. Oxigênio dissolvido (mg/L) - OD

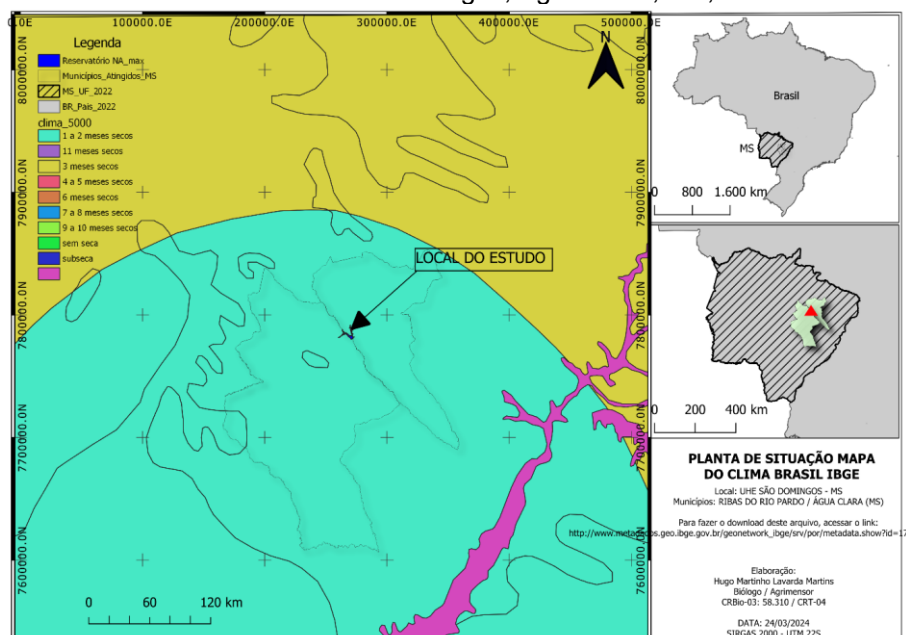
A fotossíntese e as trocas gasosas com a atmosfera são os principais fornecedores de oxigênio dissolvido para o corpo hídrico, sendo que temperatura elevada e diminuição da pressão atmosférica diminuem sua solubilidade (Wetzel, 2023). Por outro lado, as perdas para a atmosfera, a respiração de organismos aquáticos, os processos de oxidação de íons metálicos e a decomposição aeróbica são fatores que também contribuem para a redução do oxigênio na água (Esteves, 2011).

A determinação do oxigênio dissolvido é de fundamental importância para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica. Em ambientes mais eutrofizados, a fotossíntese de algas ocorre em maior proporção, devido principalmente ao aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo — utilizados como nutrientes pelas algas — no ambiente. Especificamente, quando o corpo d'água recebe grandes quantidades de matéria orgânica (esgoto doméstico), os microrganismos decompositores consomem mais oxigênio para poder decompor toda a carga de matéria orgânica recebida. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica na água, maior é o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos. Esse consumo excessivo leva à depleção de oxigênio na água, causando a mortandade de outros animais, como os peixes.

4.4.4. Variáveis Climáticas

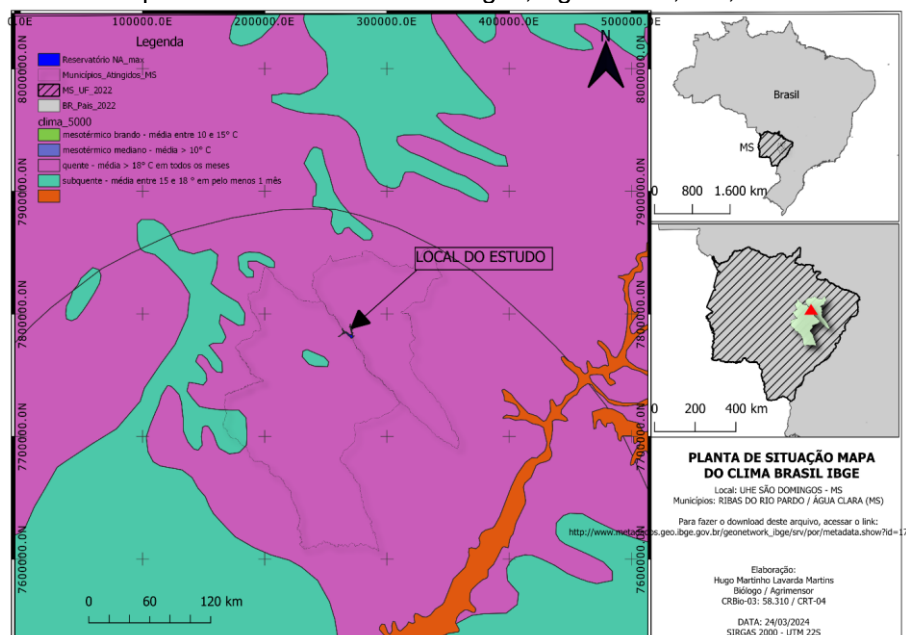
Na Bacia do Rio Paraná, onde se situa o Rio Verde, a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a maio conforme Figura 4, e a estação seca, entre junho e setembro. De acordo com o estudo, realizado pelo IMASUL (2021) a faixa do clima é Aw, segundo a classificação de Köppen, tropical úmido, verão chuvoso e inverso seco e a precipitação anual está entre 1300 a 1500 mm ano e temperatura média oscilando entre 19° a 26° (Figura 5). De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), entre os elementos climáticos temos a temperatura, a umidade e a pressão, que manifestam-se em precipitação, ondas de calor e frio entre outros.

Figura 4 – Mapa Climático do Brasil com destaque ao nosso local de estudo, com a classificação da umidade da UHE São Domingos, Água Clara, MS, Brasil.



Fonte: IBGE / QGis / Adaptado: Autor

Figura 5 – Mapa Climático do Brasil com destaque ao nosso local de estudo, com a classificação da temperatura da UHE São Domingos, Água Clara, MS, Brasil.

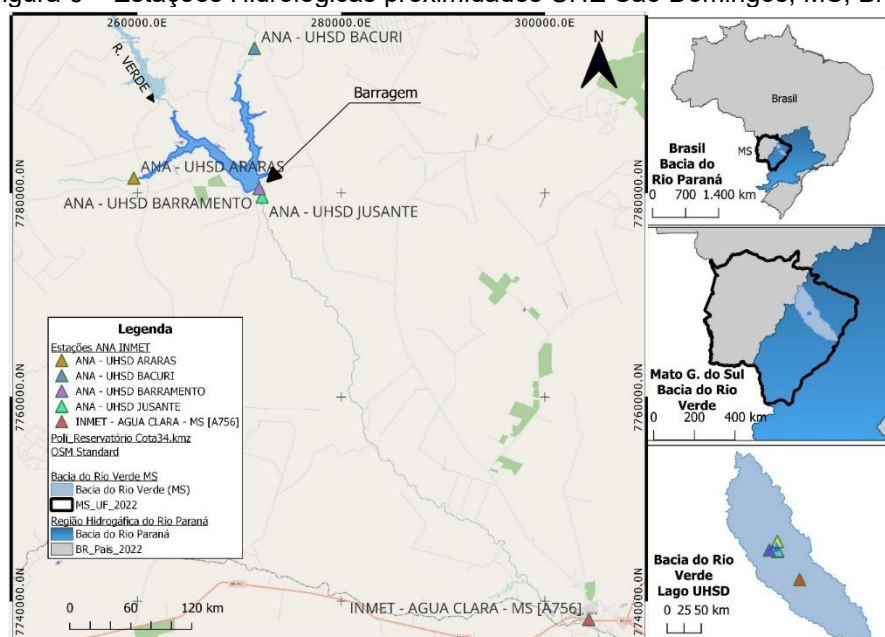


Fonte: IBGE / QGis / Adaptado: Autor

No presente estudo, utilizamos os dados de reanálise de quinta geração (ERA5) do ECMWF (Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo). O ERA5 fornece estimativas horárias de vasta quantidade de informações atmosféricas desde as ondas oceânicas até a superfície terrestre (Copernicus, 2018).

A opção pela não utilização dos dados das estações hidrológica indicadas na Figura 6, presentes na área de contribuição do reservatório de estudo se justifica pela ausência de cobertura temporal e lacunas significativas dos dados. Essas estações, embora localizadas no entorno da bacia, apresentam limitações quanto à cobertura temporal, discrepâncias nos regimes hidrológicos locais e, em alguns casos lacunas significativas nos registros históricos de precipitação. Diante destas limitações, optou-se pela utilização de dados meteorológicos de reanálise, que oferecem cobertura contínua, consistência temporal. Estudo recente como Uliana (2025) demonstram que dados de reanálise podem ser utilizados em bacias com escassez de dados observacionais garantidos. Neste contexto, a temperatura média do ar e a precipitação acumulada dos 30 dias anteriores a coleta, foram estimadas com base na grade de reanálise ERA5.

Figura 6 – Estações Hidrológicas proximidades UHE São Domingos, MS, Brasil



Fonte: IBGE / QGis / Adaptado: Autor

O banco de dados ERA5, da quinta geração de reanálises do ECMWF, oferece séries horárias de variáveis climáticas como temperatura do ar, precipitação e vento, distribuídas em 137 camadas atmosféricas. Essa estrutura permite a detecção de fenômenos atmosféricos sutis com maior precisão. Os dados são de acesso livre e têm demonstrado bom desempenho em representar variáveis climáticas em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil. Estudos como os de Junior, Blain e Xavier (2022) validam sua confiabilidade. O ERA5 é amplamente utilizado em pesquisas climáticas e ambientais.

4.4.5. Precipitação e Temperatura do Ar

O reservatório apresenta um tempo de residência teórico de 20 dias, calculado a partir do volume do reservatório de 131 hm^3 (131 milhões de m^3) e de vazão média efluente. Portanto a utilização de dados de precipitação acumulada de 30 dias (ERA5), tempo superior ao ciclo completo de renovação da massa hídrica, permitindo uma correlação robusta entre o aporte de carga difusa da bacia hidrográfica e os parâmetros de qualidade da água analisados.

Com base em estudos recentes, os dados de precipitação obtidos por meio da reanálise ERA5 têm se mostrado uma ferramenta confiável para a caracterização climática em diferentes regiões. A reanálise ERA5, desenvolvida pelo ECMWF, fornece estimativas de precipitação com alta resolução temporal e espacial, permitindo análises detalhadas da pluviométrica. Em um estudo realizado por Araújo

(2025), os dados de precipitação total do ERA5-Land foram validados com medições de 13 estações meteorológicas do INMET, apresentando desempenho satisfatório. Essa abordagem tem sido amplamente utilizada para suprir a escassez de dados observacionais, especialmente em regiões com baixa densidade de estações, contribuindo significativamente para estudos hidrológicos, modelagem climática e planejamento ambiental.

5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas e processados por meio de software jamovi (v. 2.4, 2024) e do suplemento *Real Statisticis Resource Pack*, (Zaiontz, 2025). A normalidade da distribuição dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965), o qual orientou a aplicação de métodos não paramétricos para análises subsequentes.

Para a identificação de tendências ascendentes ou descendentes em séries temporais, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Este método foi executado tanto para a série histórica completa quanto individualmente para os períodos de seca e chuva, acompanhado da elaboração de gráficos de séries temporais com linhas de tendência.

A força da associação entre as variáveis foi avaliada pelo coeficiente de correlação Tau de Kendall (Kendall, 1938). As correlações foram classificadas quanto à direção (positiva ou negativa) e à magnitude, adotando-se os seguintes critérios: forte ($|\tau| \geq 0,70$), moderada ($0,30 \leq |\tau| < 0,70$) e fraca ($|\tau| < 0,30$). Considerou-se o nível As correlações foram consideradas estatisticamente significativas quando $p \leq 0,05$.

Para a visualização da distribuição dos dados e identificação de *outliers*, foram elaborados histogramas e *boxplots* comparativos entre os períodos sazonais. Por fim, a existência de diferenças significativas entre os grupos de seca e chuva foi verificada por meio do teste de *U de Mann-Whitney* (Mann e Whitney, 1947), indicado para a comparação de dados não paramétricos independentes.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados das análises das variáveis abióticas relacionadas à qualidade da água, bem como das variáveis

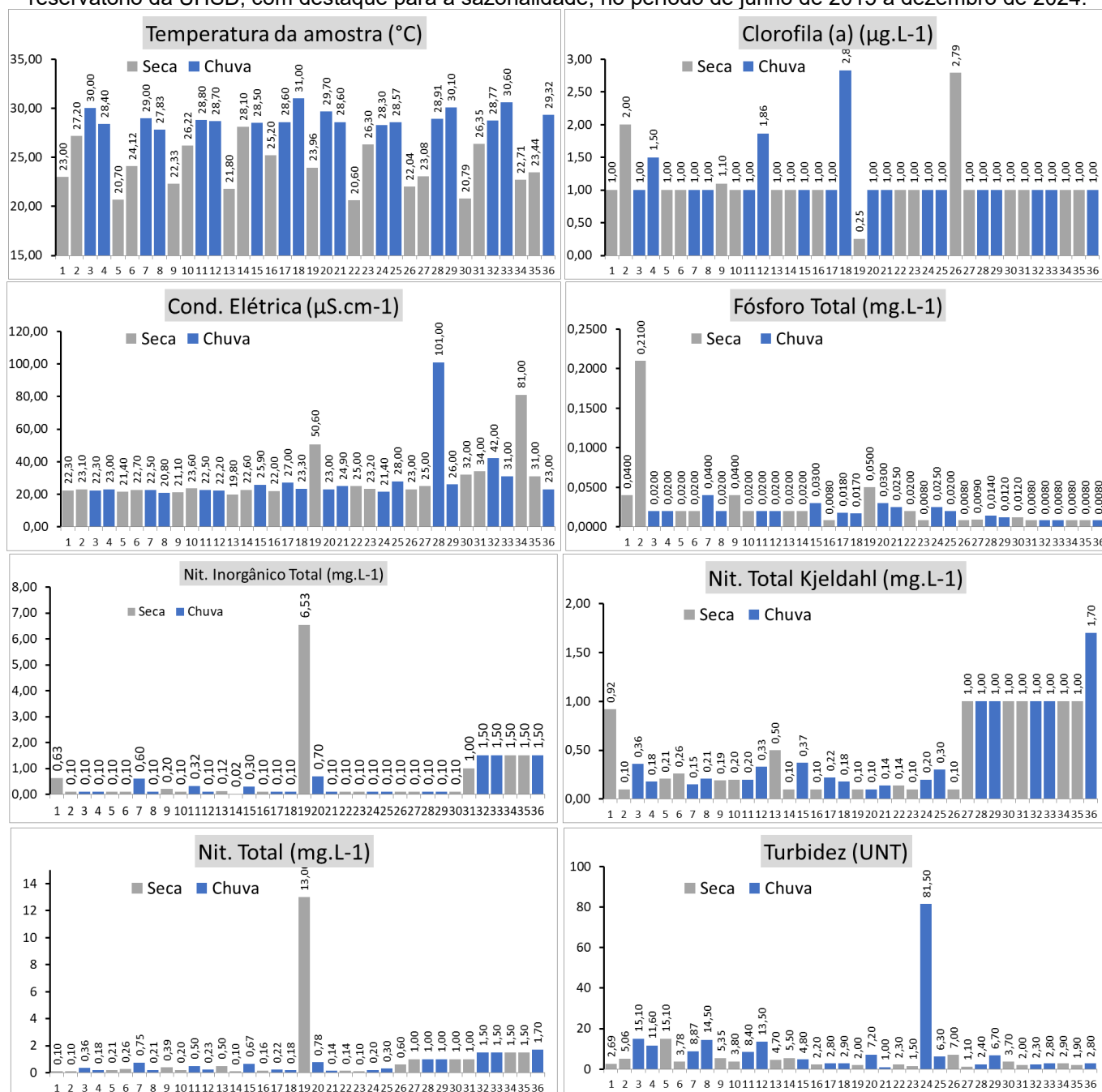
climáticas, considerando a série temporal compreendida entre junho de 2015 a dezembro de 2024. Análises realizadas para o ponto amostral do reservatório da Usina São Domingos, localizada em Água Clara/MS. A abordagem adotada permitiu analisar o monitoramento da relação clima e ambiente aquático no período aproximadamente de 10 anos e identificar padrões amostrais sazonais e alterações nas variáveis ao longo do período analisado. Inicialmente, são discutidos os dados históricos, em seguida à análise comparativa entre os períodos seco e chuvoso, como objetivo de compreender a influência da sazonalidade sobre os parâmetros avaliados.

6.1. Série Histórica de dados

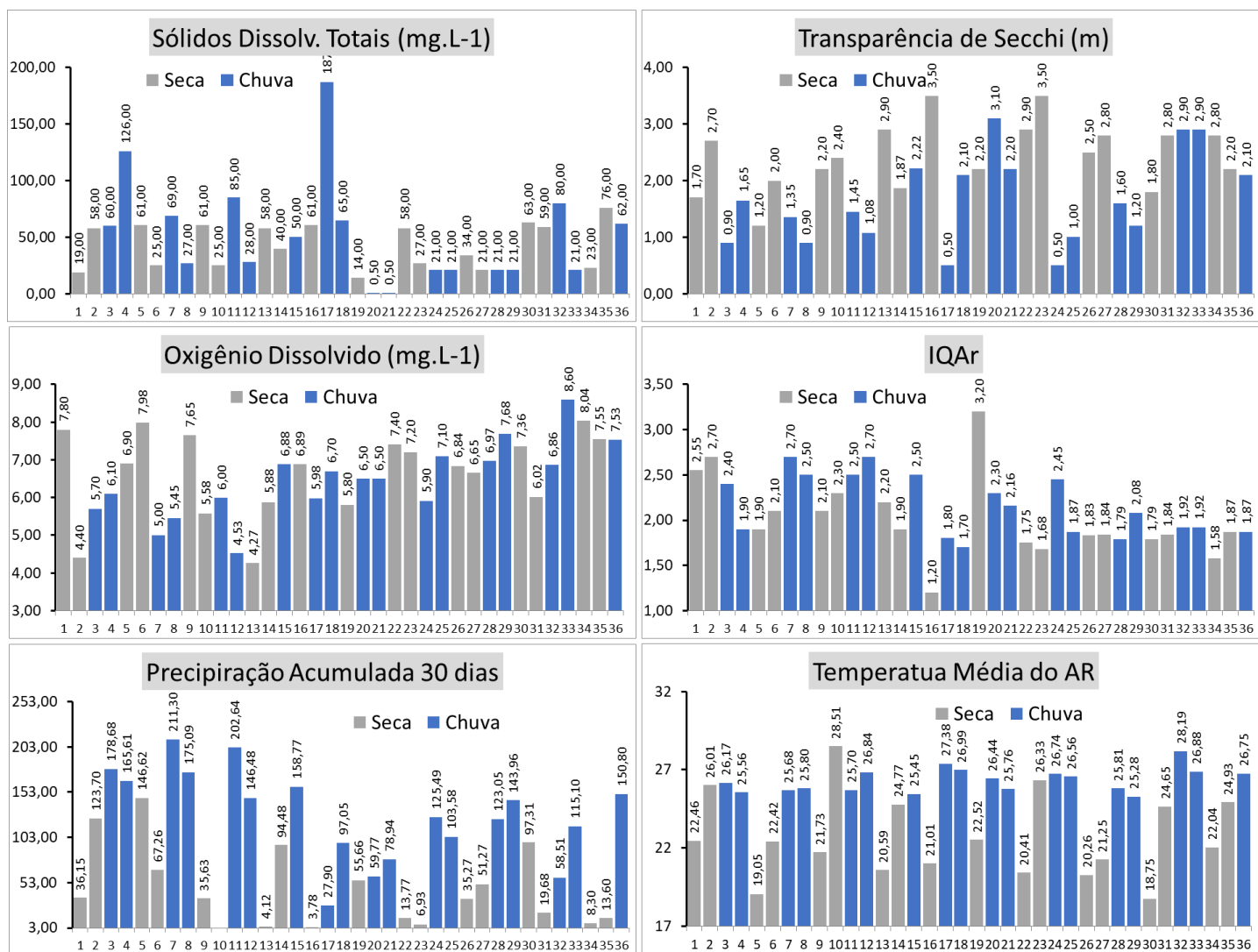
Na Figura 7, é apresentada a análise do histórico das variáveis monitoradas no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. Observa-se um comportamento sazonal bem definido para alguns parâmetros, como **temperatura da água**, **turbidez**, e **transparência de Secchi**, refletindo a influência dos ciclos climáticos anuais. Para o oxigênio dissolvido e sólidos dissolvidos totais, a sazonalidade se verifica na primeira metade do período amostral.

As variáveis climáticas, como **precipitação acumulada** e **temperatura do ar**, apresentaram variação sazonal compatível com o regime climático regional, refletindo padrões esperados. Em contrapartida, foram observadas flutuações nos parâmetros limnológicos, especialmente nos teores de **clorofila-a**, **condutividade elétrica** e **fósforo total**. Além disso, ocorreram variações pontuais em nitrogênio inorgânico total (NIT), nitrogênio total (NT), turbidez (Tur) e sólidos dissolvidos totais (SDT), conforme evidenciado na Figura 7. Essas oscilações indicam possíveis influências antrópicas e processos internos no corpo hídrico.

Figura 7 – Série histórica das variáveis abióticas de qualidade da água e climáticas monitoradas no ponto amostral do reservatório da UHSD, com destaque para a sazonalidade, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024.



Fonte: Autor.



Fonte: Autor

6.1.1. Estatística descritiva dos dados

Na Tabela 7 a análise descritiva mostrou que em sua maioria os parâmetros não apresentaram distribuição normal com valor de **$p<0,05$** , no teste de Shapiro-Wilk. Apenas três variáveis apresentaram distribuição normal, sendo: **transparência de Secchi, oxigênio dissolvido e IQAR**, (atenderam os pressupostos da Normalidade). Contudo, nesta situação em que os dados não seguem a distribuição normal os testes não paramétricos, são a alternativa, pois não exigem os pressupostos da normalidade (Siegel e Castellan-Jr, 2008).

Tabela 7 – Estatística descritiva das variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas em 36 campanhas, no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. AIQ = Amplitude Interquartil. Shapiro-Wilk: W = estatística do teste; p = valor de probabilidade.

	N	Mediana (Q2)	AIQ	Percentis		Shapiro-Wilk		
				25 (Q1)	75 (Q3)	W	p	normal
Tag	36	27,97	5,4275	23,35000	28,7775	0,897	0,003	não
Cla	36	1,00	0,0000	1,00000	1,0000	0,515	<0,001	não
CE	36	23,15	4,8000	22,45000	27,2500	0,505	<0,001	não
FT	36	0,02	0,0125	0,00875	0,0212	0,428	<0,001	não
NIT	36	0,10	0,5070	0,10000	0,6070	0,442	<0,001	não
NTK	36	0,22	0,8525	0,14750	1,0000	0,764	<0,001	não
NT	36	0,38	0,8050	0,19500	1,0000	0,335	<0,001	não
Tur	36	3,79	4,6750	2,37500	7,0500	0,394	<0,001	não
SDT	36	45,00	40,2500	21,00000	61,2500	0,829	<0,001	não
Tsecc	36	2,15	1,3750	1,42500	2,8000	0,968	0,369	sim
OD	36	6,77	1,4750	5,89500	7,3700	0,971	0,465	sim
IQAR	36	1,92	0,5750	1,83750	2,4125	0,946	0,076	sim
Prec.	36	86,71	111,1625	33,42750	144,5900	0,939	0,046	não
Tar	36	25,62	4,1450	22,32500	26,4700	0,901	0,004	não

Fonte: Autor (Jamovi, 2024).

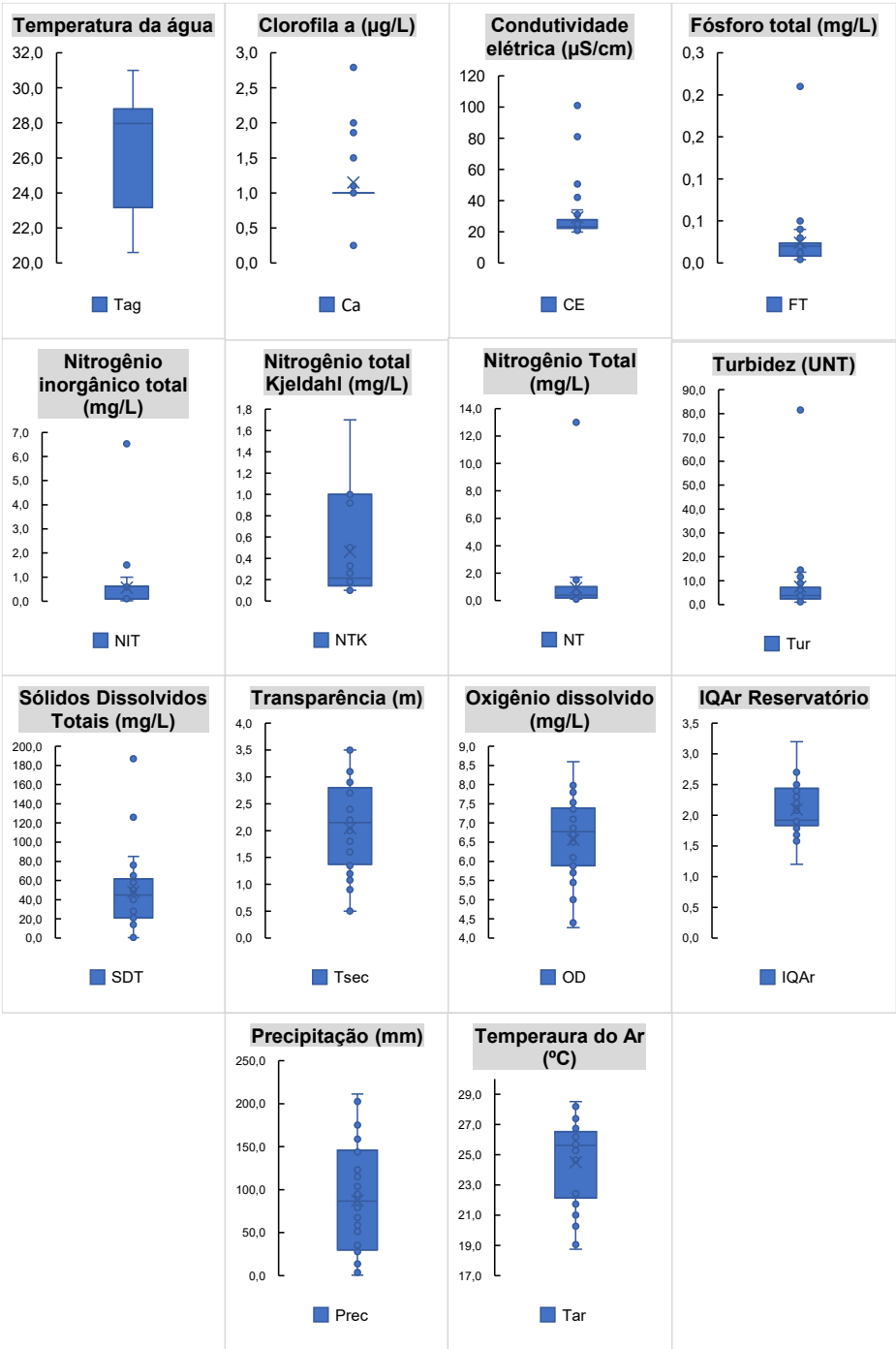
Adotando-se assim, como medida de tendência central a mediana e analisando a amplitude interquartis (AIQ) os dados de **Sólidos Dissolvidos Totais e Precipitação** apresentaram alta dispersão, significando a grande distribuição dos dados. Por outro lado, a **Clorofila-a** e o **Fósforo total** têm os menores valores, demonstrando baixa variabilidade de dados, para as 36 campanhas realizadas de junho de 2015 a dezembro de 2024.

6.1.2. Análise exploratória de dados abióticos

Fazendo-se uma análise via Gráficos de *Boxplot*, Figura 8, ao longo da série histórica, mostra o comportamento das variáveis e os pontos que fogem das caixas como sendo *outliers*, que representariam uma variação atípica. Nesta série histórica podemos identificar empiricamente os parâmetros que se apresentam pontos fora do intervalo interquartis, sendo eles: **Clorofila-a, Condutividade Elétrica, Fósforo**

Total, Nitrogênio Total, Turbidez e Sólidos Dissolvidos Totais. Os demais parâmetros apresentaram variabilidade em torno da média.

Figura 8 – Diagrama de caixa (*boxplot*) dos parâmetros de qualidade da água analisados ao longo da série histórica (junho/2015 a dezembro/2024), UHSD. A linha central representa a mediana; as caixas indicam os percentis 25 e 75; as barras de erro os percentis 10 e 90; os círculos representam valores individuais e os "x" as médias.



Fonte: Autor

6.1.3. Análise valores identificados como Outliers

Conforme trabalho de (Barbosa, Pereira e Oliveira, 2018), valores atípicos ou *outliers*, em uma observação de um conjunto de dados quando comparados entre si

podem parecer ser inconsistentes, contudo, são muito úteis e não interferem nos resultados por tratar-se de dados não paramétricos. Podemos observar Tabela 8, a detecção de *outliers* contém informações relevantes para análise de dados em um processo, neste caso observamos um grupo de dados na 19ª coleta de maio/20 durante o período de seca, outro agrupamento podemos identificar com um número expressivo de *outliers* é a Clorofila-a. Contudo, no caso da Clorofila-a temos a questão relacionada aos limites de detecção dos métodos de determinação laboratorial sendo 0,25 µg/l para a amostra de maio/20 e 1,00 µg/l para as demais, como a resolução do Conama o VMP < 30 µg/l, o LQ adotado na análise atendem os padrões legais.

Tabela 8 – Identificação de valores atípicos (*outliers*) por campanha de monitoramento, com indicação da sazonalidade, precipitação acumulada nos 30 dias anteriores à coleta e anomalia de precipitação. UHSD, período de junho de 2015 a dezembro de 2024.

Parâmetros / Unidades / Relação de Outliers por Campanha													
		Campanhas											
		2	4	9	12	17	18	19	24	26	28	32	34
Cla	µg/L	2,0	1,5	1,10	1,86		2,83	0,25		2,79			
CE	µS/cm							50,6			101,0	42,0	81,0
FT	mg/L	0,21						0,05					
NIT	mg/L							6,53					
NT	mg/L							13,0					
Tur	UNT								81,5				
SDT	mg/L					187,0							

Informações de precipitação acumulada e sazonalidade para respectiva amostragem

Prec.	mm	123,70	165,61	35,63	146,48	27,90	97,05	55,66	125,49	35,27	123,05	58,51	8,30
Sazonal		Seca	Chuva	Seca	Chuva	Chuva	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Chuva	Seca

Fonte: Autor / ERA5-Copernicus

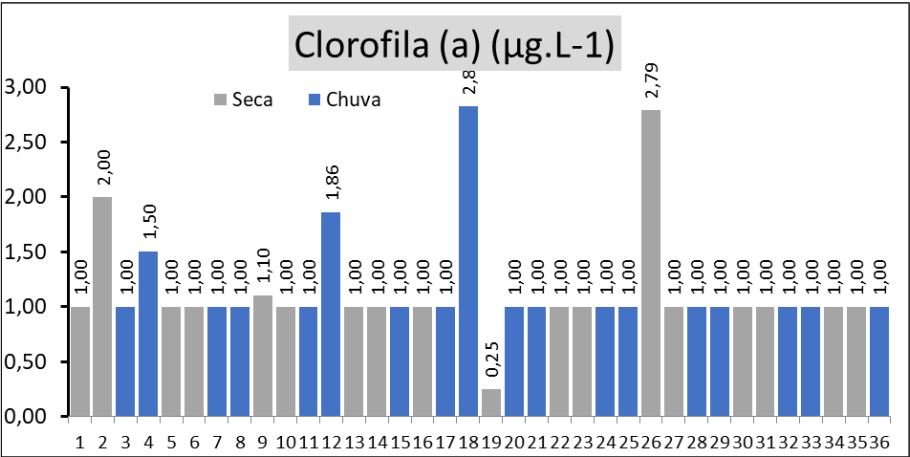
6.1.3.1. Valores atípicos Clorofila a (Cla)

Com base no método de intervalo interquartil, demonstrado na Figura 8, esses valores estão fora dos valores estatísticos esperados para a distribuição dos dados. Porém, considerando que o nível mínimo de quantificação é **1,00** microgramas por litro (**LQ ≤ 1,00 µg/l**), os valores 1,00 repetidos coincidem com o Limite de Quantificação – LQ, poderíamos justificar fatores técnicos ou metodológicos, contudo os valores estão muito abaixo do limite estabelecido pela Conama 357/05, de **VMP ≤ 30,00 µg/l**.

A baixa concentração de clorofila-a registrada ao longo da série histórica, com mediana de 1,00 µg/L e valores predominantemente no limite de quantificação do método analítico, indica que o reservatório da UHSD manteve condições oligotróficas a mesotróficas durante o período estudado. Esse comportamento é compatível com reservatórios de usinas hidrelétricas localizados em bacias com uso do solo predominantemente agropecuário e com tempo de residência suficiente para a

sedimentação de nutrientes, o que pode limitar a produção fitoplanctônica (Vidal e Capelo Neto, 2014). A ausência de florações expressivas de fitoplâncton, mesmo nos períodos de maior aporte de nutrientes, sugere que outros fatores limitantes, como turbidez e disponibilidade de luz, exercem papel regulador sobre a biomassa algal no reservatório (Figueiredo e Becker, 2018). Tais resultados reforçam que a qualidade da água, sob o aspecto do estado trófico, encontra-se dentro dos padrões esperados para reservatórios em condições semelhantes de uso e ocupação do solo.

Figura 9 - Série temporal de Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) monitorada no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha tracejada indica o Valor Máximo Permitido (VMP) pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ($30 \mu\text{g/L}$).

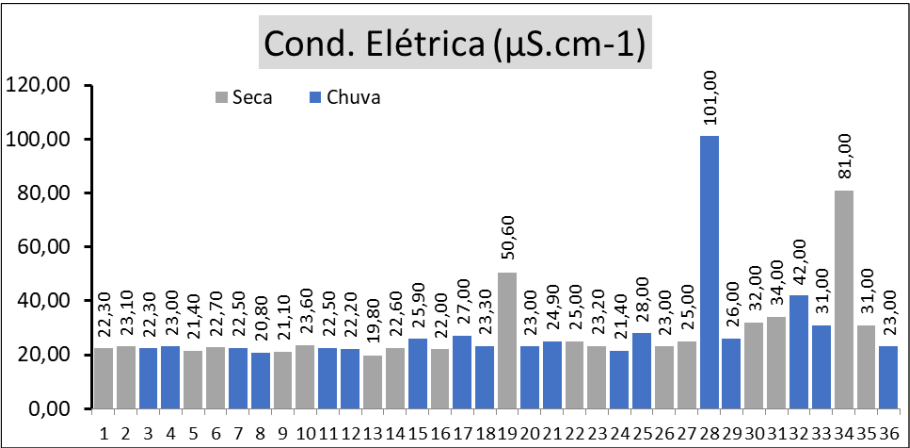


Fonte: Autor

6.1.3.2. Valores atípicos de Condutividade Elétrica (CE)

Como relatado na análise anterior, os valores de *outliers* apresentados na Figura 10, podendo indicar fontes pontuais de lançamento ou mudanças sazonais que afetam esse parâmetro. Numa análise temporal os valores concentram-se de $20 \mu\text{S/cm}$ a $30 \mu\text{S/cm}$ e os outliers apresentam valores acima de $40 \mu\text{S/cm}$. Não é possível relacionar as variações com a precipitação acumulada.

Figura 10 - Série temporal de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$) monitorada no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024.



