

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL
ÁREA CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

CARLA FERREIRA BORGES SILVA

**AVALIAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA E QUÍMICA NO RESERVATÓRIO
DA UHE ITUMBIARA, BACIA DO RIO PARANAÍBA**

UBERLÂNDIA
2023

CARLA FERREIRA BORGES SILVA

**AVALIAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA E QUÍMICA NO
RESERVATÓRIO DA UHE ITUMBIARA, BACIA DO RIO PARANAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Prof^a. Dr^a. Sueli Bertolino Moura
(Orientadora)

Prof. Dr. Márcio Ricardo Sallas
(Coorientador)

UBERLÂNDIA
2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 2023	<p>Silva, Carla Ferreira Borges, 1985- AVALIAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA E QUÍMICA NO RESERVATÓRIO DA UHE ITUMBIARA, BACIA DO RIO PARANAÍBA [recurso eletrônico] / Carla Ferreira Borges Silva. - 2023.</p> <p>Orientadora: Sueli Bertolino Moura. Coorientadora: Márcio Ricardo Salla. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.113 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Desenvolvimento sustentável. I. Moura, Sueli Bertolino, 1977-, (Orient.). II. Salla, Márcio Ricardo, 1976-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 502.33</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 05/2023, PPGMQ				
Data:	28 de fevereiro de 2023	Hora de início:	14:30	Hora de encerramento:	16:00
Matrícula da Discente:	E2112MQA003				
Nome da Discente:	CARLA FERREIRA BORGES SILVA				
Título do Trabalho:	AVALIAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA E QUÍMICA DO RESERVATÓRIO DA UHE ITUMBIARA, BACIA DO RIO PARANAÍBA				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Monitoramento e Gestão Ambiental				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Sem vinculação				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof.ª Dr.ª Sueli Moura Bertolino (Orientadora); Prof.ª Dr.ª Maristela Casé Costa Cunha (UNEB); e Prof. Dr. Fernando Alves Ferreira (SENAI).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa Prof.ª Dr.ª Sueli Moura Bertolino apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadoras, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Sueli Moura Bertolino, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/02/2023, às 15:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Alves Ferreira, Usuário Externo**, em 02/03/2023, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maristela Casé Costa Cunha, Usuário Externo**, em 11/03/2023, às 19:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4226935** e o código CRC **9CA8150F**.

Ao meu esposo e filho, pelo apoio incondicional que sempre demonstraram.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são extensivos a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental que, durante esse período de formação, mostraram-se disponíveis para orientar no que fosse necessário.

A todos os professores e professoras com quem tive a honra de aprender ao longo de todo o meu percurso acadêmico para o desenvolvimento pessoal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento, pelo apoio financeiro e pela consolidação do programa de pós-graduação *stricto sensu* em Qualidade Ambiental e dos demais programas no Brasil.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – UFU, pelo incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Hipóteses.....	14
1.2.	Objetivos	14
1.2.1.	Objetivos específicos	14
1.3.	Justificativa.....	15
2.	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1.	Recursos hídricos e usos múltiplos.....	15
2.2.	Estratificação e mistura da coluna d'água	18
3.	METODOLOGIA.....	22
3.1.	Localização e caracterização da área de estudo.....	22
3.2.	Obtenção dos dados de perfil, climáticos e hidrológicos	25
3.3.	Delimitação da zona eufótica	26
3.4.	Caracterização da resistência e estabilidade vertical	26
3.5.	Delimitação do epilímnio, metalímnio, hipolímnio e zona de mistura.....	27
3.6.	Análise estatística	27
4.	RESULTADOS.....	29
4.1.	Dados climáticos e hidrológicos no reservatório de Itumbiara	29
4.2.	Aspectos limnológicos	35
4.2.1.	Transparência da água e profundidade do ponto	35
4.3.	Resistência térmica Relativa (RTR)	37
4.4.	Análise de Perfil de dados de campo	41
4.4.1.	Temperatura da água.....	42
4.4.2.	Oxigênio dissolvido	46
4.4.3.	Turbidez.....	51
4.4.4.	Condutividade elétrica.....	55
4.4.5.	Potencial hidrogeniônico (pH).....	59
4.5.	Correlação de Spearman: parâmetros de campo x fatores climáticos e hidrológicos.....	63
5.	DISCUSSÃO	65
5.1.	Fatores hidrológicos, climatológicos, Resistência Térmica Relativa e correlações.....	65
5.2.	Análise de Perfil de dados de campo	70
6.	CONCLUSÕES	73
	REFERENCIAS.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil 2021/2022.....	16
Figura 2: Distribuição das hidrelétricas no Brasil 2021/2022.	17
Figura 3: Estratos registrados em um reservatório estratificado.	19
Figura 4: Localização do reservatório hidrelétrico de Itumbiara.	23
Figura 5: (A) Disco de Secchi e (B) Sonda Multiparâmetro YSI no monitoramento da qualidade da água da UHE Itumbiara.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos lagos.....	21
Tabela 2. Descrição e localização das estações estudadas entre setembro de 2018 e dezembro de 2021.....	24
Tabela 3. Datas das amostragens com as respectivas estações do ano estudadas entre setembro de 2018 e dezembro de 2021.....	25
Tabela 4. Dados climáticos no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	29
Tabela 5. Dados hidrológicos no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	32
Tabela 6. Amplitude da temperatura da água (°C) da superfície e fundo nos pontos do reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação mensal da precipitação (mm) e umidade do ar (%) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	30
Gráfico 2: Variação mensal da temperatura do ar (°C), radiação global (KJ/m ²) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	31
Gráfico 3: Variação mensal dos ventos (m/s) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	32
Gráfico 4: Variação mensal do volume total (hm ³) e tempo de residência (dias) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	34
Gráfico 5: Variação mensal do nível d'água (metros) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	35
Gráfico 6: Variação mensal da transparência (metros) nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	36
Gráfico 7: Variação mensal da Resistência Térmica Relativa (RTR) nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	37
Gráfico 8: Relação RTR x Zona de Mistura x profundidade total do reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	39
Gráfico 9: Relação RTR x Zona de Mistura x profundidade total do reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	41
Gráfico 10: Box plot da temperatura da água por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	42
Gráfico 11: Box plot da temperatura da água por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	43
Gráfico 12: Perfil mensal de temperatura da água nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	44
Gráfico 13: Box plot de oxigênio dissolvido por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	47
Gráfico 14: Box plot de oxigênio dissolvido por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	47
Gráfico 15: Perfil mensal de oxigênio dissolvido nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	49
Gráfico 16: Box plot de turbidez por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.....	52

Gráfico 17: Box plot de turbidez por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	52
Gráfico 18: Perfil mensal de turbidez nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	53
Gráfico 19: Box plot de condutividade elétrica por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	56
Gráfico 20: Box plot de condutividade elétrica por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	56
Gráfico 21: Perfil mensal de condutividade elétrica nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	57
Gráfico 22: Box plot de pH por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	59
Gráfico 23: Box plot de pH por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	60
Gráfico 24: Perfil mensal de pH nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	61
Gráfico 25: Correlação de Spearman – Fatores climáticos e variáveis de campo no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	64
Gráfico 26: Correlação de Spearman – Fatores hidrológicos e variáveis de campo no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.	64

RESUMO

SILVA, Carla Ferreira Borges. **Avaliação da estratificação térmica e química no reservatório da UHE Itumbiara, Bacia do Rio Paranaíba**. 2023. 79 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG¹.

Para avaliar a qualidade das águas em reservatórios hidrelétricos, são necessários monitoramentos periódicos dos ecossistemas. Neles são analisados uma grande quantidade de parâmetros e estudados os processos de mistura e estratificação, o que possibilita uma melhor caracterização da qualidade das águas e uma gestão dos recursos hídricos de maneira mais eficiente. A estratificação das camadas d'água pode ser influenciada por fatores como vento, precipitação e radiação solar. Por sua vez, a formação de estratos na coluna d'água direciona os processos físicos, químicos e biológicos. Isso posto, o objetivo principal deste trabalho foi realizar uma avaliação da estratificação térmica e química do reservatório da UHE Itumbiara – GO entre os anos de 2018 e 2021, com periodicidade de amostragem trimestral. Foram realizadas análises estatísticas descritivas visando avaliar o comportamento dos parâmetros na camada sobrenadante bem como estabelecer uma correlação entre eles e a influência de fatores climáticos e hidrológicos. Os resultados mostraram que o reservatório da UHE Itumbiara se manteve estratificado durante os meses de verão, apresentando forte estabilidade da coluna d'água, a qual se reduziu no inverno, em especial em junho de 2021, quando ocorreu mistura completa da coluna. As condições climáticas (temperatura) e nível da água apresentaram influência sobre o processo de mistura da coluna d'água; por sua vez, foi verificada uma correlação maior entre as variações apresentadas no perfil dos parâmetros temperatura da água, OD, pH e turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: recursos hídricos; meio ambiente; estratificação.

¹ Comitê Orientador: Sueli Bertolino Moura e Márcio Ricardo Salla

ABSTRACT

SILVA, Carla Ferreira Borges. **Evaluation of thermal and chemical stratification in the Itumbiara hydroelectric power plant reservoir, Paranaíba River Basin.** 2023. 79 pp. Dissertation (Master's in Environment and Environmental Quality) - Federal University of Uberlândia - MG².