Fonte: Autor

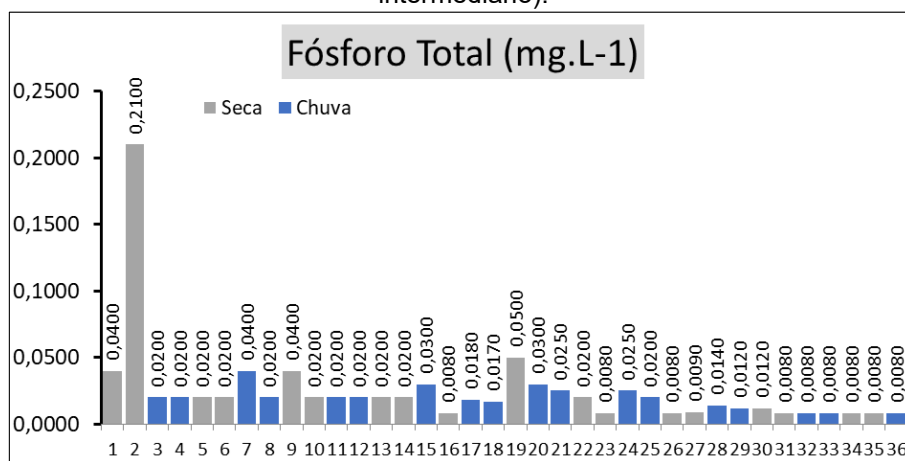
Os valores de condutividade elétrica concentrados entre 20 e 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ao longo da série histórica refletem a baixa mineralização natural das águas da bacia do Rio Verde, característica de sistemas fluviais em regiões com solos arenosos e reduzida contribuição iônica (Esteves, 2011). Os valores outliers acima de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registrados nas campanhas 19, 28, 32 e 34, sem correlação direta com a precipitação acumulada, podem indicar contribuições pontuais de cargas difusas associadas a atividades agropecuárias na bacia de drenagem ou à ressuspensão de sedimentos durante operações da usina, fenômeno documentado em reservatórios de geração hidrelétrica no Centro-Oeste brasileiro (Silva *et al.*, 2020). Esse resultado demanda atenção no monitoramento continuado desse parâmetro, especialmente em campanhas realizadas após períodos de operação intensa da usina ou de estiagem prolongada.

6.1.3.3. Valores atípicos de Fósforo Total (FT)

O Fósforo total, com base no método de intervalo interquartil, demonstrado na Figura 11, apresentou dois valores fora dos esperados estatisticamente, para a distribuição dos dados, como destacaram os outliers, sendo: **0,21 mg/L (Campanha 2)** e **0,05 mg/L (Campanha 19)**. Embora a precipitação acumulada registre valores significativos, neste momento não relacionamos os eventos, pois na Campanha 02 temos um acumulado de **123,7 mm** nos 30 dias anteriores a coleta, o que pode ter contribuído para o aporte, mas na Campanha 19, a precipitação foi **55,66 mm**, valor moderado, indicando que outros fatores podem ter contribuído, como atividades humanas, manejo de vegetação ou alteração no uso do solo.

Entretanto, cabe destacar que o nível mínimo de quantificação é de **0,02 mg/l**, para amostras até 2018, quando passou para **0,008 mg/L**, os valores 0,02 e 0,008 repetidos, coincidem com o Limite de Quantificação (LQ), poderíamos justificar fatores técnicos ou metodológicos, contudo os valores estão muito abaixo do limite estabelecido pela Conama 357/05, de **VMP < 0,025 µg/l**, para ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias.

Figura 11 - Série temporal de Fósforo Total (mg/L) monitorada no ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha tracejada indica o VMP pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (0,025 mg/L para ambientes com tempo de residência intermediário).



Fonte: Autor

6.1.3.4. Valores atípicos de Campanha 19 de 20/05/2020

Em maio de 2020, observou-se um número significativo de outliers entre os parâmetros ambientais analisados, destacando-se a Condutividade Elétrica (50,6 µS/cm) e o Fósforo Total (0,05 mg/L), ambos historicamente elevados e indicativos de nutrientes, corroborado pelos níveis de Nitrogênio Total (13 mg/L) e Nitrogênio

Inorgânico Total (6,53 mg/L). Entretanto, a Clorofila-a (0,25 µg/L) estava baixa, indicado baixa produção primária, não correspondendo a carga de nutrientes, e não respondendo a radiação, tendo em vista a Turbidez (2,00 UNT) e a Transparência de (2,2 m), que indica elevada penetração da radiação na coluna d'água. Coluna d'água que apresentou aceitável OD dissolvido (5,8 mg/L). A precipitação acumulada nos 30 dias anteriores (55,66 mm) pode ter contribuído para o aporte de nutrientes, contudo a magnitude do evento sugere a influência de múltiplos fatores.

Tabela 9 – Dados das variáveis de qualidade da água e climáticas registrados na Campanha 19, realizada em 20 de maio de 2020 (período de transição seca/chuva), no ponto amostral do reservatório da UHSD.

Parâmetros	20/05/2020
Temperatura da água (°C)	23,96
Clorofila a (µg/L)	0,25
Condutividade elétrica (µS/cm)	50,60
Fósforo total (como P) (mg/L)	0,05
Nitrogênio inorgânico total(a) (mg/L)	6,53
Nitrogênio total Kjeldahl (mg/L)	0,10
Nitrogênio Total (mg/L)	13,00
Turbidez (UNT)	2,00
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	14,00
Transparência (m)	2,20
Oxigênio dissolvido (mg/L)	5,80
IQAR Reservatório	3,20
Precipitação (mm)	55,66
Temperatura(°C)	22,52

Fonte: Autor

O padrão observado na Campanha 19, com elevada carga de nutrientes nitrogenados e fosfatados sem resposta proporcional da biomassa fitoplanctônica, é um fenômeno documentado na literatura limnológica. Segundo Esteves (2011), a disponibilidade de nutrientes não é condição suficiente para o desenvolvimento do fitoplâncton quando fatores físicos como estratificação térmica ou a dinâmica de mistura da coluna d'água são limitantes. Nesse caso específico, a combinação de baixa turbidez (2,00 UNT) e alta transparência (2,2 m) indica que a limitação não foi de origem óptica, levantando a hipótese de que a disponibilidade de formas assimiláveis de fósforo e as condições de mistura da coluna d'água, possivelmente influenciadas pela intensidade do vento no período, podem ter inibido o crescimento algal (Figueiredo e Becker, 2018). A magnitude simultânea dos valores de Nitrogênio Total (13 mg/L) e Nitrogênio Inorgânico Total (6,53 mg/L) sugere, ainda, um possível aporte externo de origem antrópica, cuja fonte precisa ser investigada em estudos futuros.

6.2. Testes de tendencia de Mann-Kendall para série histórica

Através da Tabela 10 identificamos os resultados obtidos no teste de Tendência de Mann-Kendall e conjuntamente o teste de inclinação de *Sen's Slope Test*, dados organizados em tabela do Excel e utilizando o Suplemento *Real Statistics*, para cálculos estatísticos. Os dados contêm informações de 36 campanhas de monitoramento de qualidade da água superficial, realizadas sazonalmente entre junho de 2015 a dezembro de 2024.

Para o Teste de Mann-Kendall, a Hipótese nula (H0) afirma que não há tendencia na série temporal, e a hipótese alternativa (H1) afirma a existência de tendência significativa estatisticamente. Os resultados Tabela 10, indicaram um **p-valor** afirmando que a hipótese nula foi rejeitada, para os parâmetros CE, FT, NTK, NT, Tur, OD e IQAR, todas variáveis abióticas da qualidade da água.

Tabela 10 – Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall e da inclinação de Sen (*Sen's Slope*), com nível de significância de 95%, para as variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas no reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024.

	Teste de Tendência de Mann-Kendall					Teste de Inclinação de Sen	
	Estatística MK	Erro Padrão	Estatística Z	p-valor	Tendência	Ângulo	Mediana
Tag	43	73,4098	0,5721	5,67 x10 ⁻⁰¹	Não	0,0163	27,97
Ca	-72	50,4777	-1,4066	1,60 x10 ⁻⁰¹	Não	-	1,00
CE	297	73,3235	4,0369	5,42 x10 ⁻⁰⁵	Sim ↑	0,2458	23,15
FT	-336	71,6845	-4,6733	2,96 x10 ⁻⁰⁶	Sim ↓	-0,0006	0,02
NIT	122	65,3962	1,8503	6,43 x10 ⁻⁰²	Não	-	0,10
NTK	189	72,4362	2,5954	9,45 x10 ⁻⁰³	Sim ↑	0,0172	0,22
NT	297	73,1505	4,0465	5,20 x10 ⁻⁰⁵	Sim ↑	0,0343	0,38
Tur	-217	73,3644	-2,9442	3,24 x10 ⁻⁰³	Sim ↓	-0,1401	3,79
SDT	-44	73,1528	-0,5878	5,57 x10 ⁻⁰¹	Não	-0,1603	45,00
Tsecc	136	73,2393	1,8433	6,53 x10 ⁻⁰²	Não	0,0283	2,15
OD	219	73,4098	2,9696	2,98 x10 ⁻⁰³	Sim ↑	0,0580	6,77
IQAR	-223	73,2826	-3,0294	2,45 x10 ⁻⁰³	Sim ↓	-0,0167	1,92
Prec.	-110	73,4166	-1,4846	1,38 x10 ⁻⁰¹	Não	-1,6624	86,71
Tar	24	73,4166	0,3133	7,54 x10 ⁻⁰¹	Não	0,0078	25,62

Fonte: Autor.

Para as demais variáveis estudadas o p-valor apresentou-se maior que o nível de significância de 0,05, não apresentando, assim, evidência estatística de uma tendência ascendente ou descendente. As variáveis climáticas não apresentaram significância estatística. O teste de MK indicou tendência positiva para, CE, NTK, NT, OD e tendencia negativa para FT, Tur e IQAR.

Os seguintes parâmetros não apresentam tendência alguma ou ausência de tendencia: Temperatura da água, Clorofila-a, Nitrogênio Inorgânico Total, Sólidos

Dissolvidos Totais, Transparência de Secchi, Precipitação acumulada e Temperatura do Ar.

O Resultado da Análise do *Sen's Slope Test* apresentado na Tabela 10, estimando a tendência de inclinação da série temporal. Foram representados abaixo, onde estão os valores ao longo da série temporal, com a linha de tendência estimada pelo *Sen's Slope Test*, a linha vermelha tracejada representa a tendência central estimada. Mesmo para os parâmetros que atenderam aos pressupostos a hipótese nula representamos a linha de tendência da mesma forma.

Destaca-se que precipitação embora atendendo ao pressuposto da hipótese nula apresentou-se decrescente ao longo do tempo, conforme teste de inclinação. A temperatura do ar atendeu o pressuposto da hipótese nula e não apresentou inclinação Tabela 7. Das doze variáveis, cinco apresentaram-se sem tendência estatisticamente significativas, porém divididas em duas condições de inclinação: Crescente: Tag, NIT, Tsecc e Decrescentes: Ca, SDT.

As figuras abaixo, apresentam a série temporal de todas as variáveis estudadas da nossa série histórica de junho de 2015 a dezembro de 2024, e sua variabilidade interanual do regime sazonal da região e flutuações ao longo da década. Considerando a realização do teste não paramétrico de Mann-Kendall, amplamente utilizado para detecção de tendências monotônicas em séries temporais hidrológicas e climáticas. O Teste revelou uma tendência estatisticamente significativa ao nível de 5% indicando a **possível redução nos valores anuais** ao longo do período para as seguintes variáveis:

6.2.1. Variáveis hidrológicas com tendencia decrescente ao longo do período

A aplicação do teste de Mann-Kendall à série temporal de **fósforo total** (Figura 12) resultou em um valor de estatística **MK=-336**, com um p-valor de **$2,96 \times 10^{-06}$** . A estatística para a **turbidez** (Figura 13) com **MK=-217** e **$p = 3,24 \times 10^{-03}$** e o **IQAR** (Figura 14), com **MK=-223** e **$p=2,45 \times 10^{-03}$** . Esses resultados indicam a presença de uma **tendência negativa estatisticamente significativa ao longo do período analisado**, com um nível de significância muito elevado ($p < 0,004$). A estatística negativa sugere uma redução consistente nos valores de fósforo total, turbidez e IQAR, ao longo do tempo.

Figura 12 – Série temporal Fósforo total, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.

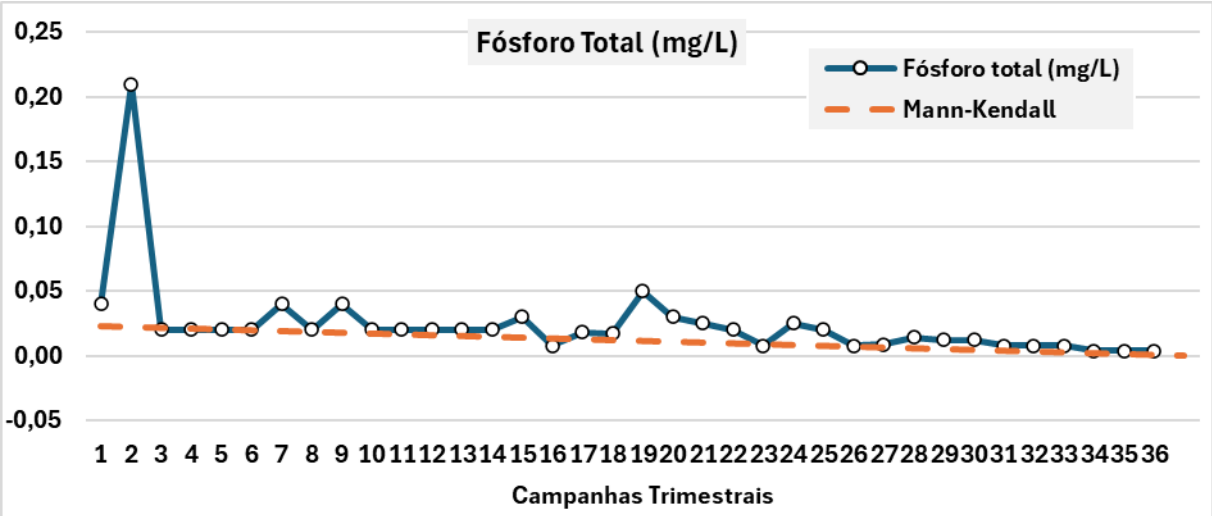


Figura 13 – Série temporal Turbidez com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.

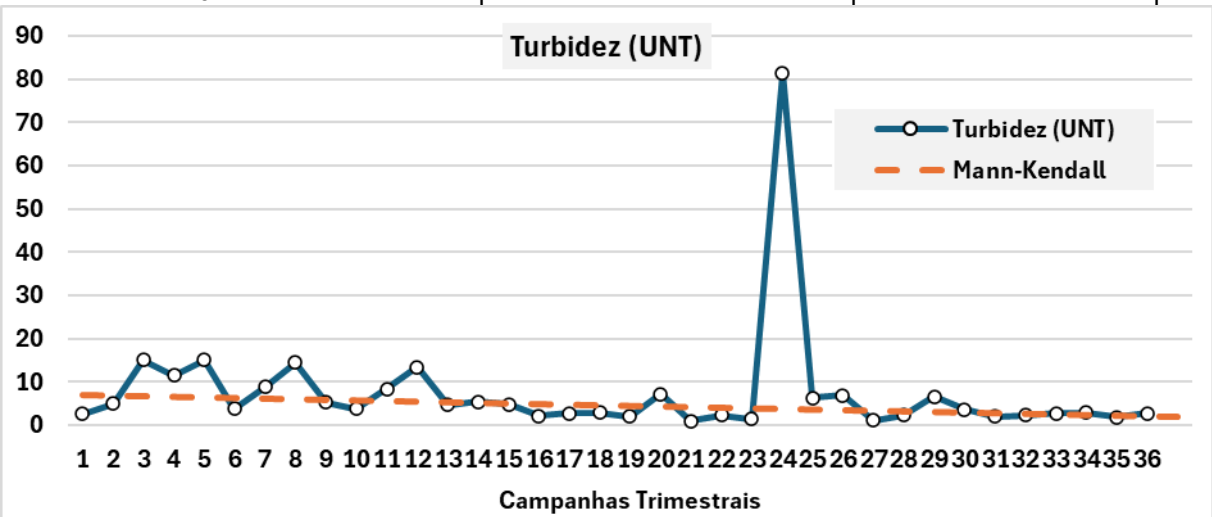
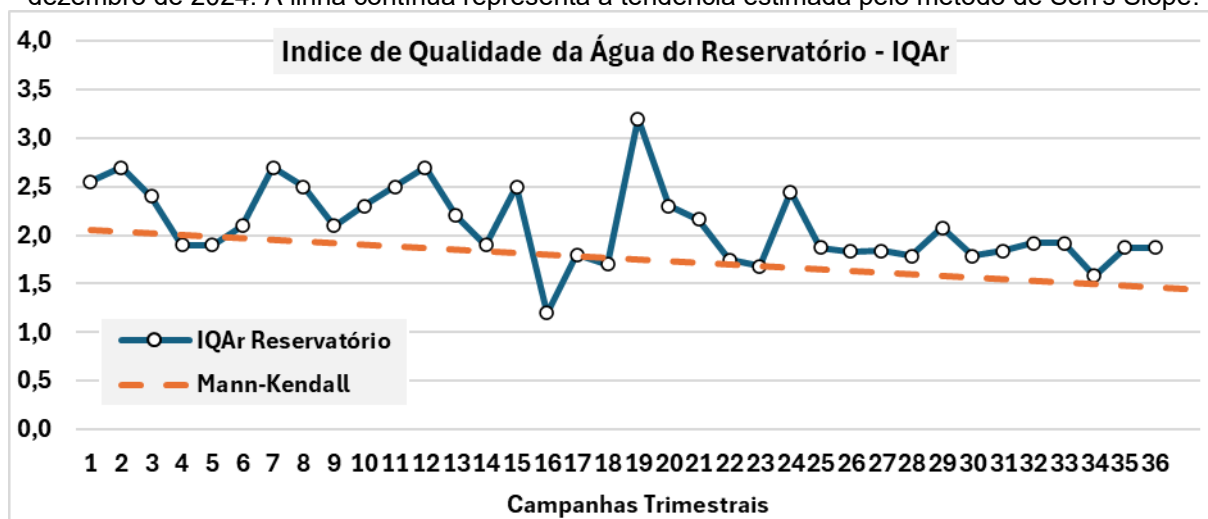


Figura 14 – Série temporal IQAR, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.



Fonte: Autor.

A tendência de redução do Fósforo Total ao longo da série histórica é um resultado de significativa relevância para a gestão ambiental do reservatório. A diminuição progressiva das concentrações desse nutriente pode refletir melhoria nas práticas de manejo do solo na bacia de contribuição ou processos internos de sedimentação e retenção no próprio reservatório, que naturalmente atua como um sumidouro de fósforo particulado (Debastiani Júnior *et al.*, 2016). Esse comportamento é consistente com o observado em reservatórios de médio porte no Brasil, onde o tempo de residência hidráulica favorece a deposição do fósforo associado a partículas finas no sedimento de fundo (Maavara *et al.*, 2020).

A redução simultânea da Turbidez ao longo da série indica menor entrada de material em suspensão proveniente do escoamento superficial, o que pode estar associado à consolidação da cobertura vegetal nas margens do reservatório e nas Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica, ao longo da última década de operação da usina. A combinação de redução de Turbidez e Fósforo Total é particularmente favorável à qualidade da água, pois reduz o risco de eutrofização e melhora as condições de penetração luminosa na coluna d'água, beneficiando a biota aquática (Vidal e Capelo Neto, 2014).

A tendência negativa do IQAR, que no contexto desse índice representa melhora da qualidade da água, consolida a interpretação de que o reservatório da UHSD apresentou trajetória ambiental positiva ao longo do período analisado. Esse resultado demonstra a eficácia do programa de monitoramento sistemático como

ferramenta de gestão, ao permitir a identificação de tendências ambientais que subsidiam as decisões operacionais da usina e o cumprimento das condicionantes do licenciamento ambiental vigente (Tundisi e Tundisi, 2008).

6.2.2. Variáveis hidrológicas com tendencia crescente ao longo do período

A aplicação do teste de Mann-Kendall à série temporal de **Condutividade Elétrica** (Figura 15) resultou em um valor de estatística **MK=297**, com um p-valor de **$5,42 \times 10^{-05}$** . A estatística para o **NTK** (Figura 16) com **MK=189** e **$p = 9,45 \times 10^{-03}$** , **NT** (Figura 17) com **MK=297** e **$p=5,20 \times 10^{-05}$** , o **OD** (Figura 18) com **MK=219** e **$p=2,98 \times 10^{-03}$** . Esses resultados indicam a presença de uma **tendência crescente estatisticamente significativa ao longo do período analisado**, com um nível de significância de valor de p menor que 0,01 (**$p < 0,01$**). A estatística positiva sugere uma elevação consistente nos valores destas variáveis, ao longo do tempo.

Figura 15– Série temporal Condutividade Elétrica, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).

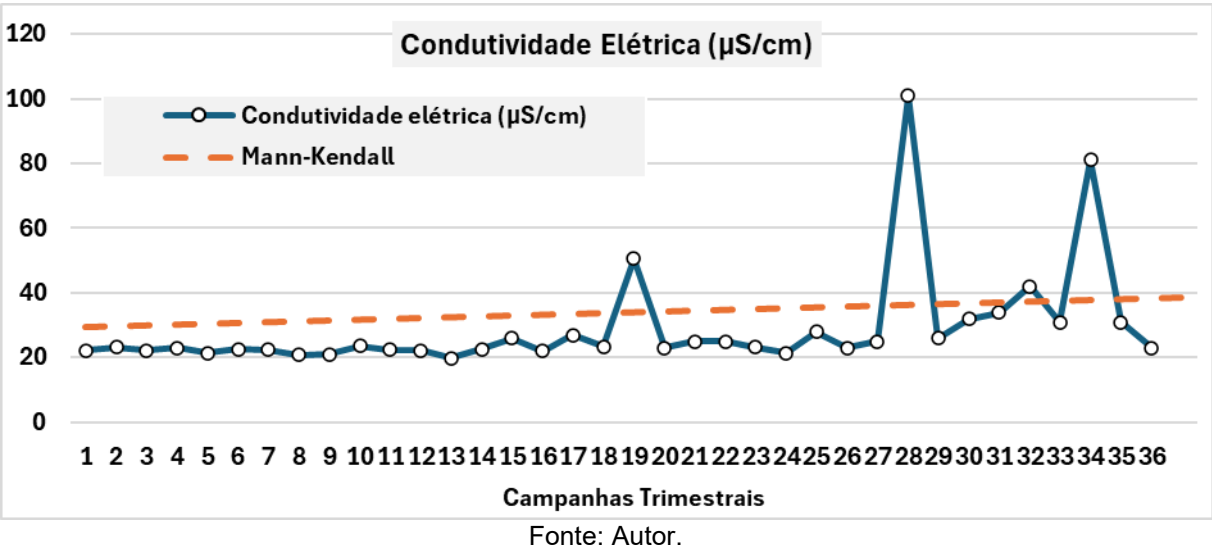
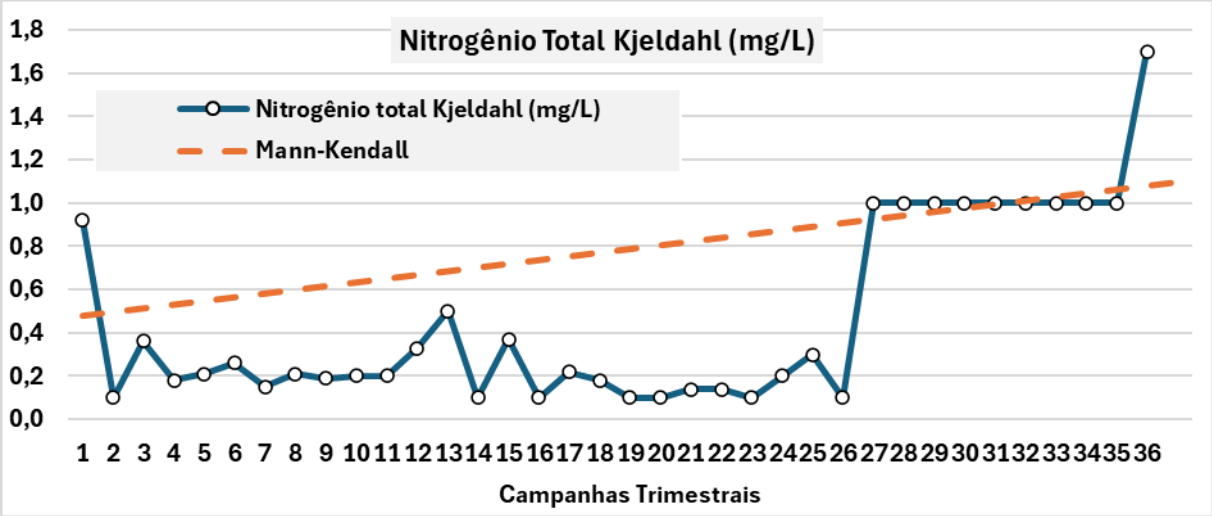


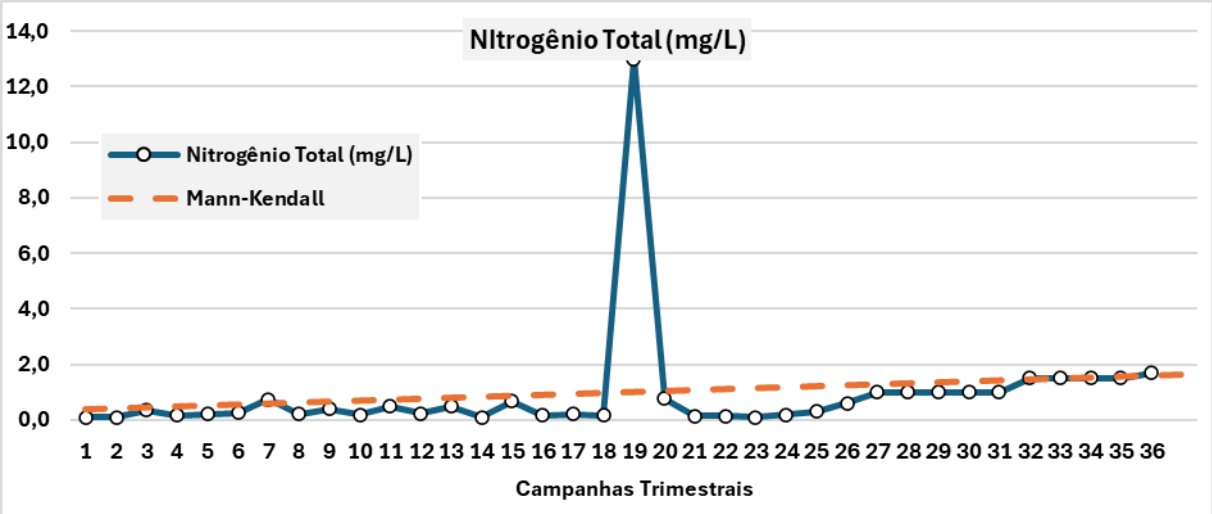
Figura 16 – Série temporal Nitrogênio Total Kjeldahl, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de

junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.



Fonte: Autor.

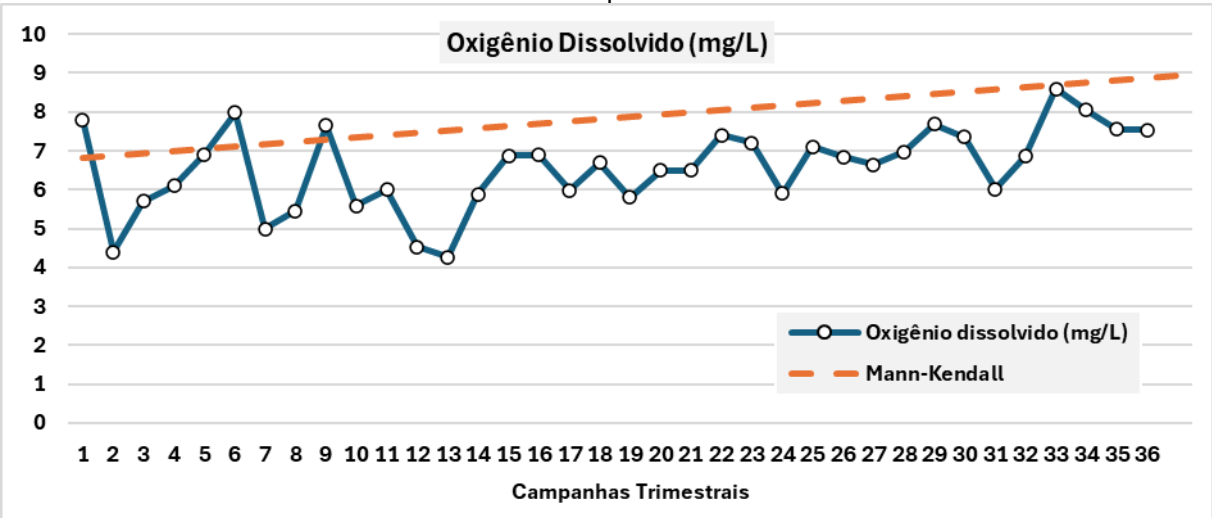
Figura 17 – Série temporal Nitrogênio Total, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.



Fonte: Autor.

Figura 18 – Série temporal Oxigênio Dissolvido, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de

2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.



Fonte: Autor.

O aumento consistente da Condutividade Elétrica e das formas nitrogenadas ao longo da série histórica merece atenção especial do ponto de vista da gestão ambiental. Em reservatórios tropicais, o incremento gradual de íons dissolvidos e compostos nitrogenados ao longo de uma década pode indicar intensificação das cargas difusas provenientes da bacia de drenagem, associadas à expansão de atividades agropecuárias, ao uso de fertilizantes nitrogenados ou ao aporte de efluentes domésticos de comunidades rurais no entorno do reservatório (Guimarães *et al.*, 2020). Esse padrão foi igualmente documentado por Figueiredo e Becker (2018) em reservatórios brasileiros, onde o aumento gradual da condutividade ao longo do tempo foi associado ao incremento de cargas iônicas de origem antrópica, especialmente em períodos de redução do volume armazenado.

O aumento do Orogênio Dissolvido, por sua vez, representa um sinal positivo para a saúde ecológica do reservatório. Maiores concentrações de OD indicam melhor capacidade de suporte à vida aquática e menor risco de formação de zonas anóxicas na coluna d'água, condição que poderia comprometer tanto a biota quanto a qualidade da água captada para operação da usina (Esteves, 2011). Esse comportamento pode estar associado ao aumento da transparência da água observado na série histórica, que favorece a fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de oxigênio pelas comunidades fitoplanctônicas presentes no reservatório.

6.2.3. Variáveis ausentes de significância estatística ao longo do período

6.2.3.1. Crescente

A aplicação do teste de Mann-Kendall à série temporal de **Tag** (Figura 19) resultou em um valor de estatística **MK=43**, com um p-valor de **$5,67 \times 10^{-01}$** . A estatística para o **NIT** (Figura 19) com **MK=122** e **$p=6,43 \times 10^{-02}$** , **Tsecc** (Figura 21) com **MK=136** e **$p=6,53 \times 10^{-02}$** , o **Tar** (Figura 21) com **MK=24** e **$p=7,54 \times 10^{-01}$** . A estatística positiva de MK indica tendência de aumento nos valores das variáveis ao longo do período amostral. Porém, o p-valor elevado (**$p > 0,05$**), indica que essa tendência não é estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%. Conclui-se que, durante o período amostral, **não há evidências que satisfazem para afirmar a tendência crescente ou decrescente**.

Figura 19 – Série temporal Temperatura da água, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.

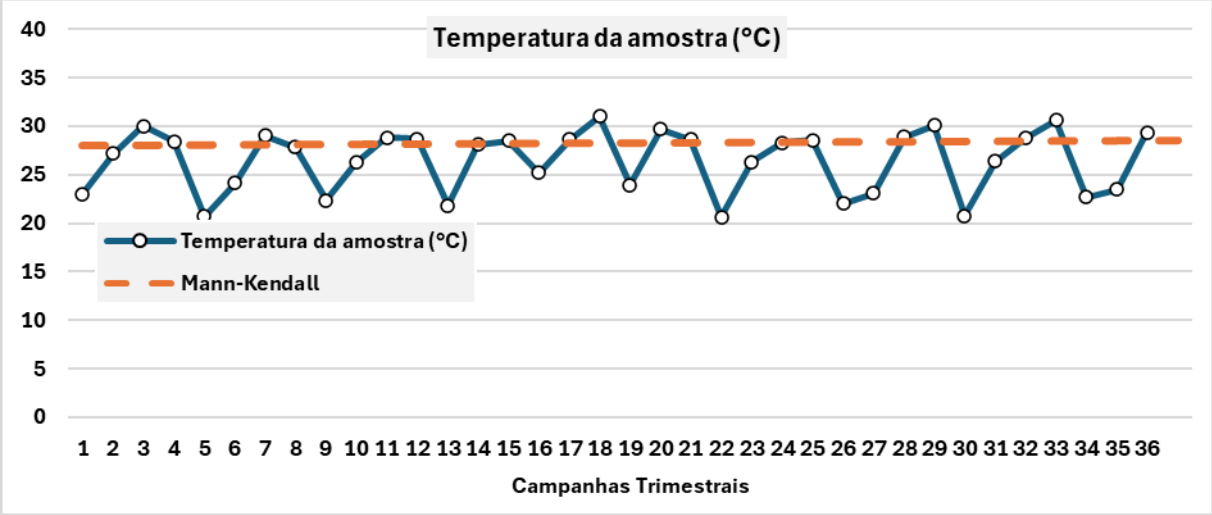


Figura 20 – Série temporal Nitrogênio Inorgânico Total, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.

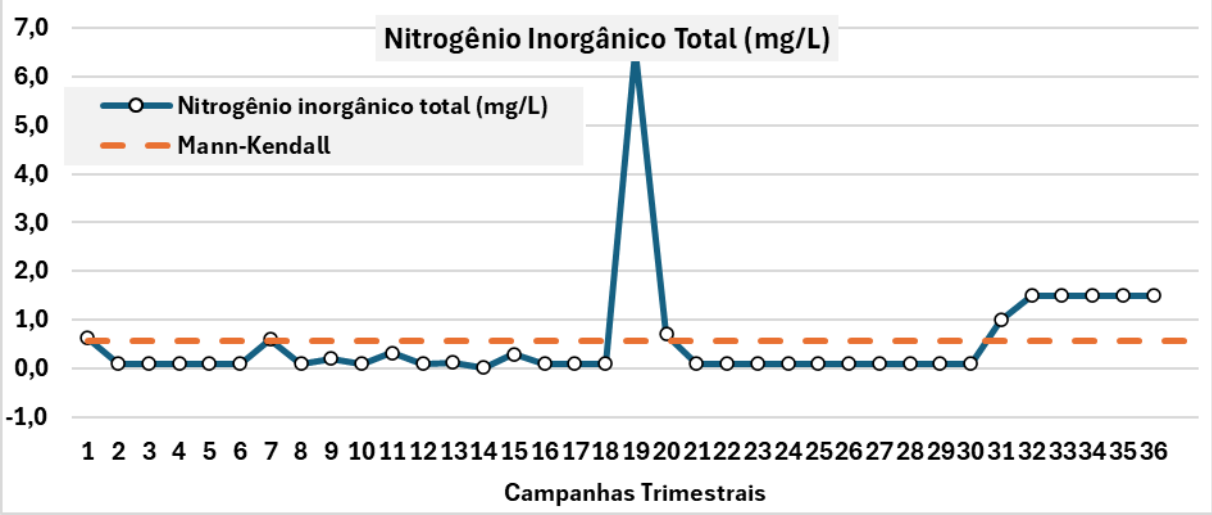
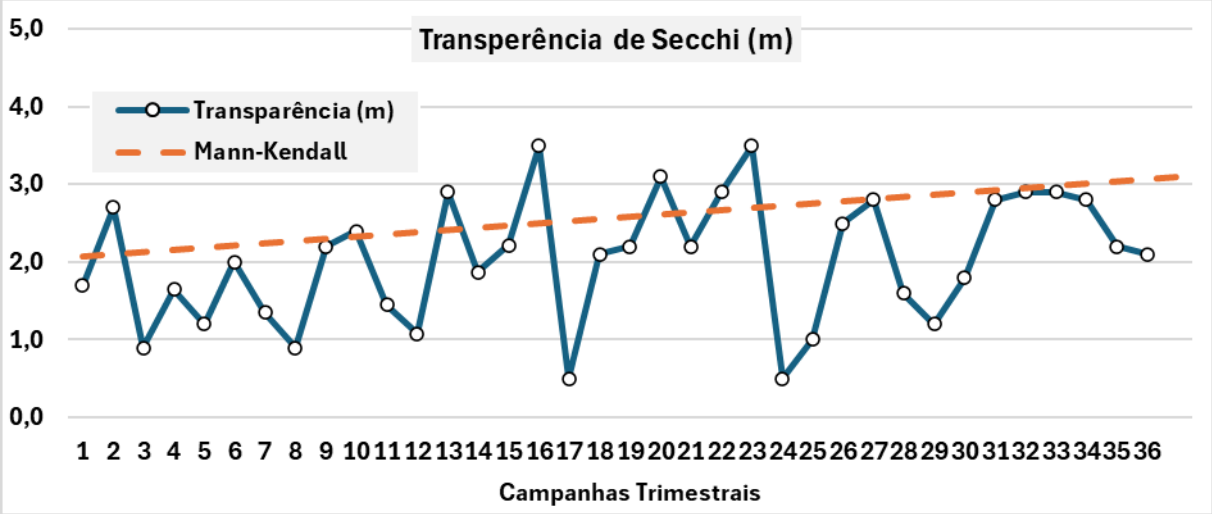
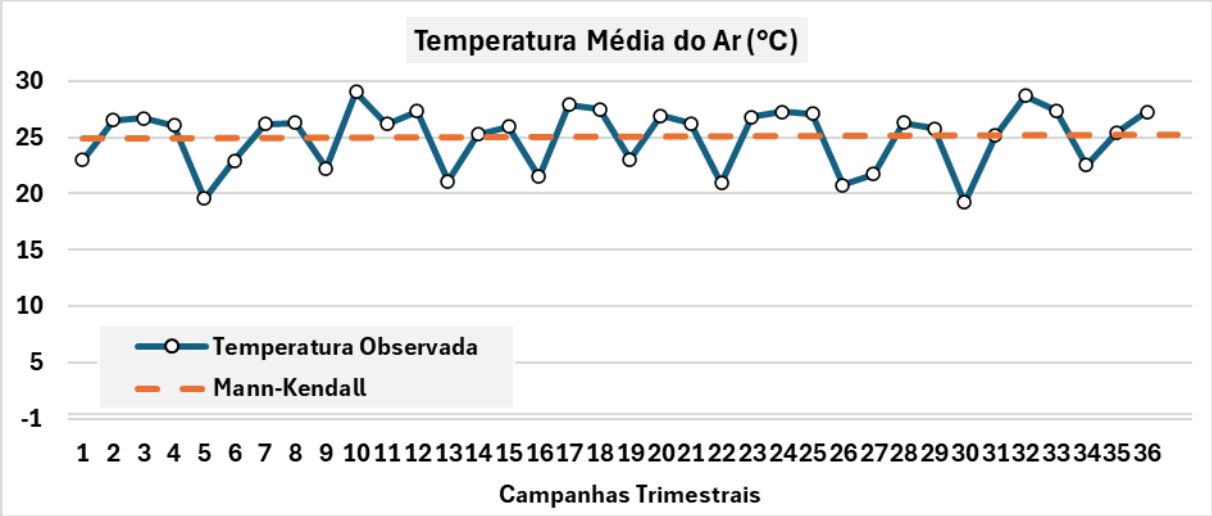


Figura 21 – Série temporal Transparência de Secchi, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.



Fonte: Autor.

Figura 22 – Série temporal Temperatura média, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope.



Fonte: Autor.

6.2.3.2. Decrescente

A aplicação do teste de Mann-Kendall à série temporal de **Cla** (Figura 23) resultou em um valor de estatística **MK=-72**, com um p-valor de **$1,60 \times 10^{-01}$** . A estatística para o **SDT** (Figura 24) com **MK=-44** e **$p=5,57 \times 10^{-01}$** e **Prec** (Figura 25) com **MK=-110** e **$p=1,38 \times 10^{-01}$** . A estatística negativa de MK sugere uma tendência de redução dos valores das variáveis ao longo do período amostral. Entretanto, o p-valor elevado (**$p > 0,05$**), indica que essa tendência não é estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%. Conclui-se que, durante o período amostral, **não há evidências que satisfazem para afirmar a tendencia crescente ou decrescente**.

Figura 23 – Série temporal Clorofila a, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).

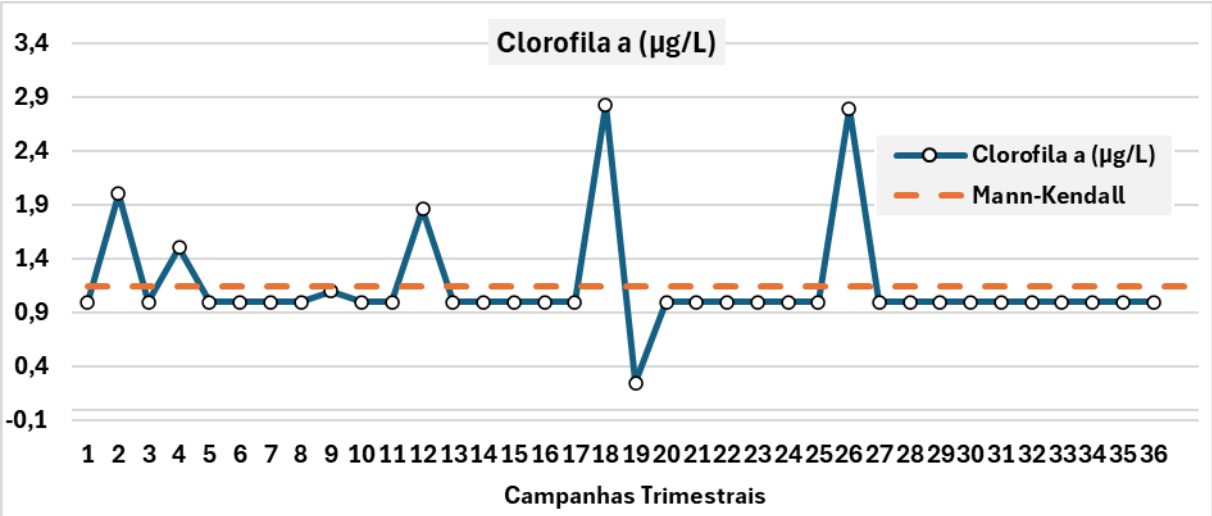


Figura 24 – Série temporal Sólidos Dissolvidos Totais, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).

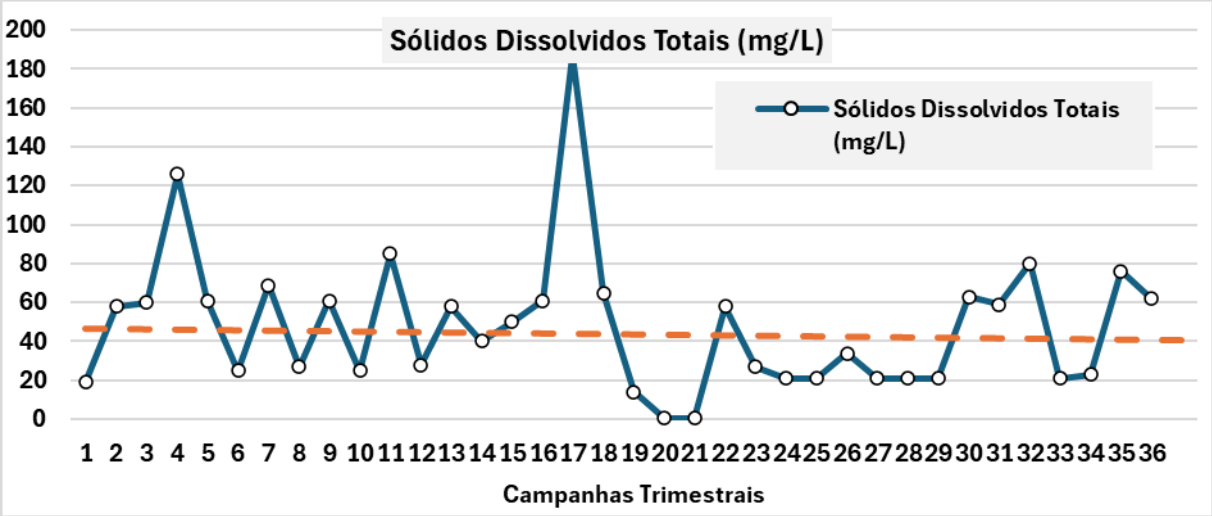
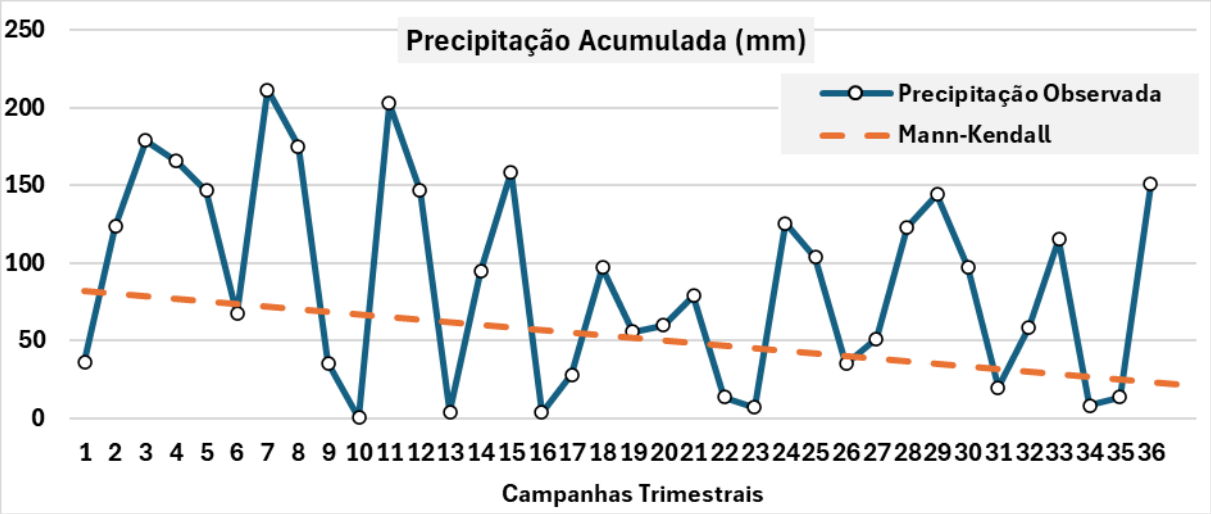


Figura 25 – Série temporal Precipitação Acumulada, com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK) e inclinação de Sen, para o ponto amostral do reservatório da UHSD, no período de

junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha contínua representa a tendência estimada pelo método de Sen's Slope. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).



Fonte: Autor.

6.3. Coeficiente de correlação Tau de Kendall

A matriz de correlação de Tau de Kendall, envolve interpretação e inferências das relações entre as variáveis, considerando a força e a direção das correlações, bem como sua significância estatística, apresentando a relação entre os diferentes parâmetros físico-químicos e ambientais.

Sendo: Valores variam de -1 a 1, positivos diretos, juntas na mesma direção e negativos inversos, juntas em direções opostas, (*) para $p < 0,05$ = significativo; (**) para $p < 0,01$ = muito/elevado significativo; (***) para $p < 0,001$ = alta/altamente significativo.

Tabela 11 – Matriz de coeficientes de correlação de Tau de Kendall entre as variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas no reservatório da UHSD, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

	Tagua	Cla	CE	FT	NIT	NTK	NT	Tur	SDT	Tsecc	OD	IQAR	Prec	Tar
Tagua	—													
Cla	0,043	—												
CE	0,08	-0,212	—											
FT	-0,022	0,023	-0,296*	—										
NIT	0,071	-0,290*	0,224	-0,053	—									
NTK	0,083	-0,175	0,239*	-0,410***	0,282*	—								
NT	0,127	-0,278*	0,365**	-0,315**	0,591***	0,531***	—							
Tur	0,134	0,252*	-0,419***	0,293*	-0,208	-0,133	-0,14	—						
SDT	-0,018	0,250*	-0,09	-0,168	0,036	0,046	0,007	0,08	—					
Tsecc	-0,192	-0,027	0,203	-0,188	0,250*	-0,098	0,091	-0,435***	-0,08	—				
OD	-0,086	-0,085	0,247*	-0,331**	0,175	0,259*	0,172	-0,22	-0,09	0,144	—			
IQAR	0,135	-0,054	-0,279*	0,586***	0,16	-0,126	-0,03	0,317**	-0,14	-0,208	-0,341**	—		
Prec	0,373**	0,085	-0,168	0,216	-0,059	0,061	0,037	0,436***	0,097	-0,477***	-0,148	0,336**	—	
Tar	0,583***	0,075	0,085	-0,007	0,043	0,022	-0,04	0,062	-0,01	-0,174	-0,167	0,143	0,17	—
Nota.	* $p < 0,05$	** $p < 0,01$	*** $p < 0,001$											

Nota: Esta tabela encontra-se ampliada no Apêndice 2; Fonte: Autor

O coeficiente de correlação de Tau de Kendall, demonstrou o coeficiente de correlação e significância para a relação entre as variáveis indicadas no Tabela 11.

Analisando-se a combinação de 14 parâmetros dois a dois $C(14,2)$, da nossa matriz de dados temos 91 combinações a 2, resultando em 28 combinações consideradas correlações fracas até fortes.

A análise integrada da matriz de correlação de Tau de Kendall permite identificar as principais interações entre as variáveis climáticas e de qualidade da água no reservatório da UHSD. A forte correlação positiva entre Temperatura da Água e Temperatura do Ar ($\tau = 0,583$; $p < 0,001$) confirma o papel das condições atmosféricas como principal modulador térmico do corpo hídrico, comportamento esperado em reservatórios de médio porte localizados em regiões de clima tropical sazonal (Esteves, 2011). Essa dependência térmica tem implicações diretas para a gestão do reservatório, uma vez que em um cenário de aquecimento climático projetado para o Centro-Oeste brasileiro, o aumento da temperatura do ar tende a intensificar a estratificação térmica, reduzindo a mistura vertical e potencializando condições favoráveis ao desenvolvimento de cianobactérias (Figueiredo e Becker, 2018).

A correlação positiva entre Precipitação e Turbidez ($\tau = 0,436$; $p < 0,001$) e a correlação negativa entre Precipitação e Transparência ($\tau = -0,477$; $p < 0,001$) confirmam o escoamento superficial como principal vetor de entrada de sólidos em suspensão no reservatório durante os períodos chuvosos. Esse mecanismo é amplamente documentado na literatura limnológica brasileira e reforça a necessidade de estratégias de gestão que incluam o controle da erosão e a manutenção de zonas tampão vegetadas na bacia de contribuição (Tundisi e Tundisi, 2008; Debastiani Júnior *et al.*, 2016). Em termos práticos, esses resultados indicam que o monitoramento da qualidade da água deve ser intensificado nos períodos imediatamente posteriores a eventos de precipitação intensa, quando os valores de turbidez e nutrientes tendem a atingir os picos máximos da série histórica.

A correlação positiva entre Fósforo Total e IQAR ($\tau = 0,586$; $p < 0,001$) revela que o fósforo é o principal determinante da variação do índice de qualidade da água no reservatório estudado, o que é coerente com a literatura limnológica, que aponta esse nutriente como o limitante primário em ambientes aquáticos de água doce (Esteves, 2011). Seu incremento desencadeia processos de eutrofização com impactos simultâneos sobre múltiplos parâmetros de qualidade da água, incluindo aumento de biomassa algal, redução de transparência e comprometimento do

oxigênio dissolvido nas camadas mais profundas (Maavara *et al.*, 2020). Desse modo, o controle das fontes de fósforo na bacia de drenagem representa a estratégia de gestão de maior potencial para manutenção e melhoria da qualidade da água do reservatório da UHSD a longo prazo.

6.3.1. Temperatura da água (Tag)

A **Tag** apresentou correlação positiva moderada com a temperatura do ar (**Tar**) ($\tau = 0,583$ e $p < 0,001$), estatisticamente altamente significativa, indicando a influência direta das condições climáticas sobre o corpo hídrico. Também foi observada correlação positiva fraca com a **precipitação** ($\tau = 0,373$ e $p < 0,01$), com significância estatística elevada, sugerindo que a ocorrência de chuvas exerce influência sobre a **Tag**. As demais variáveis analisadas apresentaram correlações fracas e sem significância estatística relevante, não indicando relações consistentes com a temperatura da água.

6.3.2. Clorofila-a (Cla)

A variável **Cla** apresentou correlação positiva fraca e estatisticamente significativa com a **Turbidez** ($\tau = 0,252$ e $p < 0,05$) e **Sólidos Dissolvidos Totais** ($\tau = 0,250$ e $p < 0,05$), sugerindo que o aumento desses parâmetros pode estar associado a uma maior presença de algas em suspensão. Também foram observadas correlações negativas fracas e significativas com Nitrogênio Inorgânicos Totais (**NIT**) ($\tau = -0,290$ e $p < 0,05$) e Nitrogênio Total ($\tau = -0,278$ e $p < 0,05$), indicando que concentrações mais elevadas desses nutrientes podem estar relacionadas à redução da biomassa fitoplanctônica. Para os demais parâmetros analisados, não foram identificadas correlações estatisticamente significativas com a **Cla**.

6.3.3. Condutividade Elétrica (CE)

Observou-se correlação positiva fraca estatisticamente significativa entre a **CE** e o **Nitrogênio Total Kjeldahl** ($\tau = 0,23,9$ e $p < 0,05$), indicando possível associação da **CE** com a presença de compostos orgânicos e amoniacais. Também foi identificada a correlação positiva fraca com o **Nitrogênio Total** ($\tau = 0,365$ e $p < 0,01$) com significância estatística elevada, sugerindo a CE pode refletir a presença de compostos nitrogenados no ambiente aquático.

Em relação ao **Oxigênio Dissolvido**, verificou-se correlação positiva moderada ($\tau = 0,525$ e $p < 0,05$), estatisticamente significativa, o que pode indicar que valores mais elevados de **CE** estão associados a maior solubilidade de gases.

Por outro lado, a CE apresentou correlação negativa moderada e altamente significativa com a **Turbidez** ($\tau = -0,419$ e $p < 0,001$), sugerindo que águas mais transparentes tendem a apresentar maior **CE**, possivelmente a maior concentração de íons condutores dissolvidos.

Sobre o Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR), foi observada correlação negativa fraca e estatisticamente significativa entre a **CE** e o **IQAR** ($\tau = -0,279$ e $p < 0,01$), indicando que níveis mais elevados de **CE** podem estar associados a melhoria nos parâmetros que compõe o índice, refletindo positivamente na qualidade da água.

6.3.4. Fósforo total (FT)

O Fosforo total apresentou correlação positiva moderada com o **IQAR** ($\tau = 0,586$ e $p < 0,001$) com estatística altamente significativa, sugerindo que concentrações moderadas de **FT** podem estar associadas a melhores condições ambientais. Também foi observada correlação positiva fraca com a **Turbidez** ($\tau = 0,293$ e $p < 0,05$), com significância estatística, indicando que o aumento do **FT** pode estar relacionado ao incremento da **Turbidez**, possivelmente em função da proliferação de organismos fotossintetizantes ou da presença de partículas em suspensão oriundas de fontes externas.

Foram identificadas correlações negativas fracas com o **OD** ($\tau = -0,331$ e $p < 0,01$), com o **NT** ($\tau = -0,315$ e $p < 0,01$), ambas estatisticamente muito significativas e com **NTK** ($\tau = -0,410$ e $p < 0,001$), negativa moderada e altamente significativa. Esses resultados sugerem que concentrações elevadas de fósforo podem estar associadas à deterioração da qualidade da água, especialmente pela redução dos níveis de oxigênio dissolvido, além de indicar a possibilidade de fontes distintas para os nutrientes nitrogenados.

Adicionalmente, observou-se correlação negativa fraca entre o **FT** com a **CE** ($\tau = -0,296$ e $p < 0,05$) estatisticamente significativa, o que pode indicar diluição de

íons condutores em períodos maior aporte hídrico ou, ainda, a existência de origens distintas para o **FT** e os sais dissolvidos.

6.3.5. Nitrogênio Inorgânico Total (NIT)

O **NIT** apresentou correlação positiva fraca com o **NTK** ($\tau = 0,282$ e $p < 0,05$), estatisticamente significativa, e correlação positiva moderada com o **Nitrogênio Total (NT)** ($\tau = 0,591$ e $p < 0,001$), com alta significância estatística, o que era esperado, dada a composição química dessas variáveis.

Além disso, foi observada correlação positiva fraca entre **NIT** e **Tsecc** ($\tau = 0,250$ e $p < 0,05$), estatisticamente significativa. Esse resultado sugere que a presença de **NIT** não está diretamente associada ao aumento da biomassa fitoplanctônica ou da turbidez, podendo indicar sua dinâmica está mais relacionada ao processo físico-químico do que a produtividade primária.

6.3.6. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

O **NTK** apresentou correlação positiva fraca com o **Oxigênio Dissolvido** ($\tau = 0,259$ e $p < 0,001$), estatisticamente muito significativa. Esse resultado pode indicar que as concentrações de compostos nitrogenados orgânicos encontra-se em equilíbrio com os processos de oxigenação no ambiente aquático.

6.3.7. Turbidez (Tur)

A turbidez apresentou correlação negativa moderada com a transparência da água (**Tsecc**) ($\tau = -0,435$ e $p < 0,001$), alta significância estatística, confirmando a relação inversa esperada entre esses parâmetros: o aumento da turbidez e a penetração da luz na coluna d'água. Também foi observada correlação positiva fraca com o **IQAR** ($\tau = 0,317$ e $p < 0,01$), estatisticamente muito significativa, sugerindo que o aumento da turbidez está associado ao aumento do **IQAR**, o que pode refletir elevação de parâmetros que compõem o índice e indicam maior nível de degradação ambiental.

Além disso, a **turbidez** apresentou correlação positiva moderada com a **Precipitação** ($\tau = 0,436$ e $p < 0,001$), altamente significativa, indicando que eventos de chuva contribuem significativamente para o aumento da turbidez, possivelmente devido ao aporte de sedimentos e matéria orgânica alóctone.

6.3.8. Transparência de Secchi (Tsecc)

A **Tsecc**, medida pelo disco de Secchi, apresentou correlação negativa moderada com a **Precipitação** ($\tau = -0,477$ e $p < 0,001$), com alta significância estatística. Esse resultado indica que o aumento da precipitação está moderadamente associado à redução da transparência, possivelmente em decorrência do maior escoamento superficial durante os eventos de chuva, o que reduz a penetração da radiação solar na coluna d'água.

6.3.9. Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido apresentou correlação negativa moderada com o **IQA_R** ($\tau = -0,341$ e $p < 0,01$), estatisticamente muito significativa. Esse resultado sugere que concentrações **OD** mais elevadas, tendem a estar associadas a melhores condições ambientais, o que, reduz o valor do índice, a depender da forma como os outros parâmetros estejam pontuados na composição do **IQA_R**.

6.3.10. Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQA_R)

O **IQA_R** apresentou correlação positiva fraca com a Precipitação ($\tau = 0,336$ e $p < 0,01$), estatisticamente muito significativa. Esse resultado indica que o aumento da precipitação está fracamente associado ao aumento do índice de qualidade da água, refletindo a elevação dos parâmetros que compões o **IQA_R** e que podem indicar maior pressão sobre a qualidade da água, durante eventos de chuva.

6.4. **Análise descritiva por Sazonalidade**

Para verificar a adequação dos dados às análises não paramétricas, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk aos parâmetros ambientais. Abaixo na Tabela 12 é possível identificar os dados estatísticos descritivos das variáveis estudadas em todo o histórico do período amostras de junho de 2015 a dezembro de 2024, por sazonalidade, incluindo o teste estatístico Shapiro-Wilk.

Tabela 12 – Resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk para as variáveis de qualidade da água e climáticas, estratificadas por sazonalidade (período chuvoso e período seco), UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024.

	Sazonalidade	Mediana	Shapiro-Wilk (alpha 0,05)		
			W	p	normal
Temperatura da água (°C)	Chuva	28,785	0,905	0,069	Sim
	Seca	23,26	0,944	0,34	Sim
Clorofila a (µg/L)	Chuva	1	0,449	<,001	Não
	Seca	1	0,561	<,001	Não

Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	Chuva	23,15	0,442	<,001	Não
	Seca	23,15	0,579	<,001	Não
Fósforo total (mg/L)	Chuva	0,02	0,955	0,502	Sim
	Seca	0,02	0,484	<,001	Não
Nitrogênio inorgânico total (mg/L)	Chuva	0,1	0,636	<,001	Não
	Seca	0,1	0,456	<,001	Não
Nitrogênio total Kjeldahl (mg/L)	Chuva	0,26	0,773	<,001	Não
	Seca	0,205	0,751	<,001	Não
Nitrogênio Total (mg/L)	Chuva	0,43	0,842	0,006	Não
	Seca	0,325	0,381	<,001	Não
Turbidez (UNT)	Chuva	6,5	0,471	<,001	Não
	Seca	3,3	0,721	<,001	Não
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Chuva	39	0,85	0,009	Não
	Seca	49	0,873	0,02	Não
Transparência (m)	Chuva	1,525	0,941	0,306	Sim
	Seca	2,45	0,969	0,782	Sim
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Chuva	6,5	0,989	0,998	Sim
	Seca	6,895	0,906	0,072	Sim
IQAR Reservatório	Chuva	2,12	0,901	0,061	Sim
	Seca	1,885	0,918	0,121	Sim
Precipitação (mm)	Chuva	134,725	0,977	0,907	Sim
	Seca	35,45	0,869	0,017	Não
Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	Chuva	26,305	0,932	0,213	Sim
	Seca	22,23	0,951	0,435	Sim

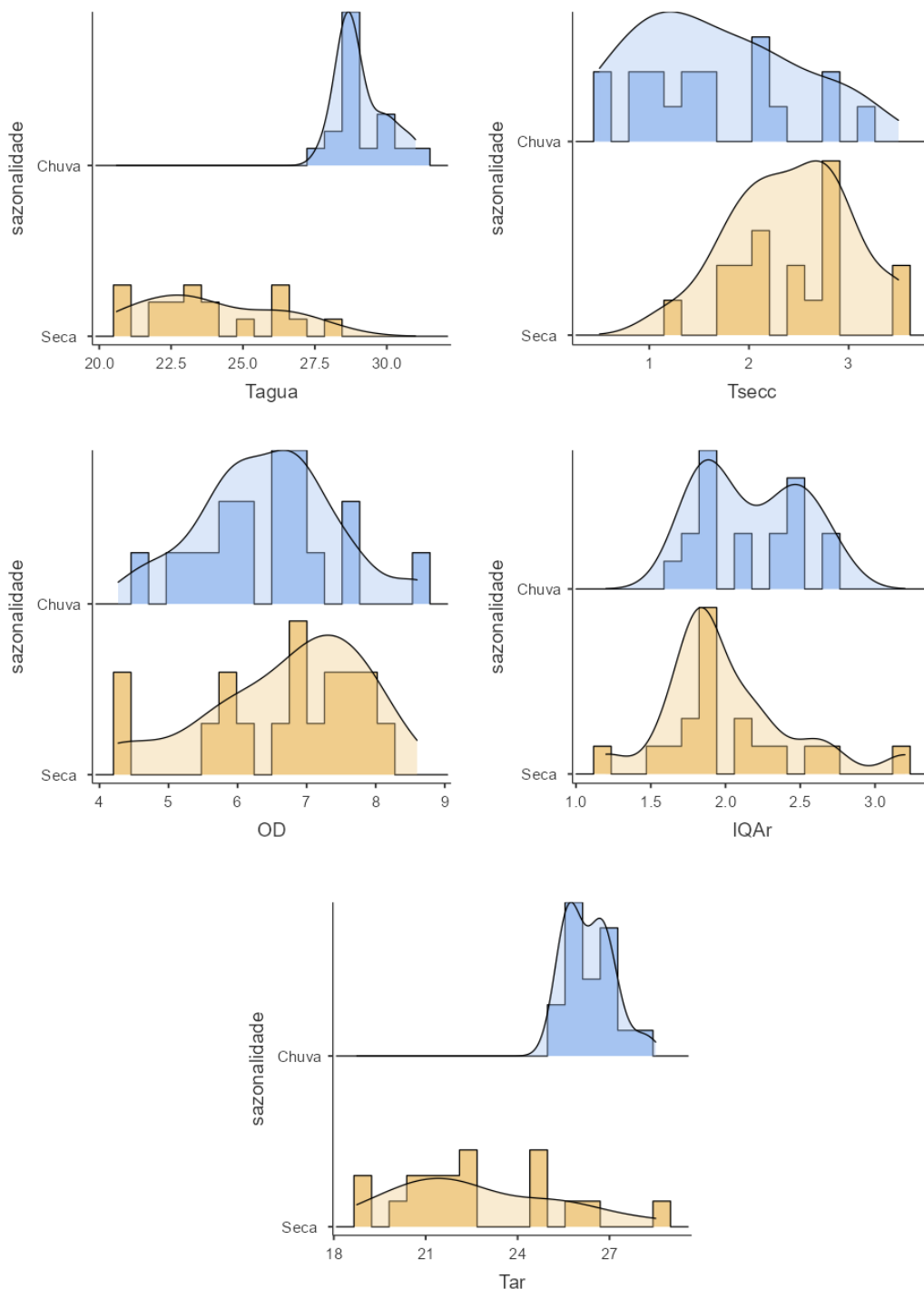
Fonte: Autor

A seguir os histogramas das variáveis analisadas, segmentados pelos períodos sazonais, Chuva e Seca. Para cada conjunto de dados, traçou-se a curva de densidade, representando a distribuição teórica ajustada dos dados observados, possibilitando assim, caracterizar indicativos de aderência ou não a distribuição normal. A comparação entre os períodos sazonais, permite avaliar o comportamento e da série temporal.

Analisando os histogramas nas Figuras 26, podemos comparar a sazonalidade (chuva e seca), identificando a diferença de distribuição dos dados entre os dois períodos. O Shapiro-Wilk (Tabela 12) indicou que ambos os grupos sazonais atendem aos pressupostos da normalidade, visualmente a curva de distribuição aproxima-se da simetria. Assim, todos os parâmetros que apresentam distribuição normal ($p > 0,05$) em ambas as sazonalidades, conforme detalhado na Tabela 12. A **Tag** apresentou medianas de 28,79 $^{\circ}\text{C}$ na estação chuvosa e 23,26 $^{\circ}\text{C}$ na seca, com p-valor de 0,069 e 0,34, respectivamente, confirmando a normalidade dos dados. A **Tsecc** também se mostrou normalmente distribuída, com medianas de 1,53 m (chuva) e 2,45 m (seca), e p-valor de 0,306 e 0,782. O **OD** manteve-se dentro dos padrões de normalidade, com medianas de 6,5 mg/L na chuva e 6,90 mg/L na seca, e p-valor de 0,998 e 0,072. O **IQAR** também apresentou distribuição normal, com mediana de 2,12 (chuva) e 1,89 (seca), e p-valor de 0,061 e 0,121. Por fim, a **Tar** apresentou mediana

de 26,31 °C na estação chuvosa e 22,23 °C na seca, com p-valor de 0,213 e 0,435, respectivamente, confirmando a normalidade dos dados.

Figuras 26 – Histogramas das variáveis com distribuição normal em ambos os períodos sazonais (Temperatura da Água — Tag; Transparência de Secchi — Tsecc; Oxigênio Dissolvido — OD; IQAR; Temperatura do Ar — Tar), com curva de densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.



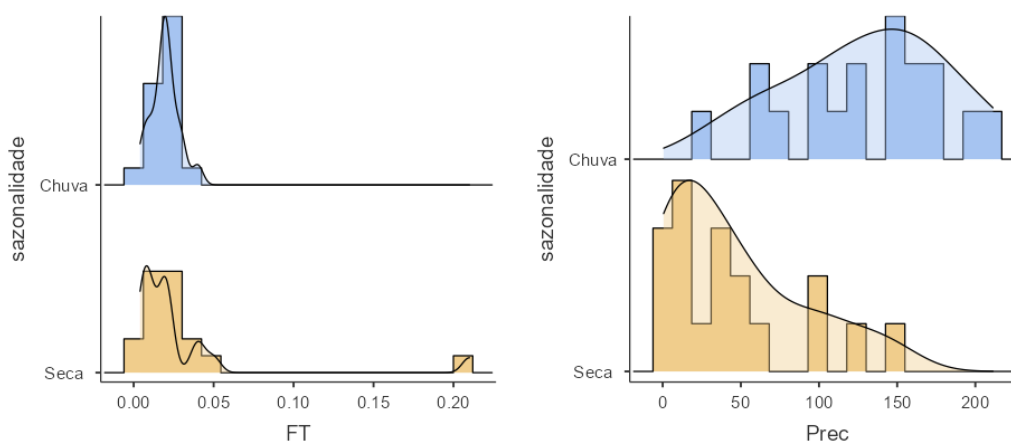
Fonte: Autor.

Analisando os histogramas nas Figuras 27, podemos comparar a sazonalidade (chuva e seca), identificando a diferença de distribuição dos dados entre

os dois períodos. O Shapiro-Wilk (Tabela 12) indicou que apenas a estação chuvosa atende aos pressupostos da normalidade, visualmente a curva de distribuição aproxima-se da simetria para as chuvas e assimétrica com outliers para a seca. Assim, os parâmetros que apresentaram distribuição normal, em apenas uma das estações, neste caso tanto o **FT** quanto a **precipitação** atenderam os pressupostos da normalidade para o período chuvoso. O **FT** apresentou mediana de 0,02 mg/L para ambas as estações. No entanto, o p-valor foi de 0,502 para a estação chuvosa, indicando a normalidade, enquanto na seca o p-valor foi inferior a 0,001, rejeitando a hipótese da normalidade. Isso sugerindo que a distribuição do **FT** é possivelmente mais homogênea durante a estação chuvosa, podendo estar relacionada a processos de diluição ou maior estabilidade hídrica.

De forma semelhante, a **Precipitação** apresentou mediana de 134,73 mm na estação chuvosa e 35,45 mm na seca. O teste indicou normalidade apenas na estação chuvosa ($p = 0,907$), enquanto na seca o p-valor foi de 0,017, indicando uma distribuição não normal. Essa diferença pode confirmar a maior variabilidade e irregularidade das chuvas durante o período seco, o que compromete a simetria da distribuição dos dados.

Figuras 27 – Histogramas das variáveis com distribuição normal apenas no período chuvoso (Fósforo Total — FT; Precipitação Acumulada — Prec), com curva de densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.