Periodic monitoring of ecosystems is necessary to assess the quality of water in hydroelectric reservoirs. Many parameters are analyzed to study mixing and stratification processes, allowing for a better characterization of water quality and more efficient water resource management. Factors like wind, precipitation, and solar radiation can affect the stratification of water layers. In turn, the formation of layers in the water column drives physical, chemical, and biological processes. Therefore, the main objective of this study was to evaluate the thermal and chemical stratification of the Itumbiara Hydroelectric Power Plant reservoir in Goiás, Brazil, between 2018 and 2021 with quarterly sampling. Descriptive statistical analyses were performed to assess the behavior of parameters in the surface layer and establish correlations between them and the influence of climatic and hydrological factors. The results showed that the Itumbiara reservoir remained stratified during the summer months, with a strong stability of the water column, which decreased during the winter, especially in June 2021, when complete mixing of the water column occurred. Climatic conditions (temperature) and water level influenced the mixing process of the water column, and a stronger correlation was found between variations in the profiles of water temperature, dissolved oxygen, pH, and turbidity parameters.

KEYWORDS: water resources; environment; stratification.

² Advisory Committee: Sueli Bertolino Moura e Márcio Ricardo Salla

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital para a sobrevivência dos seres vivos e a manutenção da biodiversidade de todo o planeta Terra, possuindo notória importância no desenvolvimento econômico e social bem como na produção de alimentos. Todavia, apesar de sua grande importância para manutenção da vida, a sociedade continua poluindo e degradando descontroladamente tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas (TUNDISI; TUNDISI, 2020).

Nesse sentido, Schewe *et al.* (2014) asseveram que a falta de planejamento do uso de recursos hídricos, muitas vezes devido à ilusão de sua vasta disponibilidade, gera graves consequências, podendo resultar em perdas socioeconômicas e ambientais, que causam um declínio no desenvolvimento e bem-estar social. Além disso, devido ao acelerado crescimento econômico e populacional, a demanda por recursos hídricos tende a intensificar os problemas relacionados à qualidade e à quantidade desse recurso.

Segundo Silva e Pereira (2019), a água doce é usada para diversos fins, destacando-se o abastecimento urbano e industrial, a irrigação, o lazer, o transporte, a pesca e a geração de energia elétrica. Este último é muito difundido no Brasil, uma vez que o território brasileiro é rico em recursos hídricos favoráveis à implantação de usinas hidrelétricas, o que fez com que o governo investisse em infraestrutura básica para auxiliar o desenvolvimento da indústria nacional.

Apesar de necessária para o desenvolvimento e expansão do país, a construção de usinas hidrelétricas afeta de maneira radical o meio ambiente, uma vez que o represamento de curso de água causa inundações em áreas de matas consideráveis, interferindo no fluxo de rios, podendo modificar ecossistemas terrestres e aquáticos e afetar diretamente a ocupação humana (LIMA *et al.*, 2018).

No entanto, quando bem manejada, a construção dos reservatórios para a produção de energia elétrica pode favorecer a recreação, a aquicultura, o turismo, o abastecimento de água e o controle de cheias. Assim, o monitoramento dos ecossistemas aquáticos através da qualidade da água em seus aspectos bióticos e abióticos é de fundamental importância para entender o funcionamento do reservatório e assegurar o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos e seus múltiplos usos.

Vale ressaltar que o monitoramento da qualidade das águas de um reservatório é considerado complexo, já que abrange uma grande quantidade de parâmetros. Desse modo, para compreender o seu funcionamento é necessário entender os processos físicos, químicos e

biológicos envolvidos (VIEIRA *et al.*, 2009). Um dos fatores que facilitam essa compreensão é a mistura e estratificação das águas, pois influenciam na circulação de substâncias e nas oscilações térmicas e químicas ao longo da profundidade líquida.

Em face do exposto, para a realização deste trabalho foi escolhido o reservatório de Itumbiara, no Estado de Goiás, devido à sua importância nos setores hidrelétrico e econômico, bem como ao seu papel fundamental no recebimento de afluentes de grande relevância.

1.1. Hipóteses

Dentro de um monitoramento de qualidade de água em reservatório é analisada a dinâmica do perfil térmico e químico, uma vez que esta detalha, ao longo da profundidade líquida, o comportamento das variáveis. A avaliação espaço-temporal da estratificação térmica e química na UHE Itumbiara será realizada sob a hipótese de que uma pequena variação, térmica ou química verticalmente, seja suficiente para promover estratificações e desestratificações diárias na coluna de água nesse reservatório.