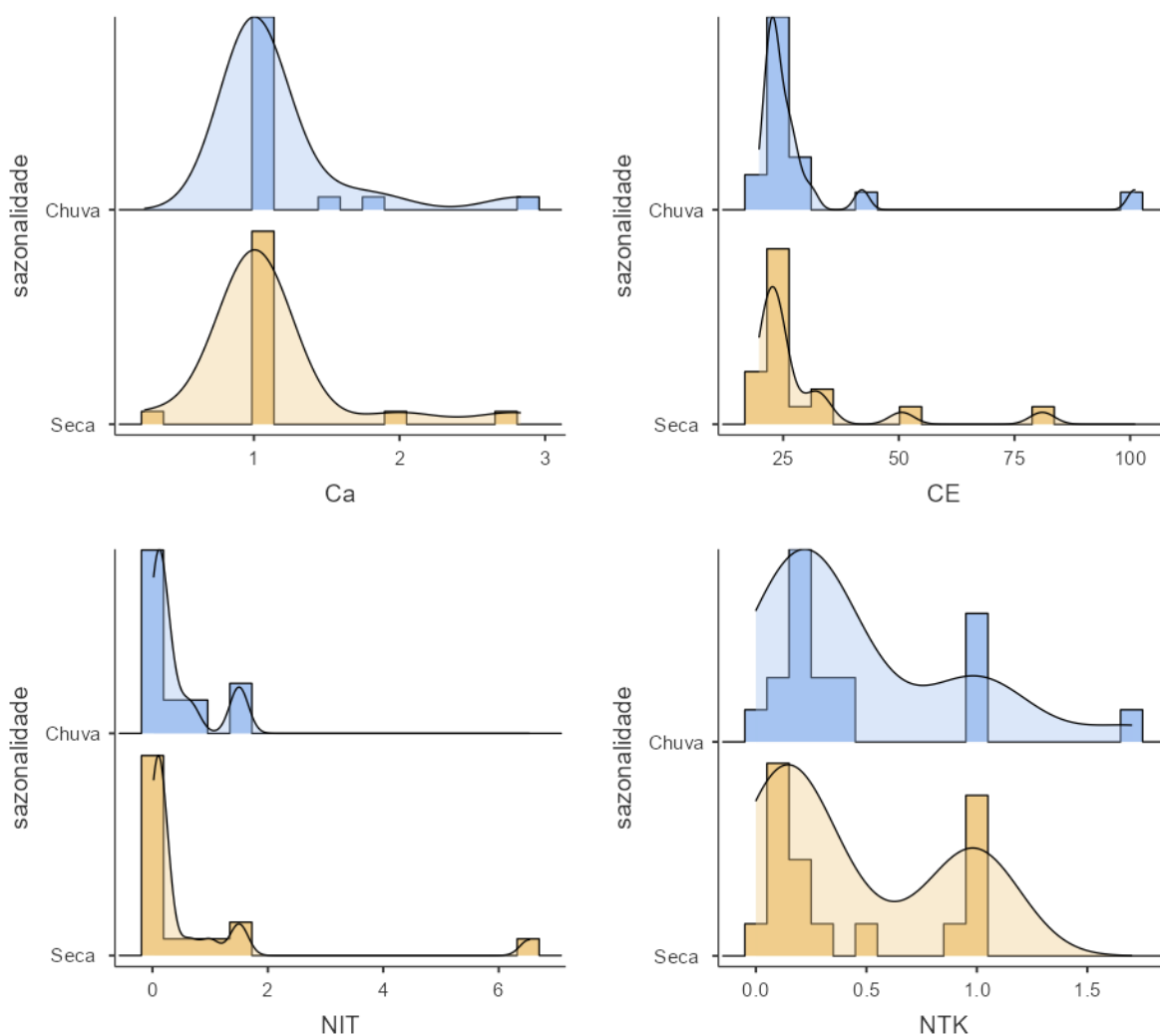
Fonte:

Autor.

Por fim, nas Tabela 12 os resultados do teste de Shapiro-Wilk indicam que as variáveis ambientais (**Cla**, **CE**, **NIT**, **NTK**, **NT**, **Tur** e **SDT**), não apresentaram distribuição normal em nenhuma das estações analisadas (chuva e seca), com p-valores significativamente inferiores a 0,05. Isso implica que os dados desses parâmetros não seguem uma distribuição normal. Em análise as Figuras 28 e Figuras

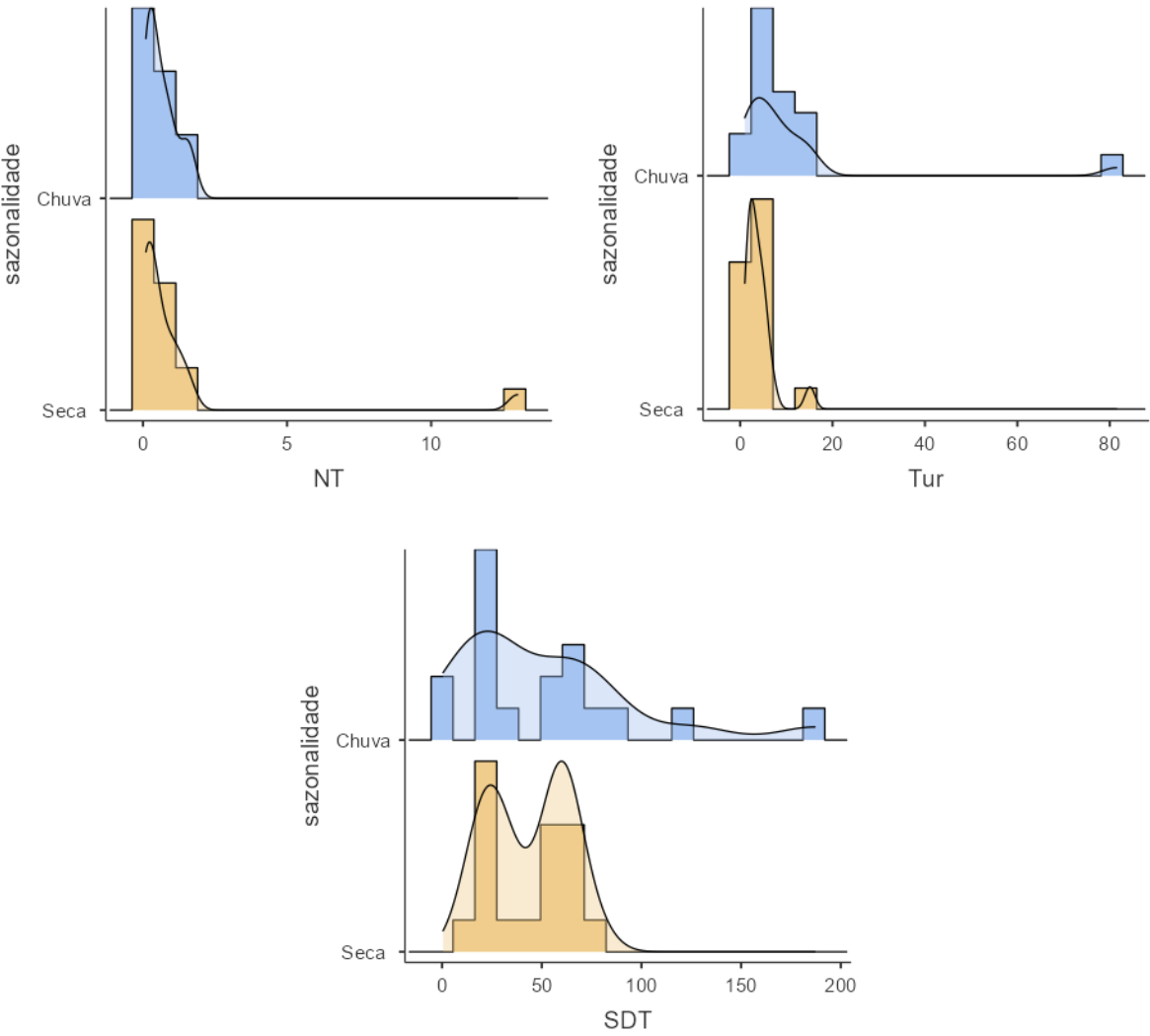
29, pela ausência da normalidade nestes dados verifica-se a assimetria e outliers, o que pode estar relacionada a fatores ambientais pontuais ou a variabilidade natural do sistema aquático.

Figuras 28 – Histogramas das variáveis que não atenderam os pressupostos de normalidade em nenhum dos períodos sazonais — Clorofila-a (Cla), Condutividade Elétrica (CE), Nitrogênio Inorgânico Total (NIT) e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) —, com curva de densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.



Fonte: Autor.

Figuras 29 – Histogramas das variáveis que não atenderam os pressupostos de normalidade em nenhum dos períodos sazonais — Nitrogênio Total (NT), Turbidez (Tur) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) —, com curva de densidade ajustada. Períodos chuvoso e seco, junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD.



Fonte: Autor.

6.4.1. Comparação entre a Sazonalidade

Na análise estatística das variáveis abióticas ao longo de toda a série temporal é essencial compreender a sazonalidade do ecossistema. Buscando investigar se existem diferenças significativas nas características abióticas entre a chuva e seca, executou-se o Teste U de Mann-Whitney, em que a Hipótese nula (H_0) é que as duas amostras são iguais seca e chuva, e alternativa (H_1) que são diferentes. Hipótese que o Grupo Chuva é diferente da Seca. E a dimensão do efeito correlação rank biserial, sendo -1 a 1, onde zero não tem diferença entre os grupos, e a proximidade dos extremos maior é a diferença entre os grupos.

Os dados não apresentam distribuição normal, conforme Tabela 12, assim utilizando o teste de U de Mann-Whitney expresso na Tabela 13, tendo valor de $p < 0,05$, há diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos, e $p \geq 0,05$ não há diferença estatisticamente significativa.

Tabela 13 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney para comparação entre os períodos chuvoso e seco, com indicação da estatística U, valor de p e dimensão do efeito (correlação rank biserial).
UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024.

U de Mann-Whitney	Estatística	p	Dimensão do Efeito (rg)	Resultado
Temperatura da água (°C)	1,00	<0,001	-0.9938	Sim
Clorofila a (µg/L)	154,00	0,731	-0.0494	Não
Condutividade elétrica (µS/cm)	159,00	0,937	-0.0185	Não
Fósforo total (mg/L)	146,50	0,628	-0.0957	Não
Nitrogênio inorgânico total (mg/L)	157,00	0,873	-0.0309	Não
Nitrogênio total Kjeldahl (mg/L)	135,50	0,406	-0.1636	Não
Nitrogênio Total (mg/L)	137,00	0,437	-0.1543	Não
Turbidez (UNT)	95,50	0,037	-0.4105	Sim
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	154,00	0,812	-0.0494	Não
Transparência (m)	75,00	0,006	0.5370	Sim
Oxigênio dissolvido (mg/L)	131,00	0,335	0.1914	Não
IQAR Reservatório	116,00	0,149	-0.2840	Não
Precipitação	36,00	<0,001	-0.7778	Sim
Temperatura	35,00	<0,001	-0.7840	Sim

Fonte: Autor.

No teste de Mann-Whitney mostrou que as variáveis **Tag**, **Tur**, **Tsecc**, **Prec** e **Tar**, para o período de Chuva tendem a ser diferentes do período de Seca. Sendo eles o grupo dos valores de $p < 0,05$, os quais existem diferenças estatisticamente significativas entre os dados analisados do período de seca e chuva. Indicando a diferença da distribuição nesses dois períodos para: **Tag** ($U=1$; $p < 0,01$; $rg = -0,9938$). **Tur** ($U=95,5$; $p < 0,05$; $rg = -0,4105$), **Tsecc** ($U=75$; $p < 0,05$; $rg = 0,5370$), **Prec** ($U=36$; $p < 0,01$; $rg = -0,7778$) e **Tar** ($U=35$; $p < 0,01$; $rg = -0,7840$).

As diferenças estatisticamente significativas identificadas entre os períodos chuvoso e seco para as variáveis Temperatura da Água, Turbidez, Transparência, Precipitação e Temperatura do Ar confirmam que a sazonalidade climática é o principal fator de modulação das condições físicas do reservatório da UHSD. Esse padrão é característico de reservatórios em regiões com clima tropical sazonal, onde o pulso hidrológico das chuvas determina ciclos anuais de degradação e recuperação da qualidade da água, com reflexos diretos sobre a transparência, a turbidez e a temperatura do corpo hídrico (Vidal e Capelo Neto, 2014). A ausência de diferenças significativas nos parâmetros químicos entre os dois períodos, como Fósforo Total, formas de Nitrogênio e Condutividade Elétrica, sugere que esses parâmetros são controlados, em maior medida, por processos internos do reservatório e por fontes difusas de carga contínua, com menor sensibilidade à variação pluviométrica imediata (Figueiredo e Becker, 2018).

A maior variabilidade dos parâmetros químicos durante o período chuvoso, evidenciada pela amplitude interquartil mais elevada, indica que os eventos de precipitação introduzem uma heterogeneidade adicional nas concentrações de nutrientes e sólidos dissolvidos, possivelmente decorrente da variabilidade espacial e temporal do escoamento superficial na bacia de contribuição. Esse comportamento reforça a importância de se manter a frequência atual de monitoramento ao longo de todo o ano, evitando a subestimação da variabilidade ambiental do sistema aquático que ocorreria com campanhas restritas a apenas um dos períodos sazonais (Tundisi e Tundisi, 2008).

6.4.2. Análise exploratório pela sazonalidade

Em análise a Tabela 14, identifica-se a mediana como medida de tendência central e a Amplitude Interquartis (AIQ), como medida de dispersão sendo: $AIQ = Q3 - Q1$, que representa a diferença entre o terceiro quartil (Q3) e o primeiro quartil (Q1) do conjunto de dados, mostrando a dispersão dos dados entorno da mediana, não sendo sensível a outliers. Nos gráficos abaixo, identificam-se em destaque os valores atípicos (*outliers*), se estendendo além do limite, indicando valores externos e naturais, provocando um achatamento no intervalo interquartis. Visto em **Clorofila-a**, **Condutividade Elétrica**, **Fósforo Total**, **Nitrogênio Inorgânico Total**, **Nitrogênio Total**, **Turbidez**.

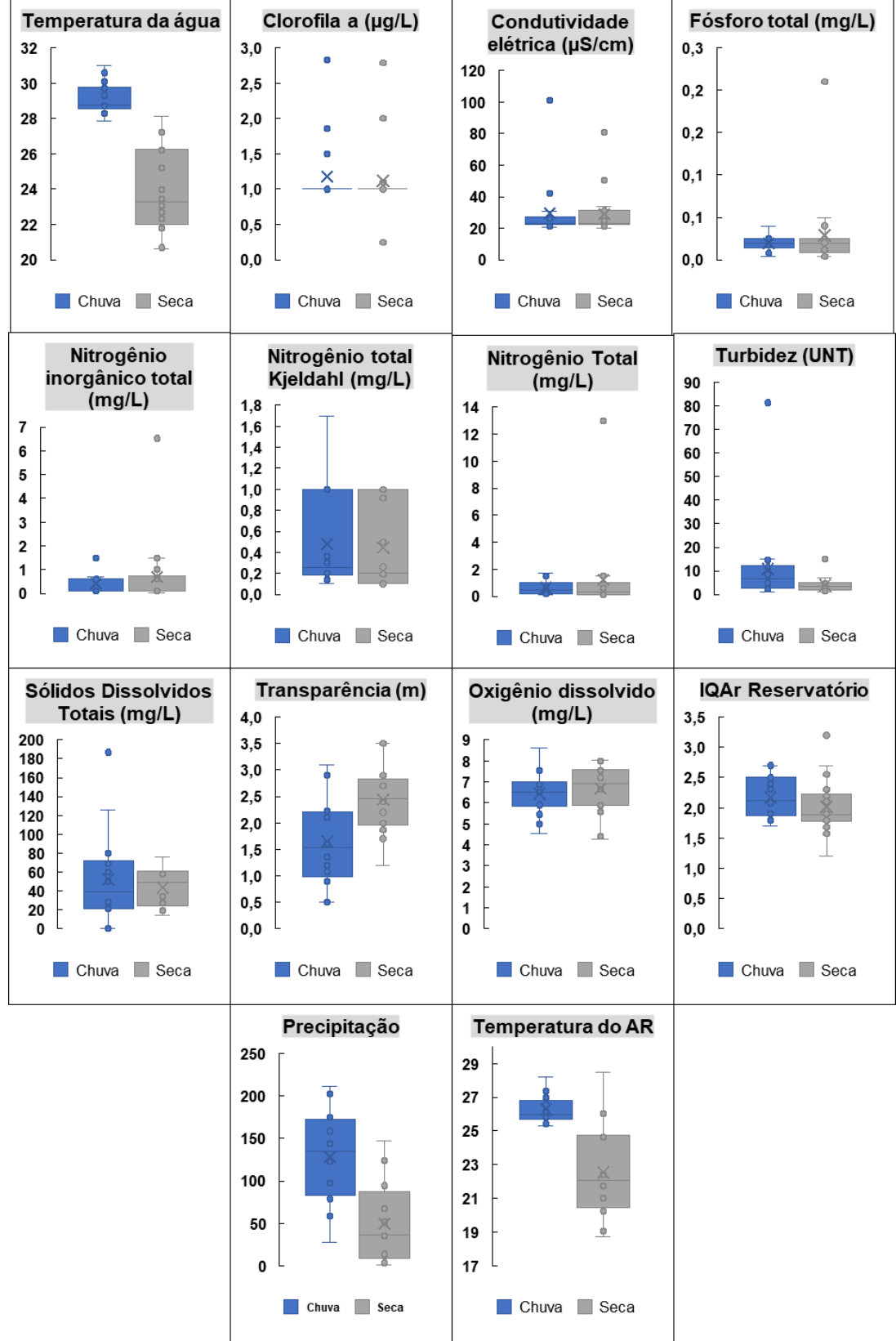
Tabela 14 – Estatística descritiva resumida (mediana e Amplitude Interquartil — AIQ) das variáveis de qualidade da água e climáticas, estratificada por sazonalidade (período chuvoso e período seco). UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024. ▲ indica valor maior na comparação entre os períodos; ▼ indica valor menor; ● indica valores iguais entre os períodos.

	Mediana		AIQ			
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Tag	28,79 ▲	23,26 ▼	1,03 ▼	3,85 ▲		
Cla	1,00 ■	1,00 ■	0,00 ■	0,00 ■		
CE	23,15 ■	23,15 ■	4,25 ▼	7,13 ▲		
FT	0,02 ■	0,02 ■	0,0090 ▼	0,0120 ▲		
NIT	0,10 ■	0,10 ■	0,430 ▲	0,421 ▼		
NTK	0,26 ▲	0,21 ▼	0,66 ▼	0,88 ▲		
NT	0,43 ▲	0,33 ▼	0,73 ▼	0,86 ▲		
Tur	6,50 ▲	3,30 ▼	8,12 ▲	2,92 ▼		
SDT	39,00 ▼	49,00 ▲	47,00 ▲	35,50 ▼		
Tsecc	1,53 ▼	2,45 ▲	1,16 ▲	0,75 ▼		
OD	6,50 ▼	6,90 ▲	1,03 ▼	1,60 ▲		
IQAR	2,12 ▲	1,89 ▼	0,61 ▲	0,38 ▼		
Prec	134,73 ▲	35,45 ▼	65,22 ▲	54,74 ▼		
Tar	26,31 ▲	22,23 ▼	1,10 ▼	4,05 ▲		

Fonte: Autor.

Neste contexto, Tag, NTK, SDT, Tsecc, OD, IQAR, Prec e Tar, em seus gráficos não apresentam valores que resultem um achatamento no intervalo interquartis, sugerindo uma distribuição mais homogênea dos dados amostrais.

Figuras 30 – Diagramas de caixa (*boxplots*) comparativos entre os períodos chuvoso e seco para todas as variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas no ponto amostral do reservatório da UHSD, junho de 2015 a dezembro de 2024. A linha central representa a mediana; as caixas indicam os percentis 25 e 75; os pontos representam os valores individuais.



Fonte: Autor.

Destacamos na Tabela 14, os valores das medianas e da amplitude interquartis da sazonalidade sobre cada variável avaliada. As medianas permitem avaliar a tendência central de cada parâmetro em relação a sazonalidade, enquanto a amplitude interquartil (AIQ), representando o intervalo entre o primeiro e o terceiro quartis, evidenciando a variabilidade dos dados, sendo que uma caixa mais alta maior dispersão. Observa-se a **Tag**, com medianas de 28,79 e 23,26 (chuva e seca, respectivamente), apresentando menor mediana na seca que corresponde a estação mais fria do ano, e maior amplitude (AIQs: 1,03 e 3,85; chuva e seca). A **Clorofila-a** devido ao seu método de análise e a temporalidade das amostras não permite atribuição clara de comportamento. A **CE** apresenta mediana constante entre as estações (23,15 e 23,15), e uma **AIQ** maior no período da seca de 4,25 para chuvas e 7,13 para seca. O **FT** também se destaca pela **AIQ** no período seco, embora a mediana permaneça inalterada (0,02 e 0,02), com o **AIQs** de $1,20 \times 10^{-02}$ e $0,90 \times 10^{-02}$, (chuva e seca).

Para a série dos Nitrogênios, observam-se características muito semelhantes entre os parâmetros, com destaque para a estação **seca**, na qual há menor mediana e maior amplitude interquartil: **NIT** apresenta mediana de 0,10 e AIQ de 0,43 na **chuva**, enquanto na **seca** mantém a mediana em 0,10, mas com AIQ de 0,42; **NTK** apresenta medianas de 0,26 e 0,21 (chuva e seca, respectivamente), com AIQs de 0,66 e 0,88; e **NT**, com medianas de 0,43 e 0,33, e apresenta AIQs de 0,73 e 0,86, respectivamente. A **turbidez** destaca-se pelo aumento tanto da mediana (6,50 na chuva e 3,30 na seca) quanto da amplitude (AIQ de 8,12 e 2,92) no período chuvoso. Comportamento inverso é observado na **Transparência**, que apresenta medianas de 1,53 e 2,45 (chuva e seca) e AIQs de 1,16 e 0,75, respectivamente. Já os **sólidos dissolvidos totais** (SDT) revelam tendência central mais elevada na seca (medianas de 39,00 e 49,00) e maior amplitude durante a estação chuvosa (AIQs de 47,00 e 35,50), conforme os dados da série histórica analisada.

O **OD** apresenta comportamento harmónico entre os períodos, com medianas de 6,50 e 6,90 (chuva e seca, respectivamente) e AIQs de 1,03 e 1,60, indicando melhores condições durante o período da Seca. O **Índice de Qualidade da Água do Reservatório**, também demonstra comportamento ideal, lembrando que o valor expressado refere-se ao índice da classificação, medianas de 2,12 e 1,89 e AIQs 0,61 e 0,38 (chuva e seca, respectivamente). No caso da **precipitação**, por caracterizar e

nomear a sazonalidade, os resultados do teste reafirmam essa condição, com mediana de 134,73 e 35,46 e AIQs de 65,22 e 54,74 (chuva e seca). Já para a **Tar**, como corresponde ao período mais quente do ano, observa-se a menor amplitude térmica registrada com medianas de 26,31 e 22,23 e AIQs de 1,10 e 4,05 (chuva e seca, respectivamente).

6.5. Testes de Mann-Kendall para detectar tendência sazonal das séries temporais

A detecção de tendências nas séries temporais das variáveis foi realizada por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Os resultados estão organizados Tabela 15 por período sazonal (Chuva e Seca), permitindo a identificação de tendências específicas em cada estação, bem como uma avaliação consolidada da tendência geral ao longo da série histórica.

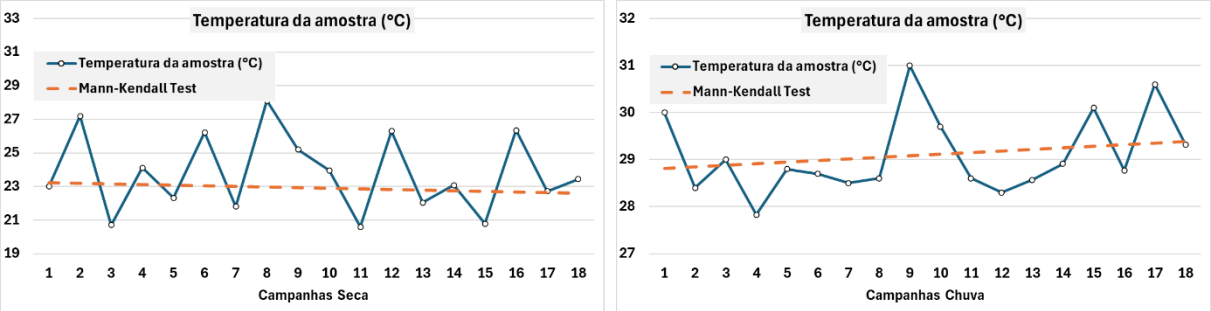
Tabela 15 – Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall aplicado às séries temporais sazonais (período seco e período chuvoso) e à série histórica completa das variáveis de qualidade da água e climáticas monitoradas no reservatório da UHSD, entre junho de 2015 e dezembro de 2024. ↑ tendência crescente significativa; ↓ tendência decrescente significativa; nível de significância $\alpha = 0,05$.

	SECA			CHUVA			Série Histórica	
	MK-stat	p-value	trend	MK-stat	p-value	trend	Trend	resumo
Tag	-7	0,8202	Não	28	0,3061	Não		Não
Ca	-16	0,4313	Não	-20	0,2634	Não		Não
CE	78	0,0035	Sim ↑	67	0,0121	Sim ↑		Sim ↑
FT	-92	0,0004	Sim ↓	-75	0,0041	Sim ↓		Sim ↓
NIT	25	0,3152	Não	31	0,1918	Não		Não
NTK	32	0,2247	Não	61	0,0220	Sim ↑		Sim ↑
NT	75	0,0047	Sim ↑	64	0,0168	Sim ↑		Sim ↑
Tur	-56	0,0371	Sim ↓	-74	0,0056	Sim ↓		Sim ↓
SDT	16	0,5676	Não	-38	0,1557	Não		Não
Tsecc	37	0,1698	Não	39	0,1489	Não		Não
OD	17	0,5445	Não	88	0,0010	Sim ↑		Sim ↑
IQAR	-62	0,0206	Sim ↓	-57	0,0331	Sim ↓		Sim ↓
Prec	-31	0,2558	Não	-55	0,0408	Sim ↓		Não
Tar	-9	0,7619	Não	39	0,1501	Não		Não

Fonte: Autor.

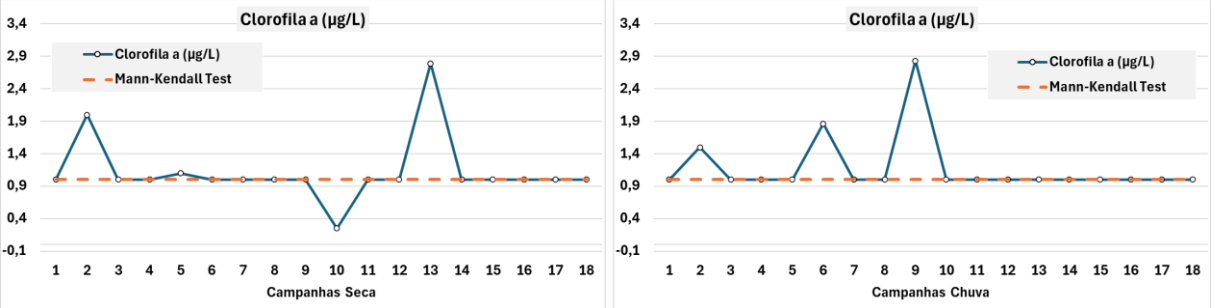
Para as variáveis **Tag** e **Cla** não apresentaram tendências estatisticamente significativamente em nenhum dos períodos analisados, com valores de **p** superiores a (0,05), indicando estabilidade temporal.

Figura 31 - Série temporal da Temperatura da Água (°C) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$).



Fonte: Autor.

Figura 32 - Série temporal de Clorofila-a (µg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$).



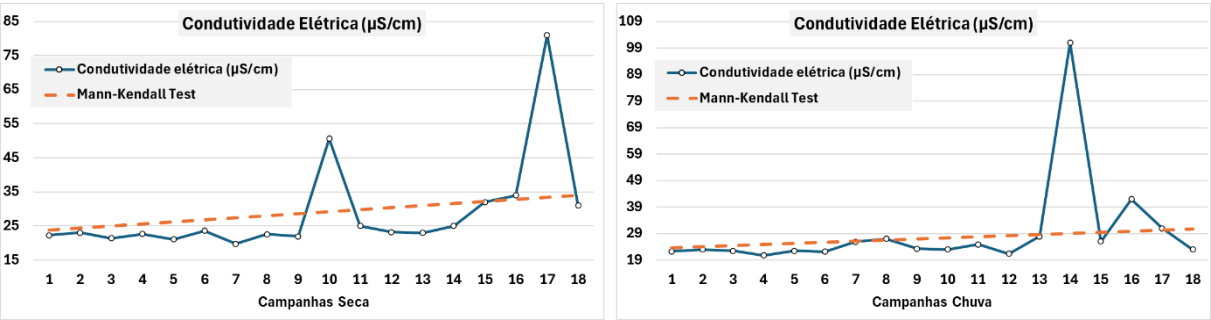
Fonte: Autor.

Por outro lado, para a variável **CE**, observou-se uma tendência crescente estatisticamente significativa em ambos os períodos: Seca (MK = 78; $P = 0,0035$) e Chuva (MK = 67; $p = 0,0121$), indicando um aumento consistente ao longo do tempo. De forma semelhante, a variável **FT** apresentou tendência decrescente significativa tanto na Seca (MK = -92; $p = 0,0004$) quanto na Chuva (MK = -75; $p = 0,0041$), evidenciando uma redução sistemática ao longo da série.

Esses resultados são sintetizados na coluna **Série Histórica**, que destaca as variáveis com tendência significativa ao longo da série histórica completa.

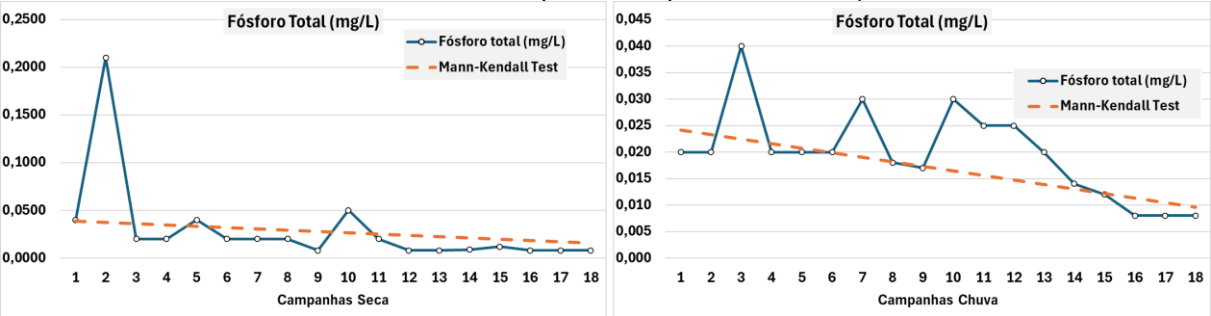
Figura 33 - Série temporal de Condutividade Elétrica (µS/cm) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de

Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Fonte: Autor.

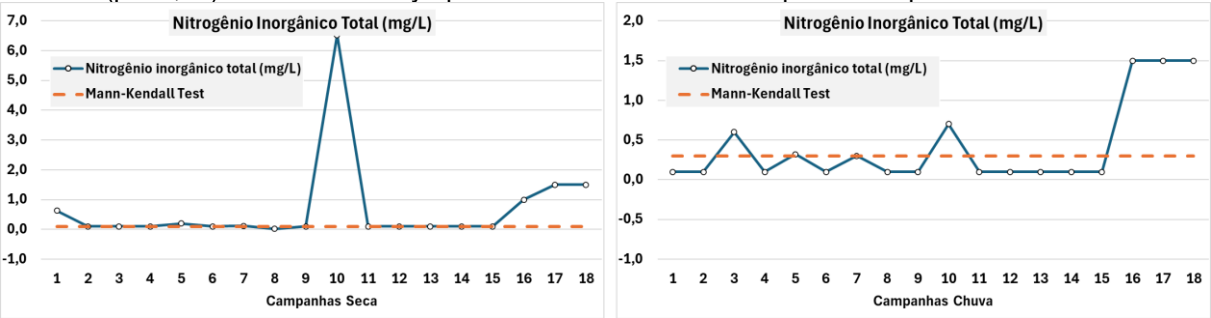
Figura 34 - Série temporal de Fósforo Total (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal).



Fonte: Autor.

Os resultados indicam que a variável **NIT** não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade temporal ao longo da série.

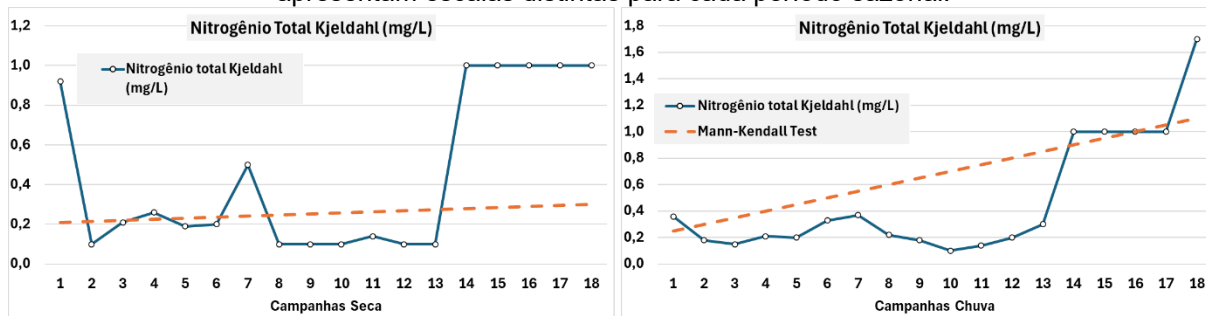
Figura 35 - Série temporal de Nitrogênio Inorgânico Total (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Fonte: Autor.

Por outro lado, a variável **NTK** apresentou tendência crescente significativa apenas no período de Chuva (MK = 61; $p = 0,0220$), o que pode indicar uma influência sazonal sobre essa variável. Essa tendência também foi observada na série histórica consolidando e reforçando a hipótese de um aumento gradual ao longo do tempo.

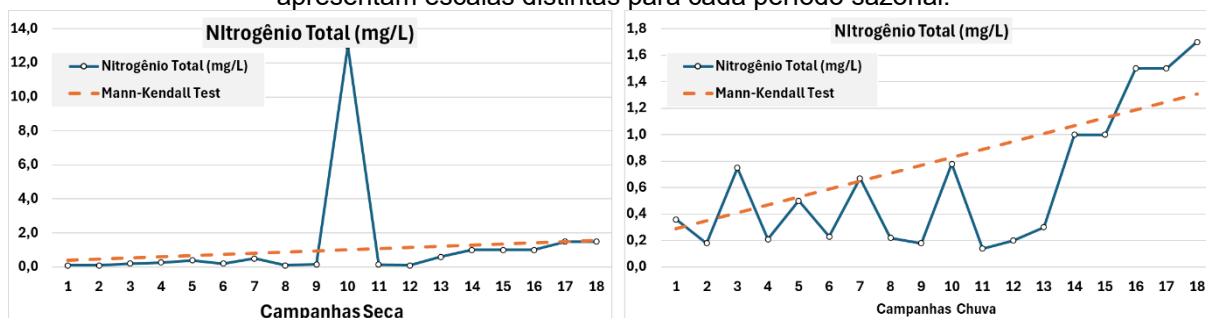
Figura 36 - Série temporal de Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa apenas no período chuvoso pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Fonte: Autor.

A variável **NT** apresentou comportamento consistente, com tendência crescente significativa tanto no período de Seca ($MK = 75$; $p = 0,0047$) quanto no período da Chuva ($MK = 64$; $p = 0,0168$), sendo confirmada também na análise da série histórica. Esses resultados sugerem um aumento contínuo e estatisticamente relevante dessa variável ao longo do tempo, independentemente da sazonalidade.

Figura 37 - Série temporal de Nitrogênio Total (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.

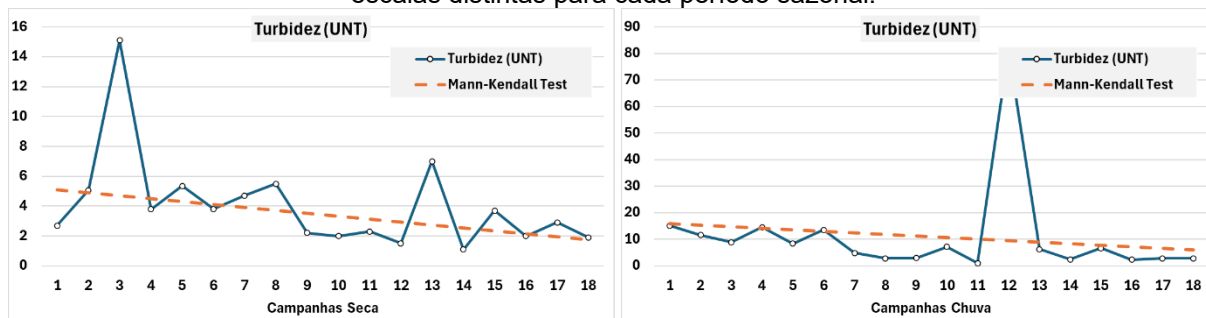


Fonte: Autor.

Nos resultados para a variável **Tur**, observou-se uma tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos: Seca ($MK = -56$; $p = 0,0371$) e Chuva ($MK = -74$; $p = 0,0056$), indicando uma redução consistente ao longo do tempo. Esses resultados são confirmados na coluna Série Histórica, que destaca as variáveis com tendência significativa ao longo da série histórica completa.

Figura 38 - Série temporal de Turbidez (UNT) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-

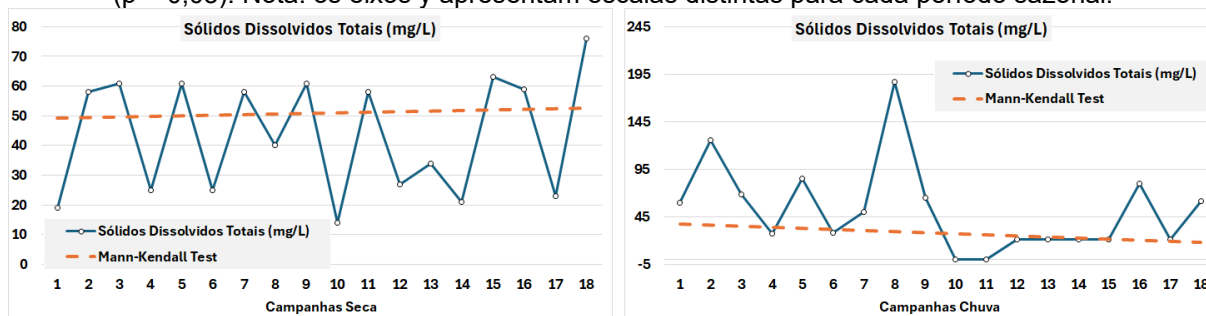
Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Fonte: Autor.

Os resultados indicam que a variável **SDT** não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade temporal ao longo da série.

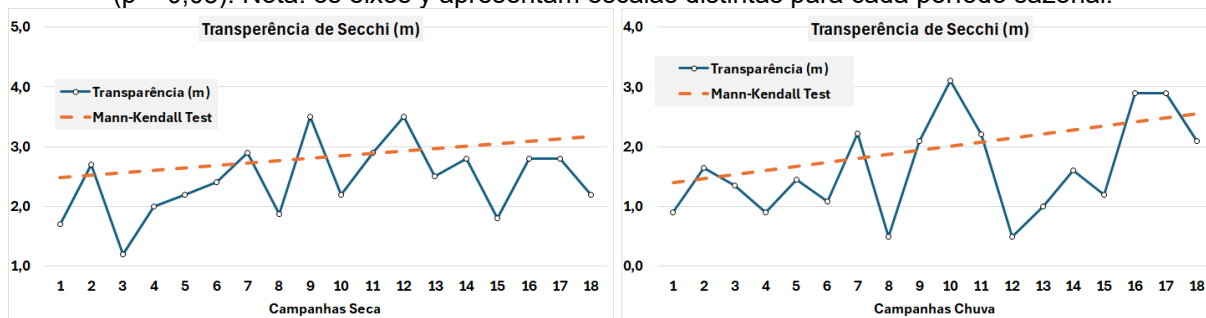
Figura 39 - Série temporal de Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Fonte: Autor.

Os resultados da variável **Transparência de Secchi**, também não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade temporal ao longo da série.

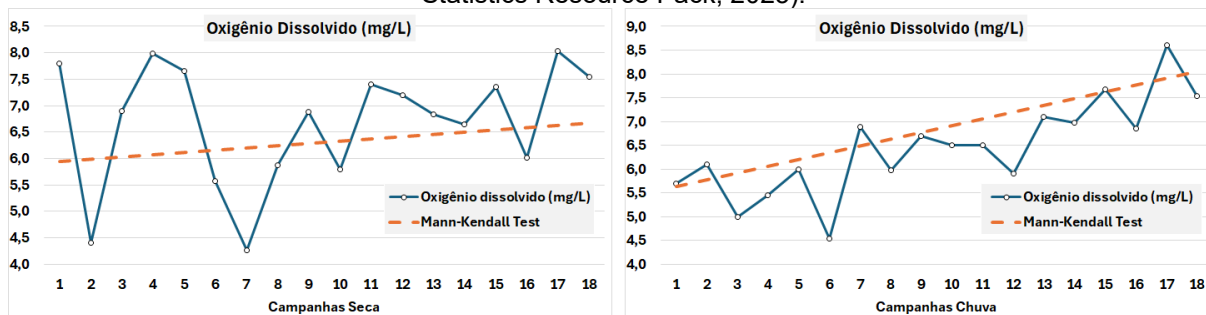
Figura 40 - Série temporal de Transparência de Secchi (m) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Para a variável **OD** apresentou tendência crescente significativa apenas no período de Chuva (MK = 88; $p = 0,0010$), o que pode indicar uma influência sazonal

sobre essa variável. Essa tendência também foi observada na série histórica consolidando e reforçando a hipótese de um aumento gradual ao longo do tempo.

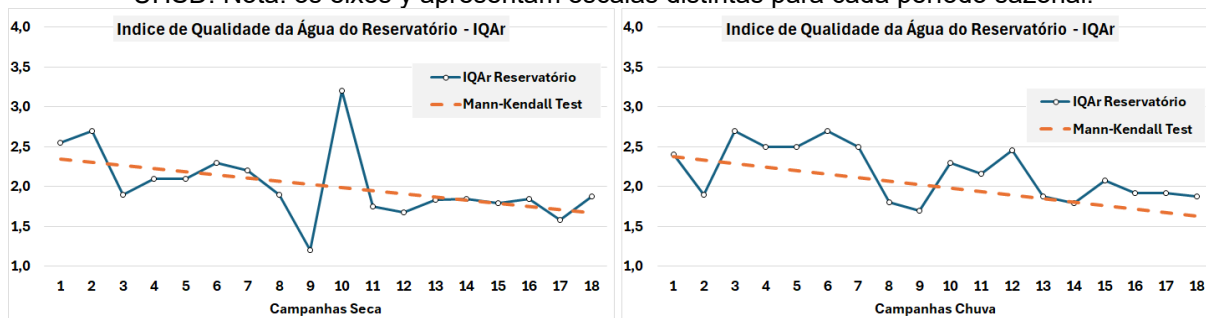
Figura 41 - Série temporal de Oxigênio Dissolvido (mg/L) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência crescente estatisticamente significativa apenas no período chuvoso pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal. Fonte: Eletrobras / Elaboração: Autor (Real Statistics Resource Pack, 2025).



Fonte: Autor.

Nos resultados para a variável **IQAR**, observou-se uma tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos: Seca (MK = -62; $p = 0,0206$) e Chuva (MK = -57; $p = 0,0331$), indicando uma redução consistente ao longo do tempo. Esses resultados são confirmados na coluna Série Histórica, que destaca as variáveis com tendência significativa ao longo da série histórica completa.

Figura 42 - Série temporal do Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.

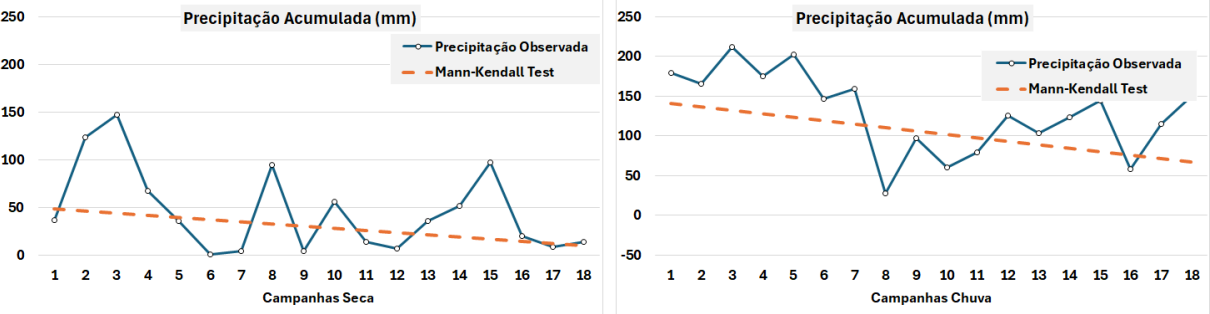


Fonte: Autor.

Para a variável **Precipitação Acumulada**, durante o período de Seca, o teste não indicou tendência estatisticamente significativa (MK = -31; $p = 0,2558$), propondo estabilidade nos valores de precipitação ao longo do tempo nesse intervalo sazonal. No entanto, no período da Chuva, foi observada uma tendência decrescente significativa (MK = -55; $p = 0,0408$), indicando uma possível redução nos volumes de precipitação ao longo dos anos durante essa estação. Apesar da tendência significativa no período chuvoso, a análise da série histórica completa não confirmou essa tendência como estatisticamente significativa robusta, o que pode indicar que a

redução observada é interanual e não suficientemente persistente ao longo do período analisado para ser considerada tendência consolidada.

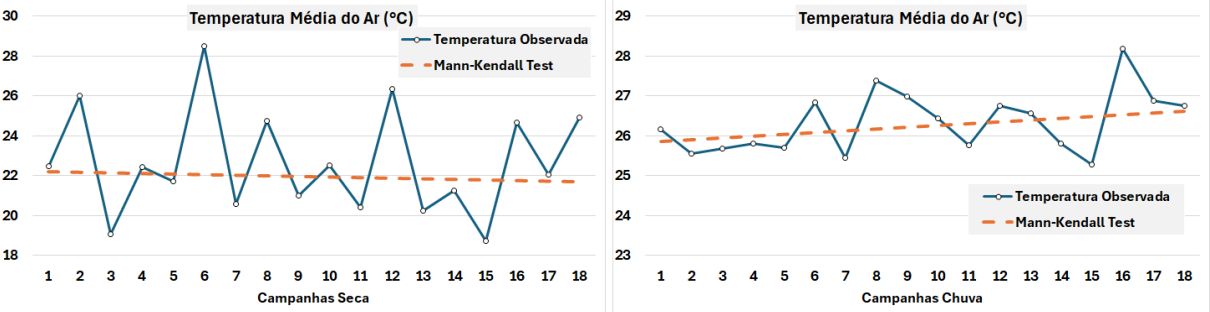
Figura 43 - Série temporal de Temperatura Média do Ar (°C) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Fonte: Autor.

Os resultados da variável **Temperatura do ar**, também não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade temporal ao longo da série.

Figura 44 - Série temporal de Temperatura Média do Ar (°C) segregada por período sazonal (seco e chuvoso), com tendência estimada pelo teste de Mann-Kendall (MK), período de junho de 2015 a dezembro de 2024, UHSD. Nenhum dos períodos apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Nota: os eixos y apresentam escalas distintas para cada período sazonal.



Fonte: Autor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1. Aspectos Gerais

O presente estudo utilizou uma série histórica de dez anos de dados de amostragem de água superficial, coletados no ponto amostral do reservatório, no período compreendido entre julho de 2015 e dezembro de 2024. Ao todo, foram realizadas 36 campanhas de monitoramento, sendo 18 durante o período seco e 18 no período chuvoso, o que possibilitou uma análise comparativa robusta entre as condições sazonais predominantes na região.

A escolha do ponto amostral superficial do reservatório como local de coleta se justifica por sua representatividade hidrológica e ambiental. Este ponto está localizado na região mais profunda do reservatório, na zona de confluência dos rios Verde e São Domingos, que formam o corpo hídrico principal. Além disso, trata-se do ponto com maior histórico de monitoramento, o que reforça sua relevância para análises comparativas e de tendência ao longo do tempo.

Com base na análise da série histórica de 2015 a 2024 foi possível atender ao objetivo geral do estudo, ao identificar padrões de tendência e sazonalidade nas variáveis climáticas e de qualidade da água do reservatório da UHE São Domingos. A sazonalidade foi evidente em variáveis como Temperatura da água (Tag), Transparência de Secchi (Tsecc) e Oxigênio Dissolvido (OD), enquanto as variáveis climáticas Precipitação (Prec) e Temperatura do Ar (Tar) apresentaram variações compatíveis com o regime climático da região. Foram observadas variações relevantes em Clorofila-a (Cla), Condutividade Elétrica (CE) e Fósforo Total (FT), além de ocorrências pontuais em NIT, NT, Turbidez e SDT. A análise de normalidade indicou que apenas Tsecc, OD e IQAR seguiram distribuição normal, justificando o uso de testes não paramétricos para as demais variáveis. Por fim, a análise de dispersão revelou maior variabilidade em SDT e Precipitação, e menor em Cla e FT, contribuindo para uma compreensão mais precisa da dinâmica ambiental do reservatório ao longo do tempo.

A análise dos valores atípicos de Clorofila a (Cla), com base no método do intervalo interquartil, revelou a presença de registros fora da distribuição estatística esperada. No entanto, muitos desses valores coincidem com o Limite de

Quantificação (LQ) do método analítico, fixado em 1,00 µg/L, o que sugere limitações técnicas ou metodológicas, e não necessariamente variações ambientais significativas. Além disso, todos os valores observados estão muito abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) pela Resolução CONAMA nº 357/2005, indicando que, mesmo sendo estatisticamente atípicos, não representam risco à qualidade da água.

No caso da Condutividade Elétrica (CE), os valores outliers identificados, especialmente aqueles acima de 40 µS/cm, podem estar associados a fontes pontuais de lançamento ou a variações sazonais. Embora a maioria dos dados se concentre entre 20 e 30 µS/cm, os picos observados não apresentaram relação direta com a precipitação acumulada, sugerindo a necessidade de análises mais aprofundadas. Situação semelhante foi observada para o Fósforo Total (FT), cujos valores atípicos, embora estatisticamente relevantes, permanecem abaixo dos limites legais e podem estar relacionados a múltiplos fatores, como uso do solo, manejo da vegetação ou atividades antrópicas.

A Campanha 19, realizada em 20 de maio de 2020, destacou-se por apresentar diversos parâmetros com valores elevados, como Condutividade Elétrica (50,6 µS/cm), Fósforo Total (0,05 mg/L), Nitrogênio Total (13 mg/L) e Nitrogênio Inorgânico Total (6,53 mg/L), sugerindo um possível aporte de nutrientes. No entanto, a baixa concentração de Clorofila-a (0,25 µg/L), aliada à alta transparência da água e níveis aceitáveis de oxigênio dissolvido, indica que a produção primária não respondeu proporcionalmente à carga de nutrientes. A precipitação acumulada de 55,66 mm pode ter contribuído para esse cenário, mas a magnitude dos valores sugere a influência de múltiplos fatores ambientais e antrópicos, como a condição do vento para a mistura, evaporação, associando-se e reforçando a complexidade dos processos que afetam a qualidade da água no reservatório.

Fatos estes fundamentados em Esteves (2011), que devido ao aporte natural de nutrientes variar conforme as condições climáticas e a vegetação da bacia de drenagem. O vento exerce papel crucial na oxigenação da coluna d'água, tanto na elevação de oxigênio na camada superior, como na redistribuição na mistura vertical. O aporte de fósforo em lagos a partir de rios e tributários pode ser significativo, pois lagos ou outros tipos de corpos d'água, retem como sumidouros e com inundações carreando aos reservatórios. Dentre as fontes naturais do fósforo total, destacam-se as rochas da bacia de drenagem, com a intemperização formam argila e absorvidas

pelo ecossistema aquático. Nitrogênio, ocorre na coluna d'água e no sedimento, e está diretamente ligado aos processos de produção e decomposição. Sua distribuição vertical pode ocorrer em função do comportamento térmico da massa d'água, como a estratificação e desestratificação, e da dinâmica de gases, sobretudo do oxigênio (Esteves, 2011).

A aplicação do teste de Mann-Kendall revelou tendências estatisticamente significativas ao nível de 5% para diversas variáveis abióticas da qualidade da água, como Condutividade Elétrica (CE), Fósforo Total (FT), Nitrogênio Kjeldahl Total (NTK), Nitrogênio Total (NT), Turbidez (Tur), Oxigênio Dissolvido (OD) e o Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR). As tendências foram positivas crescentes para CE, NTK, NT e OD, e negativas decrescentes para FT, Tur e IQAR. Por outro lado, as variáveis climáticas não apresentaram significância estatística, embora a precipitação acumulada tenha mostrado uma inclinação decrescente ao longo do tempo, e a temperatura do ar tenha permanecido estável.

Entre as doze variáveis de qualidade da água analisadas, cinco não apresentaram tendência estatisticamente significativa, mas ainda assim indicaram padrões de inclinação: três com tendência crescente (Temperatura da Água, Nitrogênio Inorgânico Total e Transparência de Secchi) e duas com tendência decrescente (Clorofila-a e Sólidos Dissolvidos Totais). Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e da análise integrada dos dados, permitindo compreender melhor as dinâmicas ambientais do reservatório e subsidiar ações de gestão e conservação dos recursos hídricos.

A aplicação do teste de Mann-Kendall à série temporal de Fósforo Total, Turbidez e IQAR revelou uma tendência negativa estatisticamente significativa ao longo do período analisado, com elevado nível de significância ($p < 0,004$). Esses resultados indicam uma redução consistente nos valores dessas variáveis, sugerindo melhorias na qualidade da água do reservatório, especialmente no que se refere à carga de nutrientes e à transparência. A diminuição do Fosforo Total aponta para um possível controle das fontes de aporte externo, enquanto a redução da Turbidez pode refletir menor entrada de sólidos em suspensão. A tendência negativa observada no IQAR, representa uma sensível melhora simultânea em múltiplos parâmetros. Assim, os dados sugerem avanços no controle da eutrofização.

A aplicação do teste de Mann-Kendall às variáveis hidrológicas Condutividade Elétrica (CE), Nitrogênio Kjeldahl Total (NTK), Nitrogênio Total (NT) e Oxigênio Dissolvido (OD) revelou uma tendência crescente estatisticamente significativa ao longo do período analisado, com valores de $p < 0,01$. As estatísticas MK positivas indicam uma elevação consistente desses parâmetros, sugerindo possíveis alterações nos processos naturais do reservatório, como aumento na concentração de sais dissolvidos, aporte de nutrientes e melhoria na oxigenação da água.

A análise das variáveis com tendência crescente, mas sem significância estatística, revelou que, embora o teste de Mann-Kendall tenha indicado valores positivos para Temperatura da Água (T_{ag}), Nitrogênio Inorgânico Total (NIT), Transparência de Secchi (T_{secc}) e Temperatura do Ar (T_{ar}), os respectivos p-valores foram superiores a 0,05. Isso indica que, apesar de uma possível inclinação ascendente nos dados, não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que essas variáveis apresentaram uma tendência crescente ao longo do período analisado. Portanto, essas variações podem ser atribuídas à variabilidade natural dos dados ou a flutuações sazonais sem padrão consistente.

Da mesma forma, as variáveis com estatísticas MK negativas: Clorofila-a (Ca), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Precipitação Acumulada (Prec), também não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$), o que impede a confirmação de uma tendência decrescente. Embora os resultados sugiram uma possível redução nos valores dessas variáveis, a ausência de significância estatística reforça que não é possível afirmar com segurança a existência de uma tendência temporal. Esses achados destacam a importância de séries temporais mais longas e de análises complementares para melhor compreender a dinâmica dessas variáveis no contexto do monitoramento ambiental do reservatório.

A análise do coeficiente de correlação de Kendall revelou relações estatisticamente significativas entre diversas variáveis ambientais e de qualidade da água, evidenciando interações importantes no sistema aquático do reservatório. A Temperatura da água apresentou forte correlação positiva com a Temperatura do Ar, confirmando a influência direta das condições climáticas. A **Clorofila-a** mostrou correlações positivas com Turbidez e Sólidos Dissolvidos Totais, e negativas com formas de Nitrogênio, sugerindo que a presença de algas está associada à turbidez e à redução de nutrientes inorgânicos. A **Condutividade Elétrica** apresentou

correlações positivas com Nitrogênio Total e Oxigênio Dissolvido, e negativa com Turbidez e IQAR, indicando que águas mais claras e oxigenadas tendem a apresentar maior concentração de íons dissolvidos.

Outras correlações relevantes incluem a forte associação entre Fósforo Total e IQAR, sugerindo que níveis moderados de fósforo podem estar ligados a melhores condições ambientais e elevadas concentrações sugerem impactos negativos sobre a qualidade da água do reservatório. A Turbidez apresentou correlação negativa com a Transparência de Secchi e positiva com a Precipitação, reforçando o papel dos eventos de chuva no aporte de sedimentos. A Transparência, por sua vez, foi negativamente correlacionada com a Precipitação, enquanto o Oxigênio Dissolvido mostrou correlação negativa com o IQAR, devido aos valores contraintuitivos, indicando que maiores níveis de Oxigênio Dissolvido tendem a melhorar a qualidade da água. Esses resultados reforçam a importância de uma abordagem integrada no monitoramento, considerando tanto os fatores climáticos quanto os parâmetros físico-químicos e biológicos para uma gestão eficaz dos recursos hídricos.

As análises de correlação de Kendall indicaram que a Temperatura da água (Tag) apresentou uma forte correlação positiva com a Temperatura do Ar, evidenciando a influência direta das condições atmosféricas sobre a temperatura da água no reservatório. Além disso, a Temperatura da água também apresentou correlação moderada com a Precipitação Observada, sugerindo que eventos de chuva podem contribuir para o aquecimento da coluna d'água, podendo indicar uma possível associação do aquecimento local a convecção ou da alteração na dinâmica térmica do corpo hídrico, considerando que as coletas são realizadas apenas com tempo ensolarado e preferencialmente não tenha ocorrido chuvas torrenciais nos dias que antecederam a coleta.

A Precipitação Observada também demonstrou correlações estatisticamente significativas com variáveis de qualidade da água, afetando negativamente o IQAR e como a Turbidez, indicando que eventos de chuva estão fortemente associados ao aumento da carga de sedimentos e matéria orgânica no reservatório. Neste contexto, a Transparência de Secchi apresentou correlação negativa com a precipitação, reforçando que o aumento do escoamento superficial durante chuvas intensas reduz a penetração de luz na coluna d'água. Esses resultados destacam a importância das

variáveis climáticas como fatores moduladores da qualidade da água, reforçando a necessidade de integrá-las ao planejamento e à gestão ambiental do reservatório.

Com base na análise sazonal das variáveis de qualidade da água, observou-se que os períodos de chuva e seca apresentam comportamentos distintos, refletindo diretamente nas características físico-químicas do reservatório. Durante o período chuvoso, houve aumento nas medianas de variáveis como Turbidez e Precipitação, além de maior amplitude interquartil, indicando maior variabilidade e instabilidade nos parâmetros, possivelmente devido ao aporte de sedimentos e matéria orgânica oriundos do escoamento superficial. A Transparência de Secchi apresentou comportamento inverso, com menor mediana e maior dispersão na chuva, evidenciando a redução da penetração de luz na coluna d'água.

Por outro lado, no período seco, observou-se maior estabilidade e melhores condições em variáveis como Oxigênio Dissolvido (OD), Transparência, Temperatura da água (Tag) e IQAR, com medianas mais elevadas e menor variabilidade em alguns casos. Os compostos nitrogenados (NT, NTK, NIT) apresentaram menor concentração média, mas maior dispersão, sugerindo influência de fontes pontuais ou processos internos do ecossistema. Esses resultados reforçam a importância de considerar a sazonalidade como fator determinante na dinâmica da qualidade da água, sendo essencial para o planejamento de ações de monitoramento e gestão ambiental do reservatório.

A análise estatística sazonal por meio do Teste U de Mann-Whitney evidenciou diferenças significativas entre os períodos de chuva e seca para variáveis abióticas selecionadas, reforçando a influência da sazonalidade sobre a qualidade da água no reservatório. Como os dados não apresentaram distribuição normal, o teste não paramétrico foi adequado e revelou que as variáveis Temperatura da água (Tag), Turbidez (Tur), Transparência de Secchi (Tsecc), Precipitação (Prec) e Temperatura do Ar (Tar) apresentaram valores de $p < 0,05$, indicando diferenças estatisticamente significativas entre os dois períodos. Os coeficientes de correlação rank bisserial reforçaram a magnitude dessas diferenças, com destaque para a Tag e Tar, sugerindo forte variação térmica entre as estações. Esses resultados confirmam que a sazonalidade exerce papel determinante na dinâmica dos parâmetros abióticos, sendo essencial considerá-la em estratégias de monitoramento e gestão ambiental.

A análise de tendências sazonais por meio do teste de Mann-Kendall permitiu identificar padrões distintos entre os períodos de seca e chuva, evidenciando a influência da sazonalidade sobre a dinâmica das variáveis abióticas no reservatório. Variáveis como **Condutividade Elétrica (CE)** e **Nitrogênio Total (NT)** apresentaram tendência crescente significativa em ambos os períodos, indicando um aumento consistente ao longo do tempo, independentemente da estação. Por outro lado, o **Fósforo Total (FT)** e a **Turbidez (Tur)** mostraram tendência decrescente significativa tanto na seca quanto na chuva, sugerindo uma redução contínua desses parâmetros. Algumas variáveis apresentaram tendências sazonais específicas, como o **Oxigênio Dissolvido (OD)** e o **Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)**, com tendência crescente apenas no período chuvoso, enquanto o **Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR)** apresentou tendência decrescente em ambas as estações.

A **Precipitação Acumulada** mostrou tendência decrescente no período chuvoso, que é o mais importante, sem confirmação na série histórica completa, o que sugere uma possível oscilação sazonal não consolidada, contexto em que a **Precipitação** mostrou tendência decrescente que deve ser monitorada. Já variáveis como Temperatura da água (Tag), Clorofila-a (Ca), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Transparência de Secchi (Tsecc) e Temperatura do Ar (Tar) não apresentaram tendências estatisticamente significativas, indicando estabilidade temporal ao longo da série. Novamente, esses resultados reforçam a importância de considerar a sazonalidade na interpretação das tendências ambientais, contribuindo para uma gestão mais precisa e adaptada às variações naturais do ecossistema.

De modo geral, os resultados obtidos ao longo deste estudo permitiram uma compreensão consistente sobre a tendência e a sazonalidade das variáveis climáticas de maior interesse e da qualidade da água no reservatório da UHE São Domingos entre 2015 e 2024, que proporcionam interligar os objetivos propostos e os achados alcançados. Os resultados obtidos reforçam a importância do monitoramento contínuo e da análise integrada dos dados ambientais. No entanto, recomenda-se a realização de novos estudos que incorporem variáveis adicionais, como a velocidade do vento, evaporação, UR% e outras variáveis do ciclo hidrológico, como a vazão e nível do reservatório, esta última diretamente influenciada pelo regime operativo da usina hidrelétrica. A inclusão desses fatores pode ampliar a compreensão sobre os

processos hidrodinâmicos e suas interações com a qualidade da água, contribuindo para uma gestão ainda mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

7.2. A importância do monitoramento da qualidade da água

A análise da série histórica de dez anos (2015–2024) do reservatório da UHE São Domingos permitiu identificar padrões consistentes de tendência e sazonalidade nas variáveis climáticas e de qualidade da água, oferecendo subsídios concretos para a gestão ambiental da hidrelétrica e dos recursos hídricos da região.

Os resultados do teste de Mann-Kendall revelaram tendências temporais estatisticamente significativas em múltiplos parâmetros, o que permite caracterizar com clareza a direção das mudanças em curso. Do lado positivo, observou-se redução consistente no Fósforo Total, na Turbidez e no escore do IQAR ao longo do período, indicando melhoria gradual na qualidade da água em termos de carga de nutrientes e clareza do corpo hídrico. Essa trajetória sugere possível controle das fontes externas de aporte de fósforo e redução da entrada de sólidos em suspensão, o que pode refletir práticas de manejo mais adequadas na bacia hidrográfica ao longo dos anos.

Em contrapartida, registrou-se tendência crescente na Condutividade Elétrica, no Nitrogênio Kjeldahl Total e no Nitrogênio Total, indicando aumento na concentração de íons dissolvidos e de compostos nitrogenados no reservatório ao longo da década. O aumento do Oxigênio Dissolvido, embora também crescente, é um sinal positivo, pois reflete melhoria nas condições de oxigenação da coluna d'água. A Precipitação Acumulada apresentou inclinação decrescente no período chuvoso, o que, se confirmado em séries mais longas, pode indicar mudança no regime hídrico regional com implicações diretas para o volume armazenado e a qualidade da água do reservatório.

Para a operação da UHE São Domingos, esses resultados têm implicações diretas. O aumento consistente da Condutividade Elétrica e das formas nitrogenadas ao longo do tempo pode indicar incremento progressivo de cargas difusas provenientes do uso do solo na bacia de contribuição, como atividades agropecuárias. Caso essa tendência persista, há risco de comprometimento futuro da qualidade da água captada e de favorecimento de florações de algas e cianobactérias, organismos competitivos em ambientes ricos em nutrientes, o que pode impactar não apenas a biodiversidade aquática, mas também os equipamentos e a operação da usina. A

tendência de redução da precipitação no período chuvoso, ainda que sem confirmação estatística plena, merece atenção, pois afeta diretamente a capacidade de geração e o volume armazenado no reservatório.

A sazonalidade identificada — com maior turbidez, menor transparência e maior variabilidade nos parâmetros durante o período chuvoso, em contraste com condições mais estáveis e melhor oxigenação na seca — reforça que o planejamento operacional da usina deve considerar as janelas sazonais de maior vulnerabilidade da qualidade da água, ajustando estratégias de captação, monitoramento e comunicação de risco de acordo com o calendário hidrológico regional.

O monitoramento contínuo deve ser mantido e ampliado, com inclusão de variáveis ainda não contempladas na série atual, como velocidade e direção do vento, evaporação, umidade relativa do ar, vazão afluente e nível operacional do reservatório. Essas variáveis são recomendadas para compreender a hidrodinâmica interna do corpo hídrico e sua resposta às variações climáticas e operacionais.

Recomenda-se o aprofundamento das investigações sobre as fontes do aumento de nitrogênio e condutividade elétrica observado na série temporal. A identificação das origens — se pontuais ou difusas, se relacionadas ao uso do solo, ao manejo da vegetação ripária ou a efluentes — é condição essencial para o estabelecimento de medidas corretivas eficazes.

E por fim, dado que a Campanha 19 (maio de 2020) apresentou valores atípicos simultâneos em múltiplos parâmetros, sugere-se a implementação de protocolos de investigação emergencial sempre que ocorrerem eventos climáticos extremos, como chuvas de alta magnitude precedidas por períodos secos prolongados, situações que favorecem o pulso de nutrientes para o reservatório.

Os resultados deste estudo evidenciam que o monitoramento sistemático e de longo prazo é indispensável para a gestão sustentável de reservatórios associados a usinas hidrelétricas. Apenas por meio de séries temporais consistentes é possível distinguir variações naturais de tendências induzidas por pressões antrópicas, identificar os parâmetros mais sensíveis às mudanças climáticas e orientar decisões de gestão com base em evidências. A base de dados construída ao longo de uma década neste estudo constitui, por si só, um ativo estratégico para a empresa geradora e para os órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento e fiscalização da usina,

representando um instrumento concreto de suporte à tomada de decisão e à antecipação de cenários de risco ambiental.

7.3. Limitações do Estudo e Perspectivas Futuras

O presente estudo foi desenvolvido no âmbito de um Programa de Mestrado Profissional, modalidade que se distingue do mestrado acadêmico tradicional por sua orientação voltada à aplicação prática do conhecimento científico na resolução de problemas reais, à qualificação técnica avançada e ao fortalecimento da interface entre a ciência e os setores produtivos. Nesse sentido, as escolhas metodológicas adotadas refletem não apenas critérios acadêmicos, mas também as condicionantes operacionais e institucionais inerentes ao exercício profissional, o que confere ao estudo uma dimensão aplicada e relevância direta para a gestão ambiental da usina hidrelétrica investigada.

Uma das delimitações do trabalho diz respeito ao escopo espacial da análise. O programa de monitoramento ambiental da UHE São Domingos abrange dez pontos amostrais distribuídos ao longo do reservatório, a montante e a jusante da barragem, o que representa uma rede de dados de considerável abrangência espacial. No entanto, por razões de disponibilidade de tempo e de prazo para conclusão do trabalho, optou-se pela análise do ponto amostral superficial do reservatório, escolhido por ser o de maior representatividade hidrológica, maior profundidade e maior continuidade histórica de monitoramento. A incorporação dos demais pontos amostrais em estudos futuros representará um avanço significativo, permitindo análises espacialmente distribuídas, identificação de gradientes longitudinais de qualidade da água e avaliação dos impactos do barramento tanto a montante quanto a jusante da estrutura.

É importante reconhecer, ainda, que este trabalho foi conduzido por profissionais em formação científica continuada, cujo perfil se caracteriza pelo exercício técnico qualificado e pela busca permanente do aprimoramento profissional com base em evidências. Embora a trajetória dos autores seja predominantemente prática, o desenvolvimento desta pesquisa representou um exercício deliberado de aproximação ao rigor metodológico científico, contribuindo para a construção de uma aptidão investigativa que fortalece tanto a prática profissional quanto a produção de conhecimento aplicado. Nesse contexto, eventuais limitações na profundidade de

algumas análises devem ser compreendidas como parte natural do processo de formação e não como impeditivos para a validade e a relevância dos resultados obtidos.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros ampliem a análise temporal e espacial aqui iniciada, incorporando variáveis ainda não contempladas nesta série histórica, como velocidade do vento, evaporação, umidade relativa, nível operacional do reservatório e vazão afluente. A realização de análises multivariadas integrando todos os pontos de monitoramento, aliada ao uso de modelos preditivos de qualidade da água, poderá aprofundar significativamente a compreensão da dinâmica ambiental do reservatório e subsidiar com ainda maior precisão as decisões de gestão da usina e das autoridades ambientais competentes.

8. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: schweizerbart.de. Acesso em: 13 abr. 2026.
- ALVES, F. InfoMoney. **InfoMoney**, 29 jan. 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/onde-investir/fundos-com-teses-especificas-voltadas-a-sustentabilidade-ganham-espaco-no-brasil-vale-a-pena-investir/>. Acesso em: 16 Abr. 2023.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Região Hidrográfica do Paraná. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-parana>. Acesso em: 12 Jun. 2025.
- ANA. **Relatório Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Brasília, p. 164. 2015. (ISBN: 978-85-8210-027-1).
- ANA, A. N. D. Á. Agência Nacional de Águas. **Diagnóstico de recursos hídricos**, 2004. Disponível em: www.ana.gov.br.
- ANDERSON, E. P. et al. Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. **Science Advances**, Washington, DC, 4, n. 1, 31 Jan. 2018. 1-7. Disponível em: sciencemag.org. Acesso em: 2026 Abr. 04.
- ANEEL. Consulta ao cadastro de empreendimentos da ANEEL com os respectivos CEG. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL SIGA**, Brasília, abril 2023. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/scg/Consulta_Empreendimento.asp. Acesso em: 04 out. 2023.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. Washington DC (USA). 2005.
- ARAÚJO, C. S. P. D.; SILVA, J. R. I.; ALMEIDA, C. D. G. C. D. Total precipitation and air temperature data obtained from ERA5-Land reanalysis: validation and accuracy. **Revista Caatinga - UFRSA**, Mossoró, 05 Fev. 2025. 11. Disponível em: <https://revistacaatinga.com.br/caatinga/article/view/12578/12193>. Acesso em: 10 Jun. 2025.
- AZEVEDO, A. C. G. D.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil, 26 Nov. 2008. 8. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/TTyt8pcwnkRmYpMpMjWbM6t/abstract/?lang=pt>.
- BARBOSA, J. J.; PEREIRA, T. M.; OLIVEIRA, F. L. P. D. Uma proposta para identificação de outliers multivariados. **Ciência e Natura**, Santa Maria, 16 Mai. 2018. 8. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/231199633.pdf>. Acesso em: 01 Jun. 2025.
- BICUDO, C. E. D. M.; BICUDO, R. M. T. **Algas de águas continentais brasileiras**. São Paulo: Fundação brasileira para o desenvolvimento do ensino de ciência, 1970.
- BOEHM, S.; SCHUMER, C. 10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023. **WRI Brasil - World Resources Institute**, Porto Alegre, 24 Mar.

2023. 1. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>>. Acesso em: 09 Jun. 2025.

BRASIL. Constituição (1988). **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988**, Brasília - DF, 05 Out. 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 10 Abr. 2023.

BRASIL. LEI Nº 9.433 Política Nacional de Recursos Hídricos. **Poder Executivo Federal**, Brasília, 08 janeiro 1997. Acesso em: 10 Abr. 2023. 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.

BRASIL. Lei nº 9.984 Dispõe sobre a Criação da ANA. **Poder Executivo Federal**, Brasília, 17 julho 2000. Acesso em: 10 Abr. 2023. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do (Singreh) responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos se.

BRASIL. Portaria nº 2914 Institui a Potabilidade da água para consumo humano. **Ministério da Saúde**, Brasília, 12 Dez. 2011. 39-46. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRENTANO, D. M. A relação dos fatores abióticos e da densidade de *cylindrospermopsis raciborskii* (cyanophyceae) na concentração de cianotoxinas e estruturação da comunidade zooplânctônica em uma lagoa costeira subtropical. **Tese (Doutorado)**, Florianópolis, 2016. 132.

CARVALHO, F. D. O. et al. Sistemas inteligentes (redes neurais) e estatística multivariada (pca) aplicados a qualidade da água. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande MS, 22 a 26 Nov. 2009. 18. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/26d857c8eb0ad58d7e3a15b1acb0a201_5461b56856ab40257945094abc4b5478.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2023. Carvalho, Frede de Oliveira; Silva, Valdinete Lin da; Garcia, Helenice Leite; Coelho, Filipe Alves; Wanderley, Henderson Silva.

CAVALCANTI, I. F. D. A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina dos textos, 2009.

CETESB. Fitoplâncton de água doce: Métodos qualitativo e quantitativo. **NORMA TÉCNICA L5.303, 4ª Edição, Outubro 2012**, São Paulo, Out. 2012. 24. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes/>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

CETESB. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2021. **Série de Relatórios ISSN: 4103**, São Paulo, Apêndice E - Índices de Qualidade das Águas p15, 2021. 287. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>>. Acesso em: 10 Abr. 2023.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, p. 58-63. 2005. (053). 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.

COPERNICUS, S. D. M. C. Dados horários do ERA5 em níveis únicos de 1940 até o presente. **Serviço de Mudanças Climáticas Copernicus (C3S)**, 2018. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>>. Acesso em: 01 Jun. 2025.

COUTO, T. B. A.; OLDEN, J. D. Global proliferation of small hydropower plants – science and policy. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 16, n. 2, mar 2018. 91-100. Disponível em: <www.frontiersinecology.org>. Acesso em: 04 Abr. 2026.

CRIONI, P. L. B.; TERAMOTO, E. H.; KIANG, C. H. Monitoramento de clorofila-a em reservatório da região metropolitana de São Paulo: Aplicação de Modelos com Imagens Sentinel-2. **Geo Ambiente On-Line - Universidade Federal de Jataí Revista Eletrônica do Curso de Geografia**, Jataí, Dez. 2023. 29. Disponível em: <<https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/download/76164/40028/371815>>. Acesso em: 10 Jun. 2025.

DEBASTIANI JÚNIOR, J. R. et al. Ambientes fluviais laterais na bacia do Rio da Prata: efeitos dos barramentos de hidrelétricas e da eutrofização. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 28, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/alb/a/txDZHvpvyY6XG3tz3HmvLWb/?lang=en>>.

DOMINGUES, M. S. Q.; BAPTISTA, A. L. F.; DIOGO, M. T. Engineering complex systems applied to risk management in the mining industry. **International journal of mining science and technology**, 27, n. 4, 2017. p 611-616. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617303452>>. Acesso em: 2023 Abr. 2021.

DUQUE-ESTRADA, C. H. E.; CESAR, D. E.; ROLAND, F. Perfil vertical da condutividade elétrica em dois reservatórios do sistema furnas. **Trabalho apresentado no XI Seminário de Iniciação Científica, Juiz de Fora – MG, 2004**, Juiz de Fora, 2004. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/projetofurnas/doc/TrabalhosUFJF/PerfilVerticalDaCondutividade.pdf>>.

ELETROBRAS. **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial - UHE São Domingos**. Eletrobras CGT Eletrosul SA. Água Clara MS, p. 194. 2013. Disponível site IMASUL.

ELETROBRAS. **Revisão de Métodos e Técnicas e Relatórios de Monitoramento da Qualidade da Água da UHE São Domingos (MS)**. ELETROBRAS CGT ELETROSUL Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil. Água Clara MS, p. 59. 2020.

ELETROBRAS. Destaques: Hidrelétrica São Domingos: 10 anos. **Eletrobras CGT Eletrosul**, 2023. Disponível em: <<https://www.cgteletrosul.com.br/destaque/hidreletrica-sao-domingos-10-anos>>. Acesso em: 22 Jun. 2025.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Empresa de Pesquisa Energética - EPE**, 29 julho 2025. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 29 Mai. 2025.

ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

- FERNANDES, A. et al. O uso do teste de Mann-Kendall para detecção de tendências de precipitação em região semiárida de Pernambuco. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, 11, 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33925>>. Acesso em: 01 Jun. 2025. ISS 2525-3409.
- FIGUEIREDO, A. D. V.; BECKER, V. Influência de eventos hidrológicos extremos na qualidade da água de reservatórios na região tropical semiárida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, 23, 2018.
- FONSECA, M. Primeira hidrelétrica do país foi construída em Minas há mais de 100 anos. **Jornal o Estado de Minas**, Belo Horizonte, 18 Mai. 2013. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/05/18/interna_gerais,389704/primeira-hidreletrica-do-pais-foi-construida-em-minas-ha-mais-de-100-anos.shtml>. Acesso em: 10 Abr. 2023.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas S.A, v. único, 2010.
- GUIMARÃES, Y. D. N. et al. Ciclo do nitrogênio em ambientes dulcícolas e as interferências antrópicas. **Malque Publishing**, 11 jul. 2020. 9. Disponível em: <<https://malque.pub/ojs/index.php/mr/article/view/56/56>>. Acesso em: 10 Jun. 2025.
- HAIR JUNIOR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HERMES, L. C. et al. Considerações Gerais à Classificação e Monitoração de Qualidade da Água. In: (ALICE), E. M. A.-C. E. L. T.-C. **Índice do uso sustentável da água (ISA-ÁGUA) - Região do Submédio São Francisco**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, v. 1, 2006. Cap. 1º Capítulo, p. 17-41. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/14946/indice-do-uso-sustentavel-da-agua-isa-agua---regiao-do-sub-medio-sao-francisco>>. Acesso em: 10 Jun. 2025.
- HUSZAR, V. L. M. et al. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. **Hydrobiologia**, 424, 2000. 67-77.
- IAP, I. A. D. P.-. **Relatório de Monitoramento da Qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná, 2005 a 2008**. Instituto Ambiental do Paraná - IAP. Curitiba-PR. 2009.
- IMASUL. **Caracterização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Verde**. IMASUL - Instituto do Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, p. 4. 2021.
- JACHIMOWSKI, A. FACTORS AFFECTING WATER QUALITY IN A WATER SUPPLY NETWORK. **Journal of Ecological Engineering**, 8, Jul. 2017. 110-117. Acesso em: 10 Abr. 2023.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. **Applied multivariate statistical analysis**. 6. ed. Nova Jersey: Printice-Hall, v. 1, 2007. 800 p.
- JUNIOR, E. P. D. S.; BLAIN, G. C.; XAVIER, A. C. F. Avaliação dos Dados de Reanálise do Climatic Research Unit (CRU) e do 5th Generation of European Reanalysis (ERA5) no Monitoramento Probabilístico Padronizado da Seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, 37, 21 jul 2022. 243-260. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/YJhDWbj9BS3XQkRPfhk9Fcx/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 11 Jun. 2025.

- KENDALL, M. G. A new measure of rank correlation. **Biometrika**, 1938. 81-93. Disponível em: <doi.org>. Acesso em: 12 Abr. 2026.
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. Londres: Charles Griffin, 1975. Acesso em: 12 Abr. 2026.
- KOMÁREK, J.; FOTT, B. Chlorophyceae - Chlorococcales. Stuttgart: Das Phytoplankton des Süßwassers: Systematic und Biologie E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), 1983.
- KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. Jena: Gustav Fisher Verlag. **Süßwasserflora von Mitteleuropa**, 1986, 1988, 1991.
- KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. D. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil, Brasília, 22, n. 3, Dez. 2005. 651-665. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8663/4852>>.
- LUCAS, E. W. M. Impactos das mudanças climáticas sobre os regimes de chuva e vazão na bacia do rio Xingu. **Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande**, Campina Grande, 23 Fevereiro 2022. 153. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/25134>>. Acesso em: 21 Jun. 2025.
- LUIZ-SILVA, W. et al. An overview of precipitation climatology in Brazil: space-time variability of frequency and intensity associated with atmospheric systems. **Hydrological Sciences Journal**, 66, n. 2, 13 Jan. 2021. 289-308. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2020.1863969>>.
- LUND, J. W. G.; KIPLING, C. L. E. D. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. **Hydrobiologia**, p. 143-170, 1958.
- MAAVARA, T. et al. River dam impacts on biogeochemical cycling. **Nature Reviews Earth & Environment**, Londres, 1, 03 Fev 2020. 1-14. Acesso em: 04 Abr. 2026.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, 13, 1945. 245-259. Disponível em: <jstor.org>. Acesso em: 12 Abr. 2026.
- MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **Annals of Mathematical Statistics**, 18, 1947. 50-60. Disponível em: <doi.org>. Acesso em: 12 Abr. 2026.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R. Sazonalidade e Distribuição Espaço-Temporal das Chuvas no Bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, 17, n. 1, 01 jan. 2012. 77-86. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/613/1/art_sazonal_marcuzzo.pdf>. Acesso em: 09 Jun. 2025.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia - Noções básicas e climas do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2007.
- MENEZES, J. P. C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana, 2016. 519-534.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297 p.

MISCHKE, U. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. **Acta Oecologica**, 24, 2003. S11-S23. Acesso em: 10 Abr. 2023. MISCHKE, U. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecologica*, v.24, p.511-523. 2003.

MUNIZ, C. M. **Composição funcional em reservatório: seleção de traços de assembleia de peixes com o envelhecimento**. Maringá, p. 63. 2017.

NISHIMURA, P. Y.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M. O estudo fitoplâncton com base nos grupos funcionais: origens e um vislumbre sobre seu futuro. In: POMPÊO, M.; OUTROS, E. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 120-131. Disponível em: <https://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Cap._9_Grupos_funcionais.pdf>.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Workshop “Modelos e Cenários para Amazônia Brasileira: O Papel da Ciência”**, Brasília-DF, 19 abr. 2001. 6. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/impactos_ecossistemas_cnobre.pdf>. Acesso em: 09 Jun. 2025. Artigo em Workshop.

OGASAWARA, M. E. K. Modelagem de efeitos das mudanças climáticas sobre o deflúvio e a qualidade de água em bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. **Dissertação (Mestrado)**, Piracicaba, 2020. 95. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-26112020-161132/publico/Matheus_Eijii_Kinchoku_Ogasawara_versao_revisada.pdf>. Acesso em: 10 Abr. 2023.

ONU-BR. NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL AGENDA 2030**, 24 Out. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>.

PASSERINI, M. D. Influência das frentes frias nos mecanismos de funcionamento da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) - Itirapina - SP, dos pontos de vista químico, físico e biológico, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1980>>.

PIRES, D. P. L.; AFONSO, J. C.; CHAVES, F. A. B. Do Termoscópio ao Termômetro Digital: Quatro séculos de termometria. **Química Nova**, São Paulo, 29, n. 6, 14 Jun. 2006. 1393-1400. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/jRxkCYG7MRtXyzWTyRkcbKj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 2025 Jun. 01.

PRAÇA, F. S. G. Metodologia da Pesquisa Científica: Organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. **Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos**, São Paulo, 01 Jun. 2015. 72-87. Disponível em: <https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170627112856.pdf>. Acesso em: 09 Jun. 2025.

R CORE TEAM. A Language and environment for statistical computing. (Version 4.4). **R Core Team**, 07 Ago. 2024. Disponível em: <<https://cran.r-project.org>>.

REVISTA CIRRUS. Pluviometria: Aspectos Históricos e Técnicos. **Revista Cirrus - UNEMET - Brasil - Ano IV - Número 12**, Maceió-Alagoas-Brasil, Janeiro-Abril 2008. 53-56. Disponível em: <<http://www.unemet.org.br/cirrus/edicoes/por/ed12/>>. Acesso em: 01 jun. 2025.

REYNOLDS, C. S. **Ecology of Phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

RODRIGUES, S. A. Associação entre variáveis climáticas e qualidade da água para consumo humano por meio de técnicas multivariadas. **Tese (Doutorado)**, Botucatu, 2015. 118. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/126619>>. Acesso em: 10 Abr. 2023.

RODRIGUES, S. A. et al. Canonical analysis of climatic factors associated with the quality characteristics of drinking water of a city in São Paulo State. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, 14, n. 1, 2019. 11. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/rTd4yCMcGGCkH4FF9htCJTj/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 10 Abr. 2023.

RODRIGUES, S. A.; OLIVEIRA, P. A.; PADOVANI, C. R. Indicadores para avaliação de variáveis climáticas e de qualidade da água na rede de distribuição de um município paulista. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (PR), 14, 17 junho 2020. 417-428. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/7699/6583>>. Acesso em: 10 Abr. 2023.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, 52, 1965. 591-611. Disponível em: <oup.com>. Acesso em: 12 Abr. 2026.

SIEGEL, S.; CASTELLAN-JR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2ª Edição. ed. São Paulo: Artmed/Bookman, v. I, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=eHejDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=metodo+estat%C3%ADstico+n%C3%A3o+param%C3%A9trico&ots=h-oZwGhb7s&sig=_uGolHas027LDu6XKAd9nMVXhJ4#v=onepage&q=metodo%20estat%C3%ADstico%20n%C3%A3o%20param%C3%A9trico&f=false>. Acesso em: 14 Jul. 2025.

SILVA, T. J. M. et al. Respostas da qualidade da água e fitoplânctons à redução de vazão e recepção de cargas de sedimentos no reservatório de Xingó/AL. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 17, 2020. Disponível em: <<https://revistas.abrhidro.org.br/article.php?Article=5367>>.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 63 p.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 11, p. 1331–1346, 2003.

TUNDISI, J. G. et al. The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables. **Brazilian Journal of Biology**, Fev 2004. 177-186. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bjb/a/KNFKYNGwXzPNsJrDBQcwpLh/?lang=en#>>. Acesso em: 05 Abr. 2023.

TUNDISI, J. G.; MARSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2008.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina dos textos, 2008. 632 p.

UHELINGER, V. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. **Archives des Sciences**, p. 121-123, 1964.

ULIANA, E. M. Melhoria da acurácia dos dados de temperatura do ar da reanálise ERA5 utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, 16 Fev. 2025. 2262-2277. Acesso em: 21 Jun. 2025.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. **Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 9, n. 1, p. 1–38, 1958.

JAMOVI V. 2.4. The Jamovi project (2024) Jamovi Stats Open Now (Versão 2.4). **Programa de Computador**, 2024. Disponível em: <www.jamovi.org>. Acesso em: 01 Jun. 2025.

VAN DEN HOEK, C.; MANN, D. G.; JAHNS, H. M. Algae - An introduction to phycology. **Cambridge University Press**, 1997. 627. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=149&Itemid=437>. Acesso em: 10 Abr. 2023. In: Portal de Ecologia Aquática, IB - USP.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da Região Metropolitana de Fortaleza/CE. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 10, 2014. 298-312. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58695/1/2014_art_tfvidal.pdf>.

WETZEL, R. G. **Wetzel's Limnology**. 4º. ed. [S.l.]: Academic Press, 2023. ISBN: 9780128227015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=43OyEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>.

WWF. WWF. **Brasil perde 15% de superfície de água desde os anos 1990**, 23 agosto 2021. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?79608/brasil-perde-15-porcento-de-superficie-de-agua-desde-o-comeco-dos-anos>>.

WWF. **Living Planet Report 2024: A System in Peril**. WWF International. Gland, Suíça. 2024.

WWF-BRASIL. Pantanal poderá ter crise hídrica histórica em 2024. **WWF-Brasil**, Brasília, 03 julho 2024. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?89100/Pantanal-podera-ter-crise-hidrica-historica-em-2024#:~:text=Na%20Bacia%20do%20Alto%20Rio,seca%2C%20entre%20maio%20e%20setembro>>. Acesso em: 01 Jun. 2025.

ZAIONTZ, C. Real Statistics Using Excel. **Real Statistics**, 2025. Disponível em: <<https://real-statistics.com/time-series-analysis/time-series-miscellaneous/mann-kendall-test/>>. Acesso em: 01 Jun. 2025.

ZARFL, C. et al. Future large hydropower dams impact global freshwater megafauna. **Scientific Reports**, Londres, 9, n. 18531, dez 2019. 1-10. Disponível em: <www.nature.com/scientificreports>. Acesso em: 04 Abr. 2026.

9. PRODUTO DESENVOLVIDO – PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO

Esta seção apresenta os produtos desenvolvidos, incluindo resumos de artigos que foi (foram) submetido(s) e revistas científicas, preferencialmente na área de geociências e de Produtos Técnico e Tecnológicos (PTTs). Os trabalhos completos podem ser inseridos na forma de anexo ou, no caso do PTT, pode ser publicado em documento separado em forma de relatório.

9.1. Tipo do Produto:

Material Didático (Folheto impresso em gráfica tipo 4A com 3 dobras, impresso frente e verso).

9.2. Título do Projeto:

Educação Ambiental: Histórico do Regime de Chuvas na Região da UHSD.

Environmental Education: History of Rainfall in the UHSD Region

9.3. Objetivo:

Desenvolver folhetos didáticos com linguagem acessível e visual atrativo, voltados à divulgação do histórico do regime de chuvas da região onde está localizado a UHSD. O material será utilizado para fins educativos, informativos e de sensibilização ambiental junto à comunidade local, escolas e com o Empreendedor.

9.4. Descrição do Produto:

O produto consiste em folhetos impressos e digitais, com conteúdo técnico simplificado, gráficos ilustrativos e mapas sobre o regime de chuvas na região e a influência sobre os recursos hídricos, incluindo links de canais de notícias ambientais como Reporter Eco:

Folheto 1: Introdução ao ciclo hidrológico, conceitos básicos sobre precipitação e importância do monitoramento climático;

Folheto 2: Análise histórica do regime de chuvas da região do empreendimento, com base em dados meteorológicos, tendências observadas, variações sazonais e possíveis impactos ambientais;

Público-Alvo: Comunidade local, estudantes e Professores do ensino público da escola da Vila São Domingos e demais interessados em educação ambiental e funcionários do empreendedor;

Justificativa: A compreensão do comportamento climático local é essencial para promover a conscientização ambiental e fortalecer o diálogo entre o empreendimento e a comunidade. Os folhetos contribuirão para a transparência das informações ambientais e para o fortalecimento da educação ambiental.

9.5. Resultados Esperados:

- Aumento da compreensão pública sobre o regime de chuvas local;
- Apoio a ações de educação ambiental sobre o regime de chuvas da região;
- Fortalecimento da exposição ao risco climático;
- Aumento da compreensão de danos ligados a eventos extremos;

9.6. Apresentação do PTT versão final

Tendências observadas

- Aumento de eventos extremos (chuvas intensas ou longos períodos secos);
- Mudanças nos padrões sazonais;
- Impactos sobre a agricultura, abastecimento de água e biodiversidade.

Impactos ambientais


Erosão do solo


Riscos de enchentes e deslizamentos


Redução da carga dos aquíferos


Alteração dos ecossistemas locais

Como podemos mitigar os impactos?


Preservar nascentes e mata ciliares


Usar a água de forma eficiente


Participar de ações comunitárias e educativas

Instituto Federal de Santa Catarina

IFSC

Esse informativo foi produzido pelo Programa de Comunicação Social



Conhecimento Qualidade de Vida

REGIME DE CHUVAS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Neste guia

- Mudanças climáticas
- Impactos ambientais e formas de mitigação
- Problemas causados pela alteração do padrão das chuvas nas áreas rurais



Fale Conosco

Para mais informações, entre em contato com o *WhatsApp*

 (XX) XXXX-XXXX

Horário de atendimento: segunda a sexta - 09h às 17h



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

Olá!

Este material gráfico foi elaborado para trazer informações sobre o monitoramento do clima na região e as tendências observadas ao longo dos últimos anos. Através da coleta e da análise de dados sobre temperatura, umidade, incidência de chuvas, por exemplo, é possível **entender** e **prever** as condições atmosféricas. Esses dados podem ser utilizados em diversos setores, incluindo agricultura, defesa civil e planejamento urbano e ajudam a prever secas e enchentes; planejar o uso da água; proteger o meio ambiente e a agricultura; informar políticas públicas e ações comunitárias.

Como chove na nossa região?

Com base em dados históricos:

-  A estação chuvosa ocorre entre outubro e março;
-  A estação seca vai de abril a setembro;
-  Há variações de ano para ano, influenciadas por fenômenos naturais e mudanças climáticas.

Ferramentas de monitoramento

- Estações meteorológicas
- Satélites
- Pluviômetros comuns
- Aplicativos previsão do tempo online

Problemas em áreas rurais relacionados à eventos extremos

Infraestrutura de saúde

- Falta de atendimento médico de urgência e emergência;
- Dificuldade de deslocamento de ambulâncias;
- Falta de medicamentos e insumos em postos de saúde locais.

Transporte e acessibilidade

- Bloqueio de estradas vicinais por alagamentos, lama ou deslizamentos;
- Pontes danificadas ou destruídas;
- Isolamento de comunidades inteiras por dias ou semanas.

Energia e comunicação

- Queda de energia elétrica por rompimento de cabos ou queda de postes;
- Interrupção de sinal de celular e internet;
- Falta de comunicação com órgãos de defesa civil e familiares.

Abastecimento de Água e Saneamento

- Contaminação de fontes de água por enxurradas;
- Falta de água potável em períodos de seca;
- Danos em sistemas de abastecimento e fossas sépticas.

Agricultura e Sustento

- Perda de safras por excesso ou falta de chuva;
- Morte de animais por falta de alimento ou água;
- Dificuldade de escoamento da produção agrícola.

Habitação e Segurança

- Inundações em casas de taipa ou alvenaria simples;
- Desabamento de moradias em áreas de risco;
- Falta de abrigos temporários adequados.

Aspectos Sociais e Psicológicos

- Estresse e ansiedade causados pelo isolamento e perdas;
- Falta de informação clara e acessível sobre riscos e prevenção;
- Dificuldade de acesso a programas de apoio e assistência.

Como agir em situações de emergência?

-  Mantenha sempre um **kit de emergência** com água, alimentos não perecíveis, lanterna, pilhas, documentos e medicamentos.
-  Em caso de **chuvas intensas**, evite áreas de risco como encostas e margens de rios.
-  Se estiver em local de risco, **siga as orientações da Defesa Civil** e evacue o local com segurança.
-  Informe-se com antecedência sobre os **Planos de Contingência** do seu município (disponíveis no S2ID).

9.7. Apresentação do artigo submetido



Revista Brasileira
de Climatologia

Brazilian Journal of Climatology

OPEN  ACCESS



DOI: 10.5380/abclima

ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UM RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

*Statistical analysis of climatic variables and water quality in a
hydroelectric reservoir in the state of Mato Grosso do Sul*

Autor 1 (Calibri 12) – PREENCHER APÓS A APROVAÇÃO DO ARTIGO

Programa ou Departamento/Faculdade (por extenso), Instituição (por extenso e sigla)

Localização – Cidade, Estado, País

E-mail: Orcid:

Autor 2 (Calibri 12) – PREENCHER APÓS A APROVAÇÃO DO ARTIGO

Programa ou Departamento/Faculdade (por extenso), Instituição (por extenso e sigla)

Localização – Cidade, Estado, País

E-mail: Orcid:

Resumo: A Usina Hidrelétrica São Domingos foi construída em 2012, na confluência dos rios Verde e São Domingos, no estado de Mato Grosso do Sul. O reservatório foi implantado para geração de energia elétrica e opera conforme as regulamentações ambientais, que exigem o monitoramento da qualidade da água. O objetivo deste estudo é compreender como a temperatura e a pluviometria se relacionam com a qualidade da água do reservatório, buscando identificar padrões climáticos e ambientais que possam orientar a gestão do sistema. Os dados utilizados na análise da qualidade da água foram obtidos em 36 campanhas de monitoramento realizadas entre 2015 e 2024, enquanto os dados meteorológicos foram provenientes da reanálise ERA5 referente à área de estudo. Aplicaram-se testes estatísticos não paramétricos para avaliar variações sazonais e tendências temporais, bem como investigar as relações entre as variáveis climáticas e abióticas aquáticas. Resultados indicaram que temperatura da amostra, turbidez, transparência, precipitação e temperatura do ar, diferem estatisticamente entre os períodos chuvoso e seco conforme teste U de Mann—Whitney ($p < 0,05$). Também com tendência estatisticamente significativas na análise temporal da condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio total, turbidez, oxigênio dissolvido e índice de qualidade de água do reservatório, significância estatística no teste de Mann—Kendall ($p < 0,05$). Forte correlação do índice de qualidade da água do reservatório e do fósforo, temperatura da água e do ar, precipitação e turbidez, e ainda transparência e turbidez, turbidez e condutividade elétrica, nitrogênio total Kjeldahl e fósforo total e precipitação e transparência. Portanto, a análise confirma

que a interação entre variáveis climáticas e a qualidade da água é determinante para uma gestão eficiente e sustentável do reservatório, e o reconhecimento dessa relação fortalece o gerenciamento ambiental da qualidade da água dos reservatórios.

Palavras-chave: Variáveis abióticas. Precipitação. Temperatura. Sazonalidade.

Abstract: The São Domingos hydroelectric power plant was constructed in 2012 at the confluence of the Verde and São Domingos rivers in Mato Grosso do Sul. The reservoir was implemented for electricity generation and operates in accordance with environmental regulations, with require continuous water quality monitoring. This study aimed to examined key climatic variables, such as temperature and precipitation, and their associations with water quality to enhance understanding of climate–environment dynamics and support reservoir management. The dataset covers the period from 2015 to 2024 and includes 36 water quality monitoring campaigns, supplemented by ERA5 reanalysis meteorological data for the region. Non-parametric statistical tests, including the Mann–Kendall trend test, Kendall’s Tau correlation coefficient, and Kruskal–Wallis test, were applied to assess seasonal climate variations and their relationships with abiotic aquatic variables. The findings indicate that sample temperature, turbidity, transparency, precipitation, and air temperature differ significantly between wet and dry seasons according to the Mann–Whitney U test ($p < 0.05$). Statistically significant temporal trends were observed for electrical conductivity, total phosphorus, total Kjeldahl nitrogen, total nitrogen, turbidity, dissolved oxygen, and the reservoir’s water quality index, statistical significance in the Mann–Kendall test ($p < 0.05$). Strong correlations were identified between the water quality index and phosphorus, water and air temperature, as well as precipitation and turbidity. Additional strong correlations were found between turbidity and transparency, turbidity and electrical conductivity, total Kjeldahl nitrogen and total phosphorus, and precipitation and transparency. Overall, the analysis demonstrates that the close relationship between climatic variables and water quality is critical for efficient and sustainable reservoir management, and recognizing this relationship strengthens environmental governance and long-term water quality.

Keywords: Abiotic variables. Precipitation. Temperature. Seasonality.

Submetido em: xx/xx/20xx

Aceito para publicação em: xx/xx/20xx

Publicado em: xx/xx/20xx

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.vxxxx>



1. INTRODUÇÃO

A gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos faz-se importante para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, firmada pela Organização das Nações Unidas em 2015 (ONU-BR, 2022), que visam erradicar a pobreza e proteger o meio ambiente. Destacam-se aqueles diretamente vinculados à temática dos recursos hídricos e energéticos: ODS 6 – Água Potável e Saneamento; ODS 7 – Energia Acessível e Limpa; ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura e ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis. Objetivos que reforçam a importância do monitoramento e da gestão eficiente de reservatórios artificiais, especialmente aqueles destinados à geração de energia elétrica.

O contexto hidrelétrico brasileiro remonta à inauguração da primeira hidrelétrica do país, em 1889, no estado de Minas Gerais (Fonseca, 2013), desde então, o setor avançou significativamente, culminando em empreendimentos de grande porte. Destacam-se a Usina Hidrelétrica de Belo Monte - Pará, com potência instalada de 11,2 GW, inteiramente em território nacional, e a Usina de Itaipu - Paraná, sendo binacional, com capacidade de 14 GW, operando comercialmente desde 1982.

Apesar de expressiva capacidade, o país enfrenta desafios crescentes relacionados à disponibilidade e à qualidade de água. De acordo com o monitoramento do MapBiomass (WWF, 2021), nos últimos 30 anos, o Brasil perdeu cerca de 15% da área superficial dos recursos hídricos. No aspecto qualitativo, Menezes *et al.* (2016) apontam que a deterioração da qualidade da água está atribuída ao manejo inadequado do solo, impulsionado por processos de urbanização, industrialização e atividades agropecuárias. Em áreas urbanas, a poluição hídrica é agravada pela presença de metais pesados, efluentes domésticos e industriais, além do excesso de nutrientes.

A atividade agrícola também exerce forte pressão sobre os recursos hídricos, especialmente quando associada aos componentes tóxicos e nutrientes como nitrogênio e fósforo. O cultivo de grãos, a formação de pastagens e a criação intensiva de animais demandam grandes volumes de água e geram resíduos, quando não tratados devidamente, podem carrear elevadas cargas de nutrientes e patógenos para os corpos hídricos (Kunz, Higarashi e Oliveira, 2005). Este cenário torna impreterível o gerenciamento adequado da água na área de influência dos reservatórios artificiais das usinas hidrelétricas.



Os reservatórios artificiais são definidos por Muniz (2017) como sistemas complexos, pois alteram significativamente o regime hidrológico e na dinâmica ecológica da bacia, especialmente dos rios, introduzindo uma nova perspectiva ao ecossistema aquático. Empresas de diversos setores têm investido consideráveis recursos no desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental para mitigar os possíveis impactos e prejuízos ao meio ambiente. Segundo dados do Bank of América, um em cada três dólares aplicados globalmente em fundos de investimento foi destinado a fundos de *Environmental, Social and Governance* (ESG), evidenciando a crescente importância da sustentabilidade e da governança ambiental (Alves, 2022).

Neste contexto, o gerenciamento de recursos hídricos torna-se parte essencial das estratégias corporativas, inclusive no setor de geração de energia elétrica, fornecendo subsídios para tomadas de decisão (Domingues, Baptista e Diogo, 2017). Como defendido por Tundisi *et al.* (2008), o regime de chuva está ligado ao gerenciamento de riscos em reservatórios e que levam a entrada de nutrientes e sedimentos. Durante o período chuvoso, que se estende de outubro a maio na região centro-oeste do Brasil, incluindo o estado do Mato Grosso do Sul (MS), há um aumento significativo do aporte de nutrientes, o que pode favorecer a proliferação de algas e alterar a transparência da água, reduzindo a penetração da radiação solar nas camadas mais profundas.

Para a avaliação ambiental eficaz, Straskraba e Tundisi (2013) indicam que os Estudos de Impacto Ambiental - EIA ao longo do empreendimento deverão contemplar um adequado e contínuo programa de amostragens, conduzido por equipes multidisciplinares com conhecimento e experiência em recursos naturais, aspectos socioeconômicos e da ecologia local, também devem avaliar a interface água-terra, causa-efeitos e não apenas aspectos estruturais. Além disso, também sugerem que é fundamental considerar os elementos da bacia hidrográfica, desde as fases preliminares do planejamento até o monitoramento ao longo da operação dos reservatórios.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) (2025), a Região Hidrográfica do Paraná tem aproximadamente 10% do território brasileiro, ligando sete estados, entre eles o Estado de Mato Grosso do Sul. Trata-se da região hidrográfica mais populosa e economicamente dinâmica do país, concentrando 61,3 milhões de habitantes (ANA, 2015). Essa expressiva densidade populacional e o intenso desenvolvimento econômica se refletem



em uma elevada demanda por recursos hídricos, com destaque para o uso industrial. A região também se sobressai por apresentar maior área irrigada e o maior aproveitamento do potencial hidráulico disponível no Brasil. Entre os principais desafios de gestão enfrentados estão o abastecimento urbano, a qualidade da água e os conflitos de uso dos recursos hídricos.

Neste contexto, destaca-se o reservatório da Usina São Domingos, cuja área de 1.784 hectares e potencial de 48 MW, instalada na confluência de dois rios Verde e São Domingos. A bacia hidrográfica apresenta cobertura agropecuária superior a 70% da sua área (Eletrobras, 2023).

A abordagem metodológica testou a normalidade Shapiro-Wilk, comparação da série histórica e sazonal com tendência de Mann-Kendall, em dados de 36 campanhas de qualidade de água (2015-2024), além de dados climáticos de reanálise ERA5 para precipitação e temperatura do ar na região do reservatório. Por conseguinte, realizou-se teste de significância estatística na sazonalidade com U de Mann—Whitney. Os métodos testados justificam-se devido a heterogeneidade da distribuição dos dados e séries com não normalidades e outliers.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo geral analisar a relação entre variáveis climáticas (temperatura do ar e pluviometria) e a qualidade da água do reservatório São Domingos (MS) em escala sazonal e temporal de 2015-2024, com vistas a subsidiar estratégias de gestão. Especificamente caracterizar a sazonalidade entre período chuvoso e seco das variáveis climáticas e aquáticas. Além disso testar diferenças entre estações para indicadores-chave como: turbidez, transparência, temperatura da água, precipitação, temperatura do ar, por meio do teste de Kruskal–Wallis. Por conseguinte, avaliar tendências temporais (2015–2024) utilizando o teste de Mann–Kendall para variáveis de qualidade da água e climáticas. Evidenciando que a interação entre variáveis climáticas e a qualidade da água é determinante para uma governança eficiente e sustentável do reservatório, e o reconhecimento dessa relação fortalece o gerenciamento ambiental da qualidade da água dos reservatórios.

2. METODOLOGIA

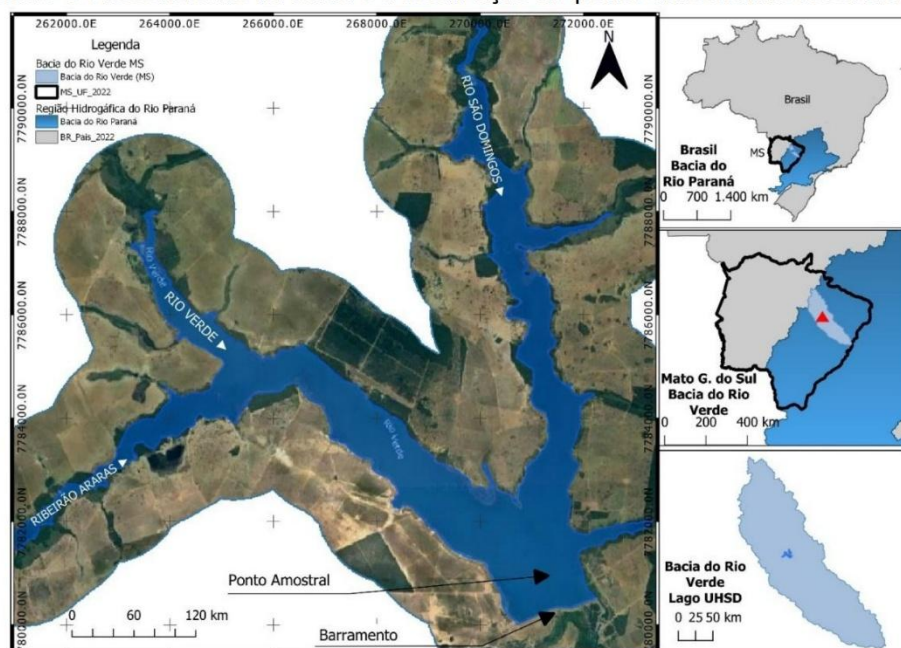
2.1. Área de Estudo

O reservatório da Usina São Domingos, apresenta um volume útil de 131 milhões de metros cúbicos e tempo de residência de aproximadamente 20 dias, situado na região



hidrográfica do rio Verde, oeste da Bacia do Rio Paraná, conforme **Figura 1**. Com área de 1.784,3 hectares e perímetro da área inundada de 76,5 km, localizado entre Água Clara e Ribas do Rio Pardo, no estado de Mato Grosso do Sul (Eletrobras, 2023).

Figura 1 – Localização geográfica na bacia do Paraná no Brasil, da bacia do rio Verde no estado e o reservatório na bacia e a localização do ponto amostral no reservatório.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Segundo Marcuzzo e Melo (2012), o clima da região Centro-Oeste do Brasil é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, com a estação seca ocorrendo no meio do ano devido à atuação do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e de dorsais continentais. A estação chuvosa está associada ao avanço da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o interior do continente, gerando instabilidade atmosférica durante os meses de verão. De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo “Aw” tropical, com estação seca, temperaturas médias mensais sempre superiores a 18° C e precipitação anual entre 1.000 e 1.500 mm, sendo que o mês mais seco registra menos de 40 mm de chuva.

2.2. Base de dados e variáveis analisadas

A pesquisa baseou-se na análise de dados de 36 campanhas conduzidas entre julho de 2015 e dezembro de 2024. A coleta ocorreu em um ponto fixo do reservatório (Figura 1), sendo realizadas 18 campanhas na estação seca e 18 campanhas na estação chuvosa, permitindo avaliação sazonal.



A análise concentrou-se no ponto superficial do reservatório considerado o mais representativo, localizado na região mais profunda do corpo hídrico, na bacia de acumulação formada pela confluência dos rios Verde e São Domingos. A escolha justifica-se por sua relevância hidrodinâmica e pelo histórico consistente de monitoramento, iniciado em 2009, ainda nas fases prévias à implantação da usina, cuja operação comercial ocorreu em julho de 2013 (Eletrobras, 2023).

2.2.1. Dados da qualidade da água

O monitoramento ambiental do empreendimento abrange amplo conjunto de parâmetros, dos quais foram selecionados aqueles apresentados na **Tabela 1**, em função da maior variação observada ao longo da série temporal. As variáveis climáticas consideradas incluem dados de reanálise de precipitação total, temperatura do ar observada, permitindo avaliar correlações entre fatores meteorológicos e a qualidade da água ao longo do tempo.

Tabela 1 – Parâmetros avaliados neste estudo, valores limites permitidos conforme Conama 357 e Limite de quantificação dos ensaios laboratoriais

Parâmetros	Abreviação	Limites Conama Art. 15 - VMP	Limites Mínimos de Quantificação – LQ*
Temperatura da amostra (°C)	Tag		
Clorofila a (µg/L)	Cla	< 30	
Condutividade elétrica (µS/cm)	CE		
Fósforo total (mg/L)	FT	< 0,050	0,02 e 0,008 Obs.:
Nitrogênio inorgânico total (mg/L)	NIT	< 11,0	1,5
Nitrogênio total Kjeldahl (mg/L)	NTK		1,0
Nitrogênio Total (mg/L)	NT	< 11,0	1,5
Turbidez (UNT)	Tur	< 100 UNT	1,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	SDT	< 500	21,0
Transparência (m)	TSec		
Oxigênio dissolvido (mg/L)	OD	> 5	
IQAR Reservatório	IQAR		
Precipitação Observada (mm)	Prec		
Temperatura Observada (°C)	TAr		

Em que: *O LQ para o Fósforo total era 0,02 mg/l até dezembro de 2018, após 0,008 mg/l

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Na **Tabela 1** estão descritos os parâmetros adotados para este estudo, juntamente com os respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 357/2005, para rios de Classe II. Também são apresentados os Limites de Quantificação (LQ), definidos conforme a metodologia analítica da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025. O CONAMA estabeleceu diretrizes de qualidade para o enquadramento dos corpos hídricos no território nacional, de acordo com seus usos. A Resolução 357/2005 definiu



também os limites superiores e inferiores para diversas variáveis aplicadas às águas doces, salobras e salinas (CONAMA, 2005).

2.2.2. Dados climáticos

Na bacia do Rio Paraná, onde se situa o rio Verde, a estação chuvosa ocorre de outubro a maio, e a estação seca, entre junho e setembro. De acordo com o estudo, realizado pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2021), o clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. A precipitação anual varia entre 1.300 a 1.500 mm/ano e temperatura média oscilando entre 19 °C a 26 °C. De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), entre os elementos climáticos destacam-se a temperatura, a umidade, a pressão atmosférica e a precipitação, os quais se manifestam por meio de variações como ondas de calor, frio entre outros fenômenos meteorológicos.

Neste estudo, foram utilizados dados de reanálise de quinta geração (ERA5) do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF). O ERA5 fornece estimativas horárias de um grande volume de informações atmosféricas, desde as ondas oceânicas até a superfície terrestre (Copernicus, 2018).

Estudos recentes, como de Uliana (2025), indicam que dados de reanálises são úteis em bacias com escassez de medições confiáveis. Neste estudo, a temperatura média do ar e a precipitação total acumulada nos 30 dias anteriores à coleta foram estimadas na grade de reanálise ERA5, que fornece séries horárias de variáveis climáticas em 137 camadas atmosféricas, permitindo alta precisão na detecção de fenômenos. Os dados são de acesso livre e apresentam bom desempenho na representação climática em diversas regiões, incluindo o Brasil. A confiabilidade do ERA5 é corroborada por estudos de validação (Junior, Blain e Xavier, 2022), consolidando-o como ferramenta robusta e amplamente utilizada em pesquisas climáticas e ambientais.

Tabela 2 – Precipitação total acumulada e temperatura média por campanha.

Campanha/ Período	Precipitação total (mm)	Temperatura média	Campanha/ Período	Precipitação total (mm)	Temperatura média
14/Seca	36,15	22,46	32/Seca	55,66	22,52
15/Seca	123,70	26,01	33/Chuva	59,77	26,44
16/Chuva	178,68	26,17	34/Chuva	78,94	25,76
17/Chuva	165,61	25,56	35/Seca	13,77	20,41
18/Seca	146,62	19,05	36/Seca	6,93	26,33
19/Seca	67,26	22,42	37/Chuva	125,49	26,74



20/Chuva	211,30	25,68	38/Chuva	103,58	26,56
21/Chuva	175,09	25,80	39/Seca	35,27	20,26
22/Seca	35,63	21,73	40/Seca	51,27	21,25
23/Seca	0,58	28,51	41/Chuva	123,05	25,81
24/Chuva	202,64	25,70	42/Chuva	143,96	25,28
25/Chuva	146,48	26,84	43/Seca	97,31	18,75
26/Seca	4,12	20,59	44/Seca	19,68	24,65
27/Seca	94,48	24,77	45/Chuva	58,51	28,19
28/Chuva	158,77	25,45	46/Chuva	115,10	26,88
29/Seca	3,78	21,01	47/Seca	8,30	22,04
30/Chuva	27,90	27,38	48/Seca	13,60	24,93
31/Chuva	97,05	26,99	49/Chuva	150,80	26,75

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

No estudo realizado por Araújo (2025), os dados de precipitação total do ERA5-Land foram validados com medições de 13 estações meteorológicas do INMET, obtendo desempenho satisfatório. Essa abordagem tem sido amplamente empregada para suprir a escassez de dados observacionais, sobretudo em regiões com baixa densidade de estações meteorológicas, contribuindo significativamente para estudos hidrológicos, modelagem climática e planejamento ambiental. Foram utilizados dados da região de estudo compreendendo entre 2015 a 2024.

2.3. Procedimentos e análises estatísticas

Neste estudo, inicialmente aplicou-se estatística descritiva para a caracterização dos dados. A normalidade das distribuições foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (Jamovi, 2024). Posteriormente, aplicou-se o teste de tendência de Mann-Kendall (Zaiontz, 2025), adequado para identificar tendências monotônicas ascendentes ou descendentes em séries temporais, sem pressupor distribuição específica dos dados.

O teste de Mann-Kendall foi aplicado para verificar tendência em dados não paramétricos, permitindo identificar variações temporais (Fernandes *et al.*, 2022). O método foi executado separadamente para períodos seco e chuvoso. A partir dos resultados, foram elaborados gráficos de linha representando toda a série histórica, acompanhados da linha de tendência calculada com base nos parâmetros fornecidos pelo teste.

Para verificar a existência de diferença estatisticamente significativa entre os dois períodos sazonais, os dados foram agrupados em seca e chuva, sendo aplicado o teste de U de Mann-Whitney (Jamovi, 2024), adequado para dados não paramétricos. A abordagem metodológica empregou softwares especializados: Microsoft Excel com o suplemento RealStatistics para cálculos complementares, análises estatísticas descritivas utilizando o



Software Jamovi, garantido robustez aos resultados e o software QGIS, na geração de produtos cartográficos deste estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas análises descritivas, testes não paramétricos de tendência de Mann-Kendall e teste de Mann-Whitney para comparação de grupos sazonais, aplicados às variáveis abióticas da qualidade da água e aos dados do climáticas, no período de junho de 2015 a dezembro de 2024. Essa abordagem permitiu avaliar a relação clima e ambiente aquático ao longo do período e identificar padrões entre os períodos seco e chuvoso e a influência da sazonalidade sobre os parâmetros analisados. A análise descritiva (**Tabela 3**) indicou que a maioria dos parâmetros não apresentou distribuição normal ($p < 0,05$ no teste de Shapiro-Wilk), justificando a adoção de testes não paramétricos, que não requerem pressupostos da normalidade (Siegel e Castellan Jr, 2008).

Tabela 3 – Estatística descritiva da base de dados de 36 campanhas da UHSD.

Análise	N	Shapiro-Wilk			MK	Mann-Kendall	
		W	p	normal		p-valor	Tendência
TAg	36	0,897	0,003	não	43	5,67 x10 ⁻⁰¹	Não
Cla	36	0,515	<0,001	não	-72	1,60 x10 ⁻⁰¹	Não
CE	36	0,505	<0,001	não	297	5,42 x10 ⁻⁰⁵	Sim ↑
FT	36	0,428	<0,001	não	-336	2,96 x10 ⁻⁰⁶	Sim ↓
NIT	36	0,442	<0,001	não	122	6,43 x10 ⁻⁰²	Não
NTK	36	0,764	<0,001	não	189	9,45 x10 ⁻⁰³	Sim ↑
NT	36	0,335	<0,001	não	297	5,20 x10 ⁻⁰⁵	Sim ↑
Tur	36	0,394	<0,001	não	-217	3,24 x10 ⁻⁰³	Sim ↓
SDT	36	0,829	<0,001	não	-44	5,57 x10 ⁻⁰¹	Não
TSec	36	0,968	0,369	sim	136	6,53 x10 ⁻⁰²	Não
OD	36	0,971	0,465	sim	219	2,98 x10 ⁻⁰³	Sim ↑
IQAR	36	0,946	0,076	sim	-223	2,45 x10 ⁻⁰³	Sim ↓
Prec	36	0,939	0,046	não	-110	1,38 x10 ⁻⁰¹	Não
TAr	36	0,901	0,004	não	24	7,54 x10 ⁻⁰¹	Não

Em que: N – tamanho da amostra; W – estatística do teste; p – probabilidade SW; p-valor – probabilidade MK.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3.1. Tendência de Mann-Kendall, série histórica e sazonal

Com base na **Tabela 3**, foram analisados os resultados do teste de Mann—Kendall, cuja Hipótese nula (H₀) indica ausência de tendência na série temporal, enquanto a hipótese alternativa (H₁) indica a presença de tendência estatisticamente significativa. Em conjunto, aplicou-se o teste de inclinação de Sem (*Sen’ Slope Test*) para estimar a magnitude da tendência. Os valores de *p-valor* obtidos (Tabela 3) indicam rejeição da hipótese nula para os



parâmetros CE, FT, NTK, NT, Tur, OD e IQAR, evidenciando tendência significativa nessas variáveis abióticas da qualidade da água.

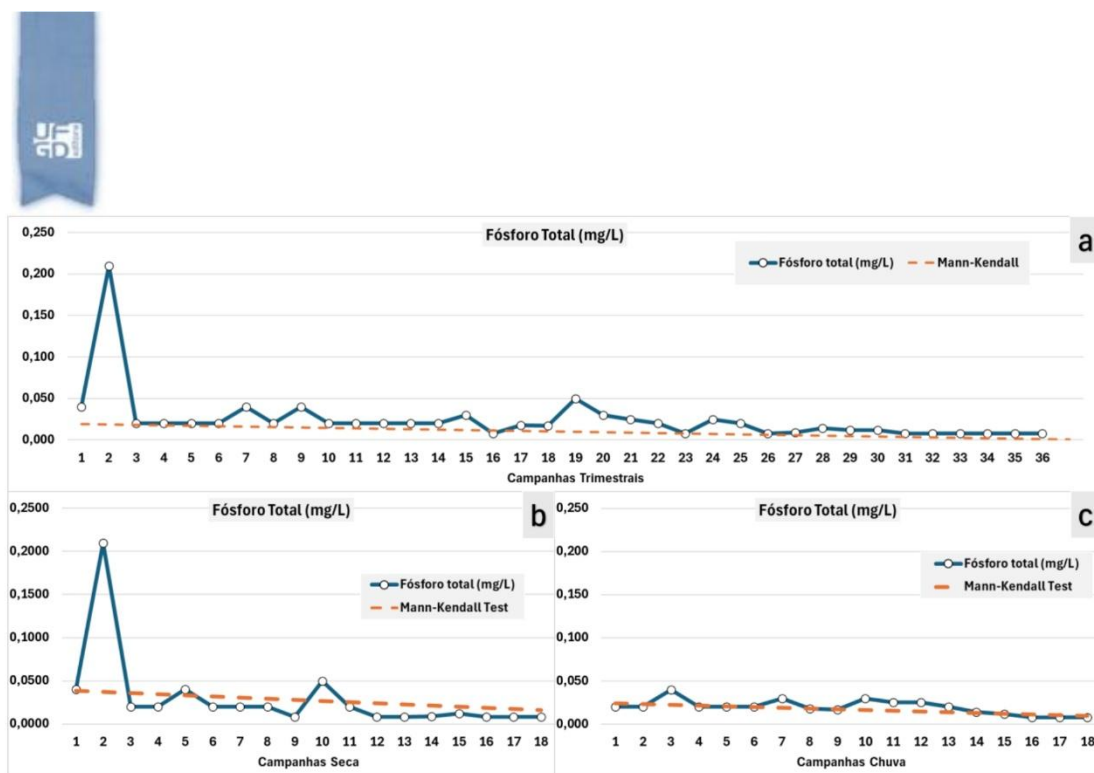
Para as demais variáveis, os valores de *p-valor* foram superiores ao nível de significância (0,05), não indicando evidência estatística de uma tendência ascendente ou descendente. As variáveis climáticas também não apresentaram significância no teste de Mann—Kendall. Entre as variáveis com tendência significativa, CE, NTK, NT, OD exibiram tendência crescente, enquanto FT, Tur e IQAR apresentaram tendência decrescente. Não foi observada tendência para Temperatura da água, Clorofila-a, Nitrogênio Inorgânico Total, Sólidos Dissolvidos Totais, Transparência de Secchi, Precipitação acumulada e Temperatura do ar.

A análise do *Sen's Slope*, confirmou a direção da tendência e estimou a inclinação das séries temporais. Embora a precipitação tenha atendido à hipótese nula, apresentou inclinação negativa, enquanto a temperatura do ar não mostrou variação. Entre as variáveis sem significância estatística, cinco apresentaram inclinação: crescente (TAg, NIT, TSec) e decrescentes (CA, SDT). As Figuras 2 a 15 ilustram a variabilidade interanual e o regime sazonal da série histórica (junho/2015 a dezembro/2024), destacando flutuações e padrões ao longo da série histórica.

3.2. Variáveis com tendência decrescente

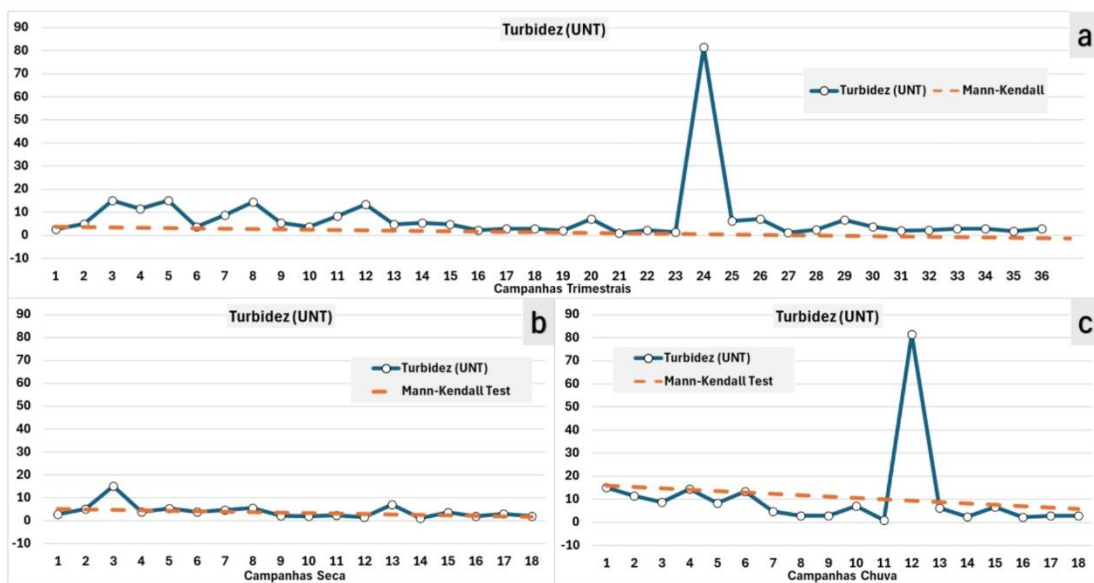
A aplicação do teste de Mann-Kendall à série temporal de fósforo total (Figuras 2 a, b e c) resultou em um valor da estatística $MK = -336$. Para a turbidez (Figura 3) com $MK = -217$, e para o IQAR (Figura 4), com $MK = -223$. Esses valores indicam tendência negativa estatisticamente significativa ao longo do período analisado, com elevado grau de significância ($p < 0,004$). A estatística negativa sugere redução consistente nos valores de fósforo total, turbidez e IQAR ao longo do tempo. A variável FT apresentou tendência decrescente significativa tanto no período seco ($MK = -92$, $p = 0,0004$) quanto no chuvoso ($MK = -75$, $p = 0,0041$), evidenciando redução sistemática na série temporal.

Figura 2 – a) Série temporal do Fósforo total, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal período seco e c) período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

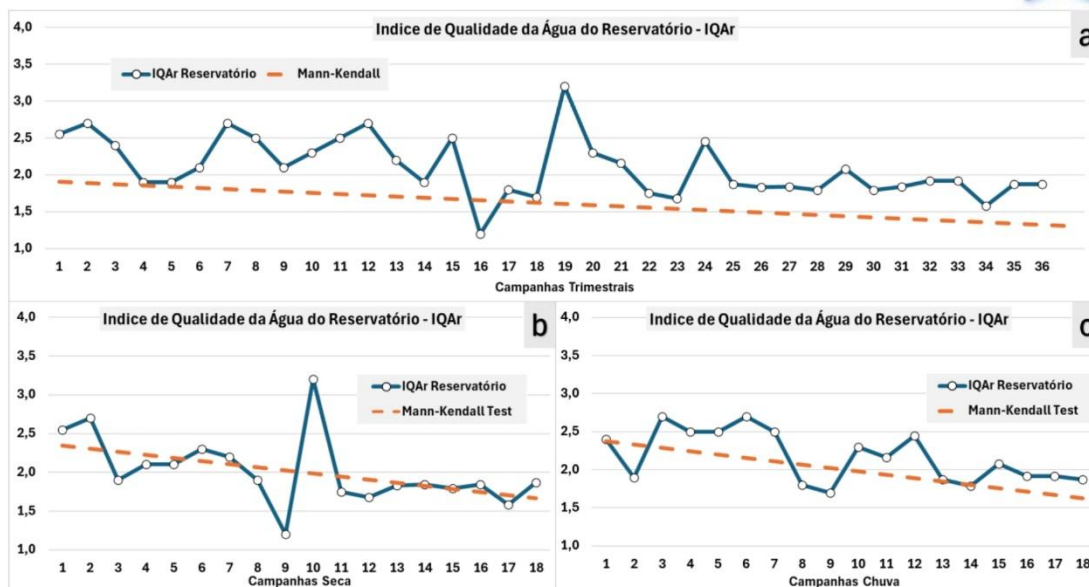
Figura 3 – a) Série temporal da Turbidez, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Para a variável Turbidez (Figura 3), observou-se uma tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos sazonais: seca ($MK = -56, p = 0,0371$) e chuva ($MK = -74, p = 0,0056$), indicando uma redução consistente ao longo do tempo. Essa tendência foi confirmada na análise da série histórica completa, reforçando a diminuição sistemática dos valores de turbidez durante o período estudado.

Figura 4 – a) Série temporal do IQAR, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Nos resultados para a variável IQAR, verificou-se tendência decrescente estatisticamente significativa em ambos os períodos sazonais: seca ($MK = -62, p = 0,0206$) e chuvoso ($MK = -57, p = 0,0331$), indicando uma redução consistente ao longo do tempo. Essa tendência foi confirmada na análise da série histórica completa, reforçando a diminuição sistemática dos valores de IQAR durante o período estudado.

Esses resultados indicam melhoria consistente na qualidade da água ao longo do período pesquisado, refletida a redução do fósforo total, turbidez e IQAR. A tendência negativa observada nos períodos chuvoso e seco, sugere que processos naturais têm contribuído para diminuição das cargas de nutrientes e material particulado, favorecendo condições estáveis relacionado a eutrofização do ecossistema.

3.3. Variáveis com tendência crescente

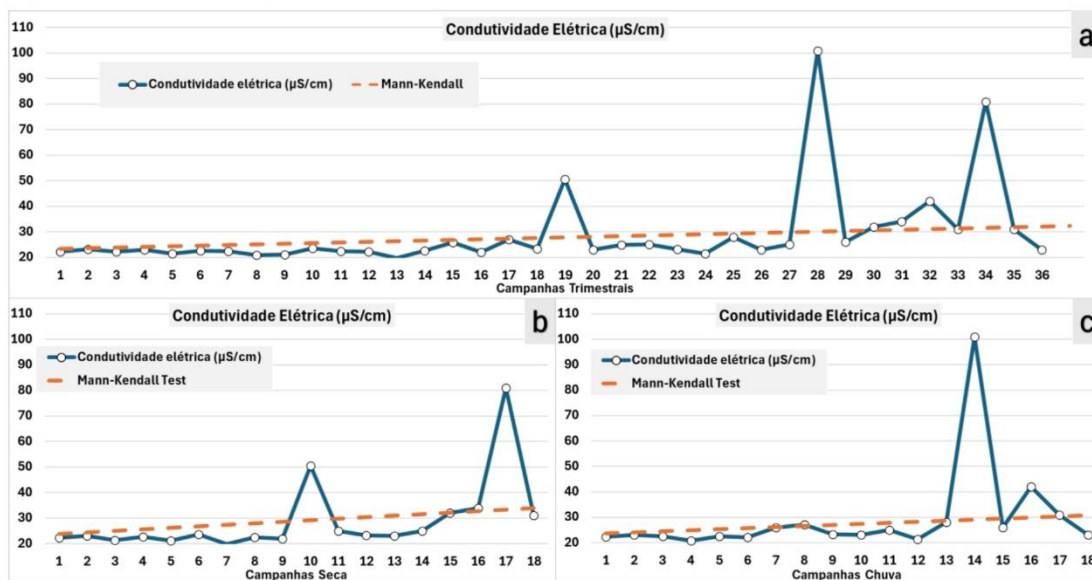
A aplicação do teste de Mann—Kendall à série temporal de condutividade elétrica (Figura 5) resultou em valor da estatística de $MK = 297$. Para o NTK (Figura 6) com $MK = 189$, NT (Figura 7) com $MK = 297$, e o OD (Figura 8), $MK = 219$. Esses resultados indicam tendência crescente, estatisticamente significativa ao longo do período analisado ($p < 0,01$). A estatística positiva sugere elevação consistente nos valores dessas variáveis ao longo do tempo, evidenciando mudanças progressivas na qualidade da água.

Para a variável CE, verificou-se tendência crescente estatisticamente significativa em ambos os períodos sazonais: seca ($MK = 78, p = 0,0035$) e chuvosa ($MK = 67, p = 0,0121$),



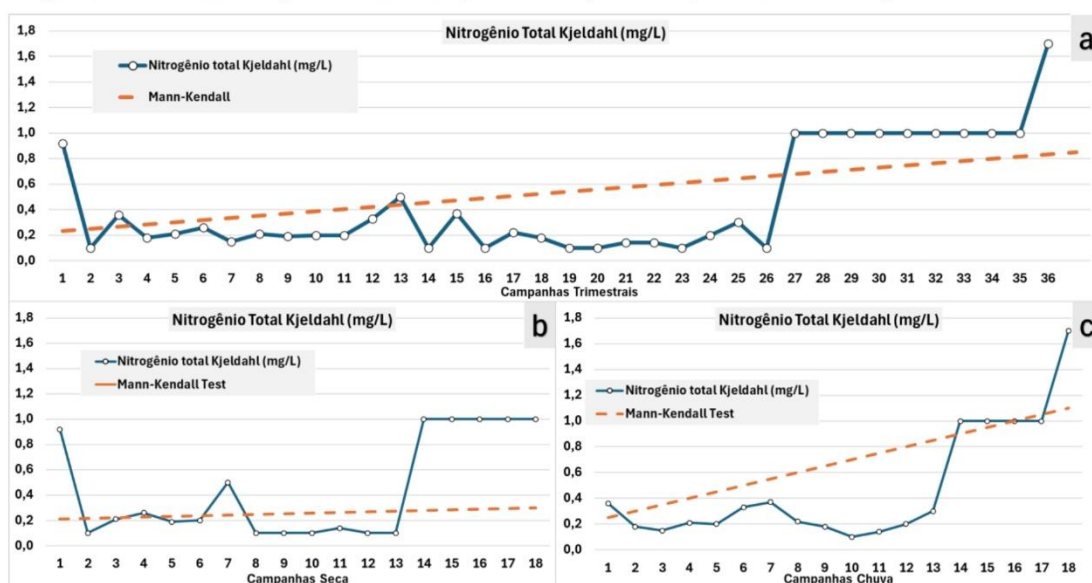
indicando um aumento consistente ao longo do tempo. Essa tendência reforça a elevação progressiva da condutividade elétrica na série histórica analisada.

Figura 5 – a) Série temporal da Condutividade Elétrica, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 6 – a) Série temporal do Nitrogênio Total Kjeldahl, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A variável NTK (Figura 6) apresentou tendência crescente significativa apenas no período chuvoso ($MK = 61, p = 0,0220$), sugerindo influência sazonal sobre essa variável.



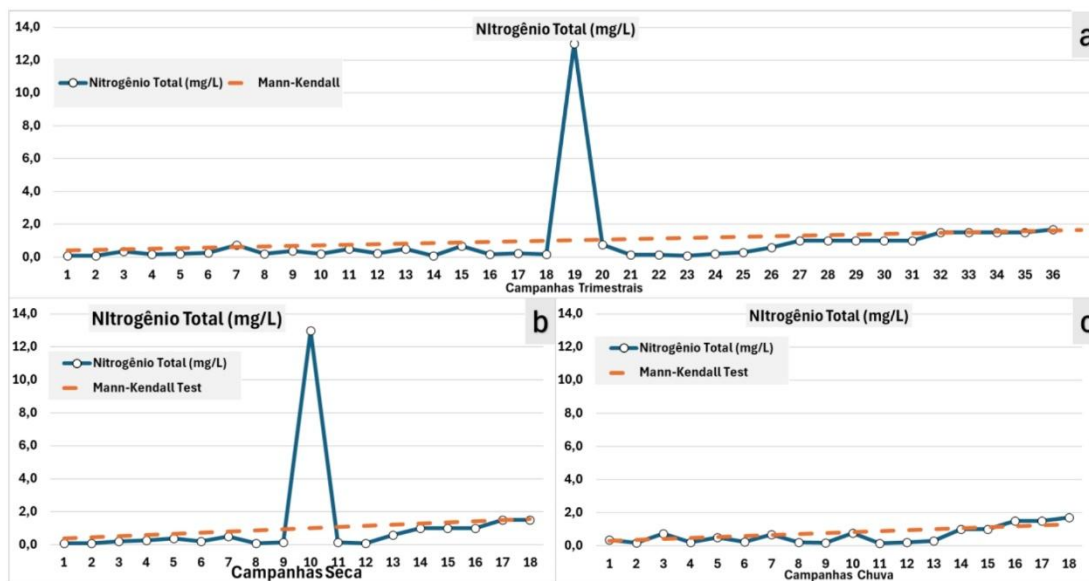
Essa tendência também foi confirmada na análise da série histórica completa, reforçando a hipótese de aumento gradual ao longo do tempo.

A variável NT (Figura 7) apresentou comportamento consistente, com tendência crescente significativa tanto no período seco ($MK = 75, p = 0,0047$) quanto no período chuvoso ($MK = 64, p = 0,0168$), sendo confirmada também na análise da série histórica completa. Esses resultados sugerem um aumento contínuo e estatisticamente relevante dessa variável ao longo do tempo, independentemente da sazonalidade.

A variável OD (Figura 8) apresentou tendência crescente significativa apenas no período chuvoso ($MK = 88, p = 0,0010$), sugerindo influência sazonal sobre essa variável. Essa tendência também foi observada na série histórica completa, reforçando a hipótese de um aumento gradual ao longo do tempo.

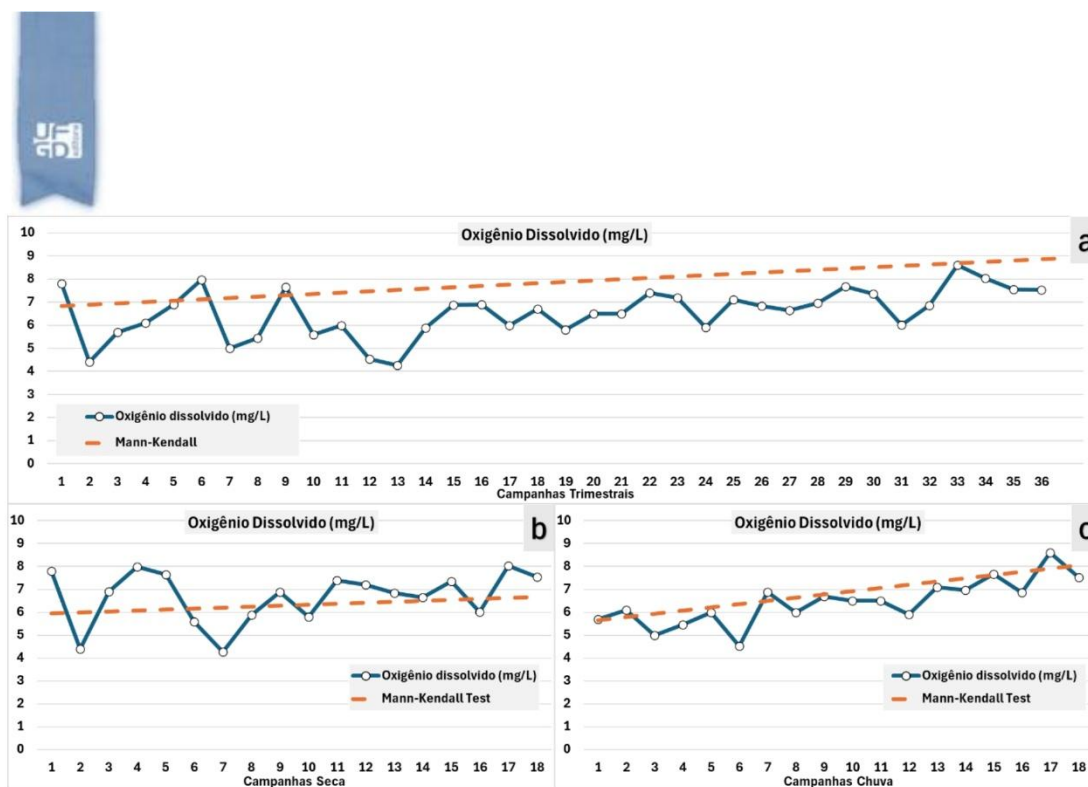
Esses resultados apontam para um processo de alteração gradual na composição físico-química da água, evidenciado pelo aumento consistente da condutividade elétrica, NTK, NT e OD ao longo do tempo. A influência sazonal observada em algumas variáveis indica que fatores climáticos e hidrológicos podem modular essas alterações, como a variação estação chuvosa e seca.

Figura 7 – a) Série temporal do Nitrogênio Total, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 8 – a) Série temporal do Oxigênio Dissolvido, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3.4. Variáveis com ausência de tendência estatística

A aplicação do teste de Mann—Kendall à série temporal de TAG (Figura 9) resultou em $MK = 43$ ($p = 5,67 \times 10^{-01}$). Para o NIT (Figura 10), $MK = 122$ ($p = 6,43 \times 10^{-02}$), TSec (Figura 11), $MK = 136$ ($p = 6,53 \times 10^{-02}$), e TAr (Figura 12), $MK = 24$ ($p = 7,54 \times 10^{-01}$). Embora a estatística positiva indique tendência de aumento nos valores dessas variáveis, os valores elevados ($p > 0,05$) demonstram ausência de significância estatística. Conclui-se que, durante o período analisado, não há evidências suficientes para afirmar tendência crescente ou decrescente para as variáveis.

A variável TAG (Figura 9) não apresenta tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados, com valores de p superiores a 0,05, indicando estabilidade temporal ao longo da série histórica.

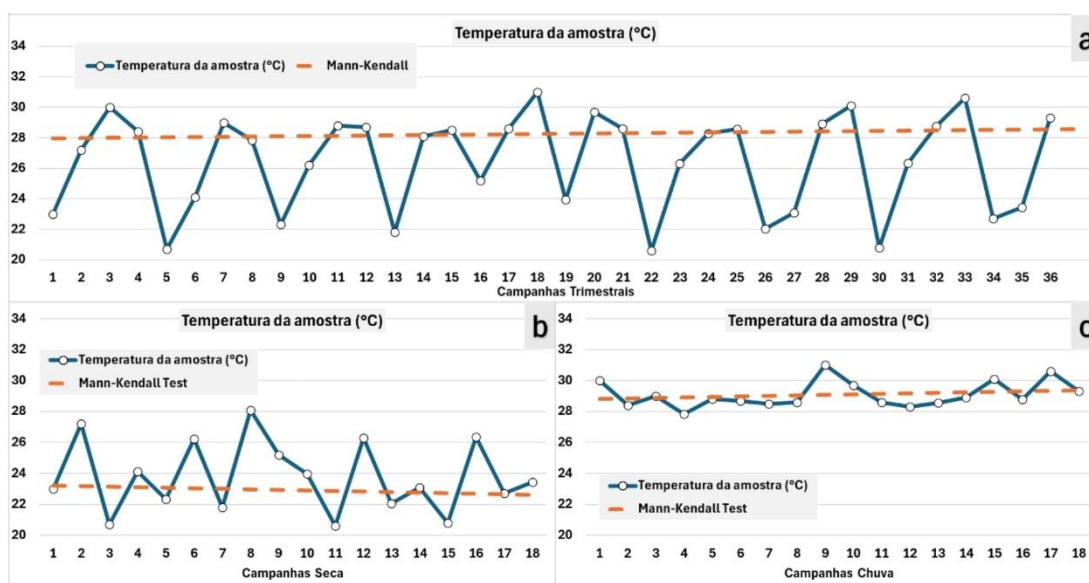
Os resultados indicam que a variável NIT (Figura 10) não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade temporal ao longo da série.

A variável Transparência de Secchi (Figura 11) não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade temporal ao longo da série histórica.



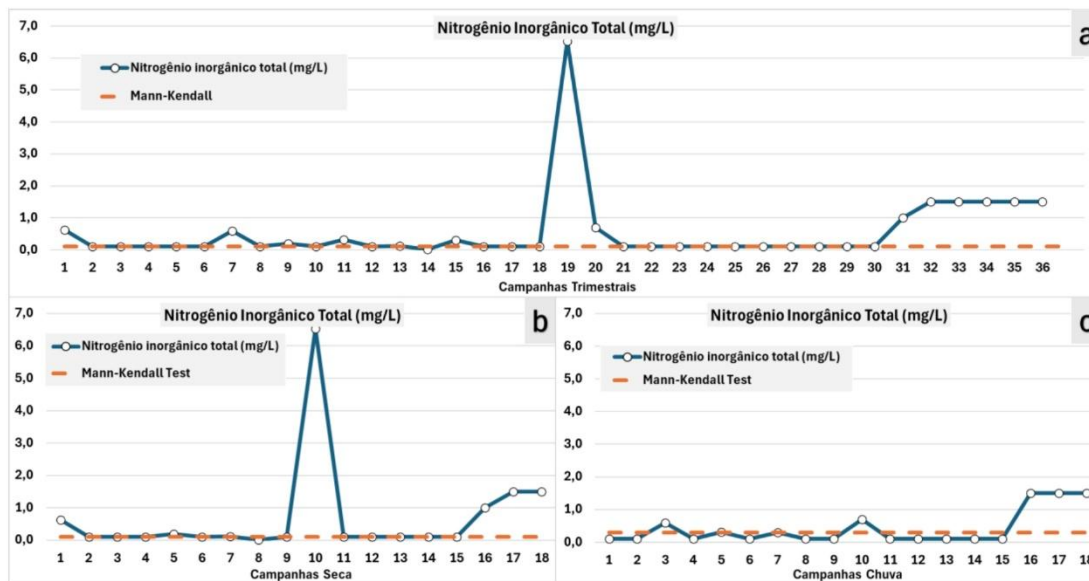
A variável Temperatura do ar (Figura 12) não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), indicando estabilidade temporal ao longo da série histórica.

Figura 9 – a) Série temporal da Temperatura da amostra, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



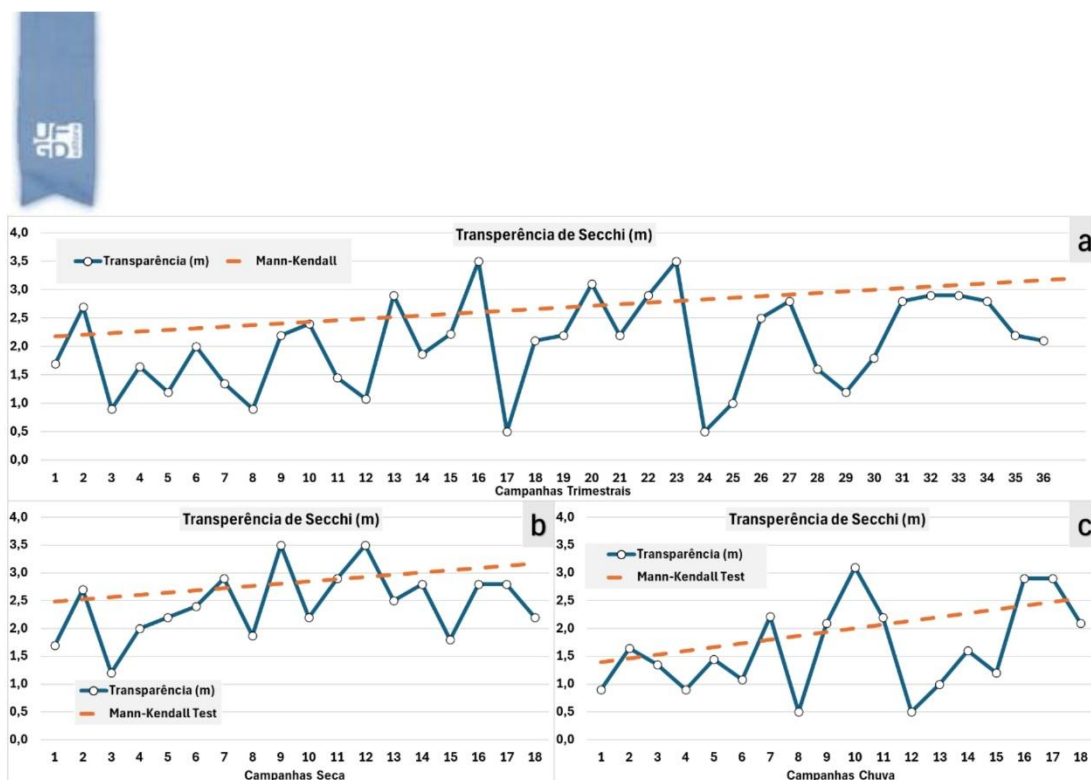
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 10 – a) Série temporal do Nitrogênio Inorgânico Total, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série do período seco e c) Período chuvoso.



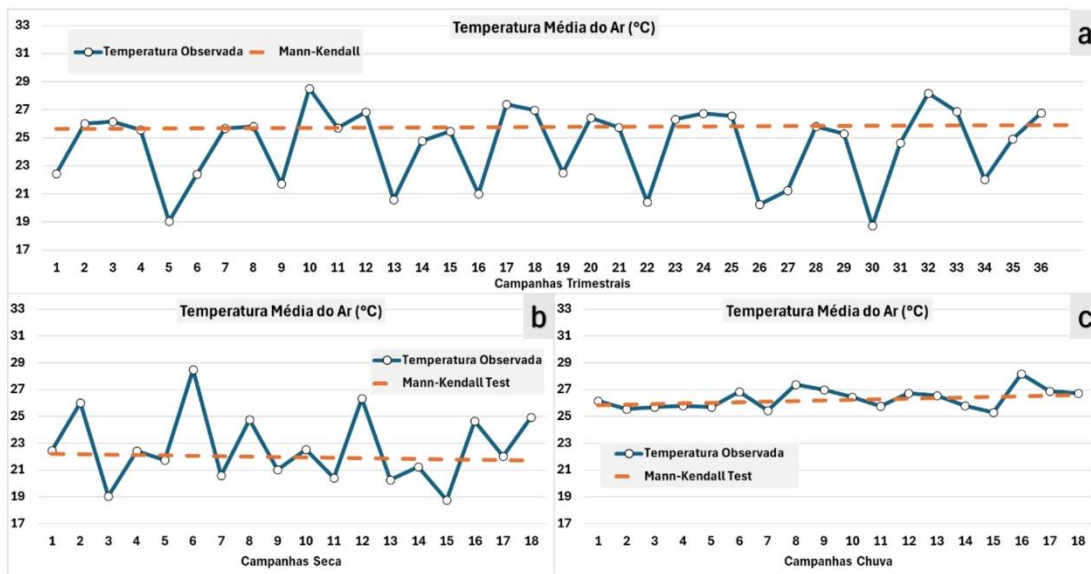
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 11 – a) Série temporal da Transparência de Secchi, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 12 – a) Série temporal da Temperatura média, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A aplicação do teste de Mann—Kendall à série temporal de Clorofila-a (Figura 13) resultou em um valor de $MK = -72$, ($p = 1,60 \times 10^{-01}$), para o SDT (Figura 14), $MK = -44$ ($p = 5,57 \times 10^{-01}$), para a Precipitação acumulada (Figura 15), $MK = -110$ ($p = 1,38 \times 10^{-01}$). Embora a estatística negativa sugira uma tendência de redução nos valores dessas variáveis, os p -valores elevados ($p > 0,05$) indicam ausência de significância estatística. Conclui-se que, durante o período analisado, não há evidências suficientes para afirmar tendência crescente ou decrescente para essas variáveis.

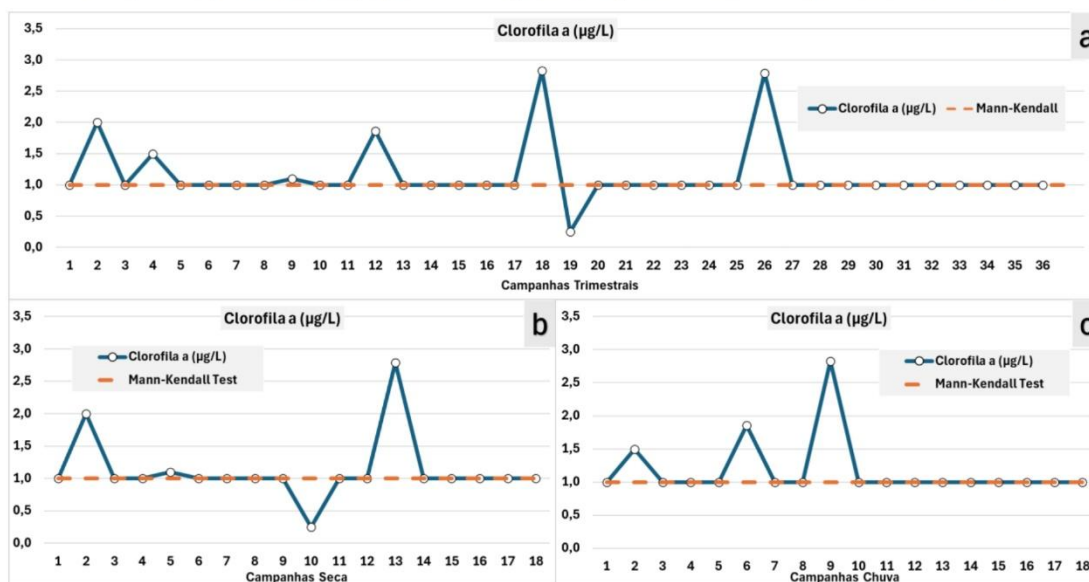


A variável Clorofila-a (Figura 13) não há tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados, com valores de p superiores a 0,05, indicando estabilidade temporal ao longo da série histórica.

A variável Sólidos Dissolvidos Totais (Figura 14) não apresentou tendência estatisticamente significativa em nenhum dos períodos analisados ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade temporal ao longo da série histórica.

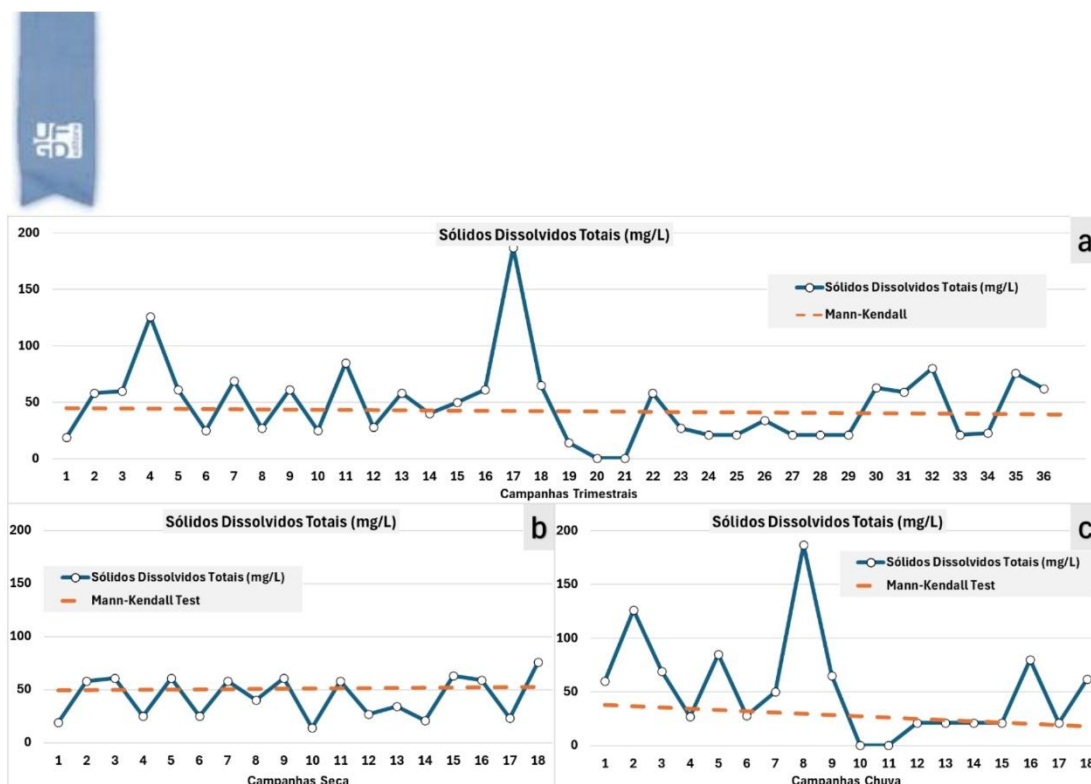
Para a variável precipitação acumulada (Figura 15), durante o período seco, o teste não indicou tendência estatisticamente significativa ($MK = -31, p = 0,2558$), indicando estabilidade nos valores de precipitação nesse intervalo sazonal. No entanto, no período chuvoso, foi observada tendência decrescente significativa ($MK = -55, p = 0,0408$), indicando possível redução nos volumes de precipitação ao longo dos anos nessa estação. Apesar dessa tendência no período chuvoso, a análise da série histórica completa não confirmou significância estatística consistente, sugerindo que a redução observada é interanual e insuficientemente persistente para caracterizar uma tendência consolidada.

Figura 13 – a) Série temporal da Clorofila a, com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



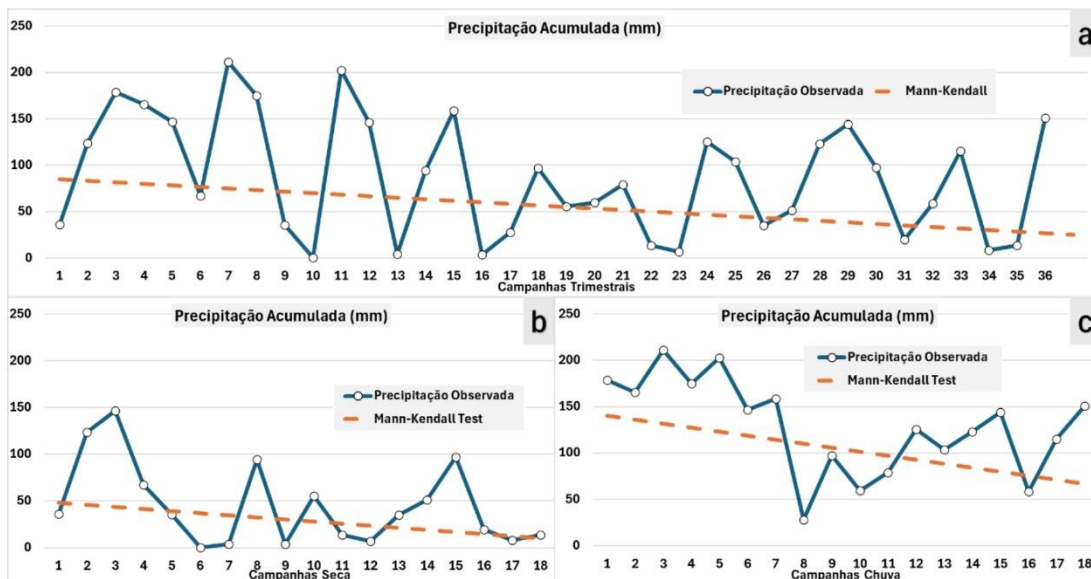
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 14 – a) Série temporal dos Sólidos Dissolvidos Totais com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 15 – a) Série temporal da Precipitação Acumulada com a tendência de MK do período de jun./15 a dez./2024 para a UHSD, b) Série temporal do período seco e c) Período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Os resultados indicam ausência de tendência estatisticamente significativa para a maioria das variáveis pesquisadas, sugerindo estabilidade temporal ao longo da série histórica. Essa constância pode refletir condições ambientais relativamente equilibradas, como escassez de chuvas ou ausência de pressões antrópicas relevantes durante o estudo. Escassez de chuva observada pela tendência decrescente para precipitação acumulada no período chuvoso, possível oscilação sazonal não consolidada.

3.5. Avaliação estatística da sazonalidade



Na análise estatística das variáveis abióticas ao longo da série temporal, é fundamental considerar a sazonalidade do ecossistema. Para investigar diferenças significativas entre os períodos chuvoso e seco, aplicou-se o teste U de Mann-Whitney, cuja hipótese nula (H_0) assume igualdade entre as duas amostras, enquanto a hipótese alternativa (H_1) indica diferença. Como os dados não apresentam distribuição normal (Tabela 2), o teste não paramétrico foi adequado. Conforme Tabela 4, valores $p < 0,05$ indicaram diferença estatisticamente significativa entre os grupos sazonais, evidenciando variação nas características abióticas entre os períodos analisados.

Tabela 4 – Resultados do teste U de Mann-Whitney para amostras independentes, da série histórica da UHSD.

U de Mann-Whitney	Estatística	p	Resultado	U de Mann-Whitney	Estatística	p	Resultado
Tag	1,00	<0,001	Sim	Tur	95,50	0,037	Sim
Cla	154,00	0,731	Não	SDT	154,00	0,812	Não
CE	159,00	0,937	Não	TSec	75,00	0,006	Sim
FT	146,50	0,628	Não	OD	131,00	0,335	Não
NIT	157,00	0,873	Não	IQAR	116,00	0,149	Não
NTK	135,50	0,406	Não	Prec	36,00	<0,001	Sim
NT	137,00	0,437	Não	TAr	35,00	<0,001	Sim

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O teste de Mann—Whitney indicou que as variáveis TAG, Tur, TSec, Prec e TAr apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os períodos seco e chuvoso ($p < 0,05$), evidenciando variação sazonal. Esses achados indicam diferenças na distribuição dessas variáveis entre os dois períodos sazonais, reforçando a influência da sazonalidade sobre as características abióticas do ecossistema.

Os resultados do teste de Mann—Whitney confirmam a influência da sazonalidade sobre as variáveis abióticas, evidenciando diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso para temperatura da água, turbidez, transparência de Secchi, precipitação e temperatura do ar. A magnitude dos coeficientes de correlação indica que a precipitação e a temperatura do ar apresentam as maiores discrepâncias sazonais, enquanto a transparência de Secchi tende a aumentar no período seco.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do teste de Mann—Kendall revelou tendências estatisticamente significativas ao nível de 5% para diversas variáveis abióticas da qualidade da água, enquanto as variáveis climáticas não apresentaram significância, embora a precipitação acumulada



tenha mostrado inclinação decrescente no período chuvoso, e a temperatura do ar tenha permanecido estável.

Entre as doze variáveis de qualidade da água analisadas, cinco não apresentaram significância estatística, mas indicaram padrões de inclinação: três crescente (TAg, NIT, TSec) e duas decrescente (Cla, SDT), reforçando a importância do monitoramento contínuo e da análise integrada para subsidiar ações de gestão e conservação dos recursos hídricos.

As tendências negativas significativas observadas para o Fósforo total, Turbidez e IQAR sugerem melhorias na qualidade da água, com a redução da carga de nutrientes e maior transparência, indicando avanços no controle da eutrofização.

Por outro lado, tendências positivas para Condutividade elétrica, Nitrogênio Total e Oxigênio Dissolvido apontam para alterações nos processos naturais do reservatório, como aumento na concentração de sais dissolvidos e aporte de nutrientes.

Variações com tendência não significativas ($p > 0,05$), apesar de apresentar inclinações positivas ou negativas, indicam que essas variações podem estar associadas à variabilidade natural ou flutuações sazonais sem padrão consistente.

Da mesma forma, as variáveis com estatísticas MK negativas não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$), o que impede a confirmação de uma tendência decrescente. Embora os resultados demonstrem uma possível redução nos valores dessas variáveis, a ausência de significância estatística reforça que não é possível afirmar com segurança a existência de uma tendência temporal. Esses achados destacam a importância de séries temporais mais longas e de análises complementares para melhor compreender a dinâmica dessas variáveis no contexto do monitoramento ambiental do reservatório.

A análise sazonal pelo teste U de Mann—Whitney evidenciou diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso para TAg, Turbidez, TSec, Prec e Temperatura do ar ($p < 0,05$), confirmando a influência da sazonalidade sobre a qualidade da água, associadas aos coeficientes de correlação rank bisserial, destacam forte variação térmica e hidrológica entre as estações.

Por fim, a análise integrada das tendências e diferenças sazonais reforça que a sazonalidade exerce papel determinante na dinâmica das variáveis abióticas, sendo essencial considerá-la em estratégias de monitoramento e gestão ambiental do reservatório.



O teste de Mann—Kendall revelou padrões sazonais distintos, confirmando a influência da sazonalidade sobre as variáveis abióticas do reservatório. Condutividade Elétrica (CE) e Nitrogênio Total (NT) apresentaram tendência crescente significativa em ambos os períodos, indicando aumento consistente ao longo do tempo. Em contraste, Fósforo Total (FT) e Turbidez (Tur) mostraram tendência decrescente significativa nas duas estações, sugerindo uma redução contínua desses parâmetros. Algumas variáveis exibiram tendências sazonais específicas, como o Oxigênio Dissolvido (OD) e o Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), com aumento apenas no período chuvoso, enquanto o Índice de Qualidade da Água do Reservatório (IQAR) apresentou tendência decrescente em ambas as estações.

A Precipitação acumulada apresentou tendência decrescente durante o período chuvoso, sem confirmação na série histórica completa, sugerindo uma oscilação sazonal ainda não consolidada. Por outro lado, variáveis como Temperatura da Amostra (TAg), Clorofila-a (Ca), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Transparência de Secchi (TSec) e Temperatura do Ar (TAr) não apresentaram tendências estatisticamente significativas, indicando estabilidade temporal. Esses resultados reforçam a importância de considerar a sazonalidade na interpretação das tendências ambientais, contribuindo para uma gestão mais precisa e adaptada às variações naturais do ecossistema.

Os resultados evidenciam que a qualidade da água do reservatório São Domingos apresentou melhorias ao longo da série histórica, com redução do fósforo total, turbidez e IQAR, indicando avanços no controle da eutrofização. Por outro lado, tendências crescentes para condutividade elétrica e nitrogênio total sugerem atenção contínua ao aporte de sais e nutrientes. A análise sazonal confirmou diferenças significativas entre períodos seco e chuvoso, reforçando a influência da sazonalidade na dinâmica limnológica. Esses achados destacam a importância do monitoramento integrado e de estratégias de gestão adaptativa para garantir a conservação dos recursos hídricos frente às variações climáticas e antrópicas.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os colegas e professores que contribuíram durante esse caminho e ao empreendedor que gentilmente forneceu os dados para esse estudo.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, F. Fundos com teses específicas voltadas à sustentabilidade ganham espaço no Brasil: vale a pena investir? **InfoMoney**, 29 jan. 2022. Disponível em:



<https://www.infomoney.com.br/onde-investir/fundos-com-teses-especificas-voltadas-a-sustentabilidade-ganham-espaco-no-brasil-vale-a-pena-investir/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Panorama das águas região Hidrográfica do Paraná**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-parana>. Acesso em: 12 jun. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Brasília, 2015. 164 p. ISBN 978-85-8210-027-1.

ARAÚJO, C. S. P. D.; SILVA, J. R. I.; ALMEIDA, C. D. G. C. D. Total precipitation and air temperature data obtained from ERA5-Land reanalysis: validation and accuracy. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 38, n. 1, 5 fev. 2025. Disponível em: <https://revistacaatinga.com.br/caatinga/article/view/12578/12193>. Acesso em: 10 jun. 2025.

CONAMA. 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. **CONAMA – MMA**, Brasília, 2005. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S). **Dados horários do ERA5 em níveis únicos de 1940 até o presente. 2018**. Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>. Acesso em: 1 jun. 2025.

DOMINGUES, M. S. Q.; BAPTISTA, A. L. F.; DIOGO, M. T. Engineering complex systems applied to risk management in the mining industry. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 27, n. 4, p. 611-616, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617303452>. Acesso em: 23 abr. 2021.

ELETROBRAS. Destaques: Hidrelétrica São Domingos: 10 anos. **Eletrobras CGT Eletrosul**, 2023. Disponível em: <https://www.cgteletrosul.com.br/destaque/hidreletrica-sao-domingos-10-anos>. Acesso em: 22 jun. 2025.

FERNANDES, A. et al. O uso do teste de Mann-Kendall para detecção de tendências de precipitação em região semiárida de Pernambuco. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33925>. Acesso em: 1 jun. 2025. ISSN 2525-3409.

FONSECA, M. Primeira hidrelétrica do país foi construída em Minas há mais de 100 anos. **Jornal O Estado de Minas**, Belo Horizonte, 18 maio 2013. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/05/18/interna_gerais,389704/primeira-hidreletrica-do-pais-foi-construida-em-minas-ha-mais-de-100-anos.shtml. Acesso em: 10 abr. 2023.

IMASUL. Caracterização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Verde. **IMASUL – Instituto do Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, p. 4, 2021.



JAMOVI. The Jamovi project. **Jamovi Stats Open Now**. Programa de Computador, 2024. Disponível em: www.jamovi.org. Acesso em: 1 jun. 2025.

JUNIOR, E. P. D. S.; BLAIN, G. C.; XAVIER, A. C. F. Avaliação dos Dados de Reanálise do Climatic Research Unit (CRU) e do 5th Generation of European Reanalysis (ERA5) no Monitoramento Probabilístico Padronizado da Seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 37, p. 243-260, 21 jul. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/YJhDWbj9BS3XQkRPfhk9FcX/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 jun. 2025.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. D. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, dez. 2005. Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/cct/article/view/8663>

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R. Sazonalidade e Distribuição Espaço-Temporal das Chuvas no Bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 77-86, 1 jan. 2012. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/613/1/art_sazonal_marcuzzo.pdf. Acesso em: 9 jun. 2025.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia – Noções básicas e climas do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2007.

MENEZES, J. P. C. et al. **Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana**, 2016. p. 519-534.

MUNIZ, C. M. **Composição funcional em reservatório: seleção de traços de assembleia de peixes com o envelhecimento**. Maringá, p. 63, 2017.

ONU-BR. Nações Unidas Brasil. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável Agenda 2030**, 24 out. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

SIEGEL, S.; CASTELLAN-JR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. São Paulo: Artmed/Bookman, v. 1, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=LKmNnQEACAAJ&lpg=PA31&hl=pt-BR&pg=PA31#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 14 jul. 2025.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 63 p.

TUNDISI, J. G.; MARSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2008.

ULIANA, E. M. Melhoria da acurácia dos dados de temperatura do ar da reanálise ERA5 utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, p. 2262-2277.

WWF. Brasil perde 15% de superfície de água desde os anos 1990. **WWF Brasil**, 23 ago. 2021. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?79608/brasil-perde-15-porcento-de-superficie-de-agua-desde-o-comeco-dos-anos>.

ZAIONTZ, C. Real Statistics Using Excel. **Real Statistics**, 2025. Disponível em: <https://real-statistics.com/>. Acesso em: 1 jun. 2025.



9.8. Aceite do artigo submetido – ABClima Decisão editorial

12/04/2026, 22:51

Gmail - [ABCLima] Decisão editorial



Hugo M. Lavarda Martins <hugolavarda@gmail.com>

[ABCLima] Decisão editorial

1 mensagem

Revista Brasileira de Climatologia via Portal de Periódicos UFGD

17 de dezembro de 2025 às 12:48

<ufgd@ufgd.ojsbr.com>

Responder a: Revista Brasileira de Climatologia <rbclima2014@gmail.com>

Para: Hugo Martinho Lavarda Martins <hugolavarda@gmail.com>, Professor <michel.muza@ifsc.edu.br>

Hugo Martinho Lavarda Martins, Professor:

Parecer/fase da avaliação

Status: Aceito

Dourados, 17 de dezembro de 2025.

Caro(s) Autor(es), em função do parecer(es) dos avaliadores, emitidos no regime de **blind peer-review**, no que refere ao artigo:

"Uma ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RESERVATÓRIO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL".

Comunicamos que o mesmo foi avaliado, e, em conjunto com as alterações realizadas, vosso artigo foi **ACEITO** para integrar a próxima edição da RBCLima. Isto posto, vosso manuscrito será enviado para edição. Recomendamos que fiquem atentos, pois dentro das próximas semanas enviaremos a leitura de prova para últimas averiguações. Agradecemos a confiança depositada na RBCLima para divulgar vosso trabalho.

Sugere-se que, no mínimo, um dos autores seja **SÓCIO(A) DA ABCLIMA** (<https://www.abclima.ggf.br/cadastro.php>) e que esteja adimplente com a anuidade da associação. Reiteramos que essa condição é importante para a manutenção da Revista. A RBCLima é uma conquista de todos aqueles que editoram, publicam, emitem pareceres e lêem os artigos nela publicados.

A **Revista Brasileira de Climatologia** é publicada semestralmente pela ABClima (Associação Brasileira de Climatologia) e conta com o apoio institucional da Editora da Universidade Federal da Grande Dourados.

ISSN on-line: 2237-8642

link: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima>

Para emitir sua declaração de aceite, [acesse este link](#) estando logado com o usuário que realizou a submissão.

Equipe Editorial da RBCLima

Revista Brasileira de Climatologia (RBCLima)

<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima>

<https://mail.google.com/mail/u/1/?ik=5b24ad839b&view=pt&search=all&permthid=thread-f:1851771058260510364%7Cmsg-f:1851771058260510...> 1/1

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Dados brutos, ponto amostral do reservatório UHSD, de jun/2015 a dez/2024.

Data d/m/a		Campo	Tag °C	Ca µg/L	CE µS/cm	FT mg/L	NIT mg/L	NTK mg/L	NT mg/L	Tur UNT	SDT mg/L	Tsecc m	OD mg/L	IQAR -	Prec mm	Tar °C
15/06/15	1	14/Seca	23,00	1,00	22,30	0,04	0,63	0,92	0,10	2,69	19,00	1,70	7,80	2,55	36,15	22,46
29/09/15	2	15/Seca	27,20	2,00	23,10	0,21	0,10	0,10	0,10	5,06	58,00	2,70	4,40	2,70	123,70	26,01
09/12/15	3	16/Chuva	30,00	1,00	22,30	0,02	0,10	0,36	0,36	15,10	60,00	0,90	5,70	2,40	178,68	26,17
16/03/16	4	17/Chuva	28,40	1,50	23,00	0,02	0,10	0,18	0,18	11,60	126,00	1,65	6,10	1,90	165,61	25,56
14/06/16	5	18/Seca	20,70	1,00	21,40	0,02	0,10	0,21	0,21	15,10	61,00	1,20	6,90	1,90	146,62	19,05
21/09/16	6	19/Seca	24,12	1,00	22,70	0,02	0,10	0,26	0,26	3,78	25,00	2,00	7,98	2,10	67,26	22,42
10/01/17	7	20/Chuva	29,00	1,00	22,50	0,04	0,60	0,15	0,75	8,87	69,00	1,35	5,00	2,70	211,30	25,68
28/03/17	8	21/Chuva	27,83	1,00	20,80	0,02	0,10	0,21	0,21	14,50	27,00	0,90	5,45	2,50	175,09	25,80
20/06/17	9	22/Seca	22,33	1,10	21,10	0,04	0,20	0,19	0,39	5,35	61,00	2,20	7,65	2,10	35,63	21,73
25/09/17	10	23/Seca	26,22	1,00	23,60	0,02	0,10	0,20	0,20	3,80	25,00	2,40	5,58	2,30	0,58	28,51
12/12/17	11	24/Chuva	28,80	1,00	22,50	0,02	0,32	0,20	0,50	8,40	85,00	1,45	6,00	2,50	202,64	25,70
26/03/18	12	25/Chuva	28,70	1,86	22,20	0,02	0,10	0,33	0,23	13,50	28,00	1,08	4,53	2,70	146,48	26,84
20/06/18	13	26/Seca	21,80	1,00	19,80	0,02	0,12	0,50	0,50	4,70	58,00	2,90	4,27	2,20	4,12	20,59
02/10/18	14	27/Seca	28,10	1,00	22,60	0,02	0,02	0,10	0,10	5,50	40,00	1,87	5,88	1,90	94,48	24,77
04/12/18	15	28/Chuva	28,50	1,00	25,90	0,03	0,30	0,37	0,67	4,80	50,00	2,22	6,88	2,50	158,77	25,45
30/07/19	16	29/Seca	25,20	1,00	22,00	0,01	0,10	0,10	0,16	2,20	61,00	3,50	6,89	1,20	3,78	21,01
29/10/19	17	30/Chuva	28,60	1,00	27,00	0,02	0,10	0,22	0,22	2,80	187,00	0,50	5,98	1,80	27,90	27,38
23/01/20	18	31/Chuva	31,00	2,83	23,30	0,02	0,10	0,18	0,18	2,90	65,00	2,10	6,70	1,70	97,05	26,99
20/05/20	19	32/Seca	23,96	0,25	50,60	0,05	6,53	0,00	13,00	2,00	14,00	2,20	5,80	3,20	55,66	22,52
02/12/20	20	33/Chuva	29,70	1,00	23,00	0,03	0,70	0,00	0,78	7,20	0,50	3,10	6,50	2,30	59,77	26,44
31/03/21	21	34/Chuva	28,60	1,00	24,90	0,03	0,10	0,14	0,14	1,00	0,50	2,20	6,50	2,16	78,94	25,76
30/06/21	22	35/Seca	20,60	1,00	25,00	0,02	0,10	0,14	0,14	2,30	58,00	2,90	7,40	1,75	13,77	20,41
23/09/21	23	36/Seca	26,30	1,00	23,20	0,01	0,10	0,10	0,10	1,50	27,00	3,50	7,20	1,68	6,93	26,33
14/12/21	24	37/Chuva	28,30	1,00	21,40	0,03	0,10	0,20	0,20	81,50	21,00	0,50	5,90	2,45	125,49	26,74
26/03/22	25	38/Chuva	28,57	1,00	28,00	0,02	0,10	0,30	0,30	6,30	21,00	1,00	7,10	1,87	103,58	26,56
30/06/22	26	39/Seca	22,04	2,79	23,00	0,01	0,10	0,10	0,60	7,00	34,00	2,50	6,84	1,83	35,27	20,26
07/09/22	27	40/Seca	23,08	1,00	25,00	0,01	0,10	1,00	1,00	1,10	21,00	2,80	6,65	1,84	51,27	21,25
12/12/22	28	41/Chuva	28,91	1,00	101,00	0,01	0,10	1,00	1,00	2,40	21,00	1,60	6,97	1,79	123,05	25,81
29/03/23	29	42/Chuva	30,10	1,00	26,00	0,01	0,10	1,00	1,00	6,70	21,00	1,20	7,68	2,08	143,96	25,28
21/06/23	30	43/Seca	20,79	1,00	32,00	0,01	0,10	1,00	1,00	3,70	63,00	1,80	7,36	1,79	97,31	18,75
13/09/23	31	44/Seca	26,35	1,00	34,00	0,01	1,00	1,00	1,00	2,00	59,00	2,80	6,02	1,84	19,68	24,65
06/12/23	32	45/Chuva	28,77	1,00	42,00	0,01	1,50	1,00	1,50	2,30	80,00	2,90	6,86	1,92	58,51	28,19
06/03/24	33	46/Chuva	30,60	1,00	31,00	0,01	1,50	1,00	1,50	2,80	21,00	2,90	8,60	1,92	115,10	26,88
05/06/24	34	47/Seca	22,71	1,00	81,00	0,00	1,50	1,00	1,50	2,90	23,00	2,80	8,04	1,58	8,30	22,04
18/09/24	35	48/Seca	23,44	1,00	31,00	0,00	1,50	1,00	1,50	1,90	76,00	2,20	7,55	1,87	13,60	24,93
04/12/24	36	49/Chuva	29,32	1,00	23,00	0,00	1,50	1,70	1,70	2,80	62,00	2,10	7,53	1,87	150,80	26,75

APÊNDICE 2

Correlação - Tau B de Kendall's

[illegible]