1.2. Objetivos

Avaliar a estrutura térmica e química vertical da coluna d'água em diferentes pontos do reservatório da UHE Itumbiara entre os anos de 2018 e 2021.

1.2.1. Objetivos específicos

- √ Avaliar a influência de fatores climáticos (temperatura do ar, umidade do ar, radiação, velocidade do vento e precipitação) e hidrológicos (profundidade média, tempo de retenção hidráulica teórico e variação no nível da água) sobre os processos de estratificação das massas de água no reservatório da UHE Itumbiara;
- √ Verificar se há correlação entre as variáveis oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), temperatura da água e potencial hidrogeniônico (pH) na coluna d'água do reservatório da UHE Itumbiara;
- √ Analisar a variação das medições do oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), temperatura da água e potencial hidrogeniônico (pH) nas profundidades dos pontos.

1.3. Justificativa

O monitoramento de recursos hídricos é de fundamental importância para a gestão desses recursos. No entanto, monitoramentos de qualidade das águas são geralmente considerados complexos devido à vasta quantidade de parâmetros analisados. O estudo dos processos de mistura e estratificação pode facilitar uma melhor caracterização da qualidade das águas, conseqüentemente aumentando a possibilidade de uma melhor gestão dos recursos hídricos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Recursos hídricos e usos múltiplos

Com o constante avanço de tecnologias e a busca incessante por crescimento econômico, tem-se verificado cada vez mais a dependência do ser humano aos recursos naturais, destacando-se, em especial, os recursos hídricos, que são um bem de conspícua importância para a sobrevivência dos seres vivos (TUNDISI; TUNDISI, 2020). Segundo Souza *et al.* (2014), a água não apenas exerce grande importância na natureza, como também na saúde, na economia e na qualidade de vida dos seres vivos. Ela igualmente exerceu um importante papel no crescimento de civilizações antigas que se desenvolveram ao longo de rios.

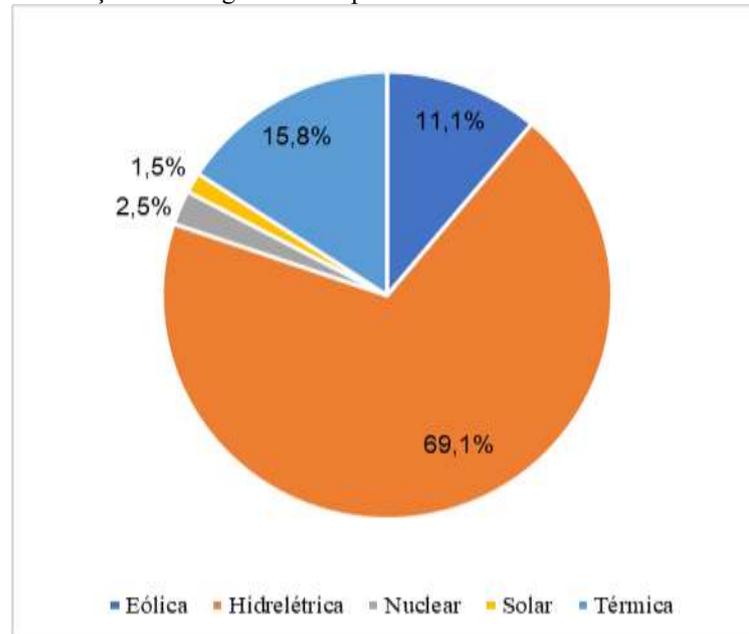
De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2019), são considerados usos da água todas as atividades humanas que alterem suas condições naturais. Esses usos podem ser consuntivos, ou seja, a retirada da água do manancial destinando-a para irrigação, indústria e abastecimento humano, ou não consuntivos, como o consumo indireto da água na geração de energia hidrelétrica, no lazer, na pesca e na navegação.

Nessa mesma linha de pensamento, Tundisi e Tundisi (2020) destacam que são diversificados os usos da água no Brasil, como no abastecimento público em áreas urbanas e rurais, no turismo e na recreação, na agricultura, na irrigação, nas indústrias, na pesca e na piscicultura, no transporte em larga escala e na produção de hidroeletricidade. Os autores observam que esses usos variam de acordo com cada região do país.

A utilização da água para geração de energia vem sendo uma opção desde os tempos antigos. Em países como o Brasil, que possuem extensas reservas de água doce e vazão dos rios, ou seja, um potencial hídrico alto, a construção de usinas hidrelétricas é uma alternativa

viável para a geração de energia (CRUZ; SILVA, 2010). Na Figura 1, a seguir, fica evidente o quanto a geração de energia elétrica pela fonte hidráulica é disseminada no Brasil.

Figura 1: Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil nos anos de 2021 e 2022.

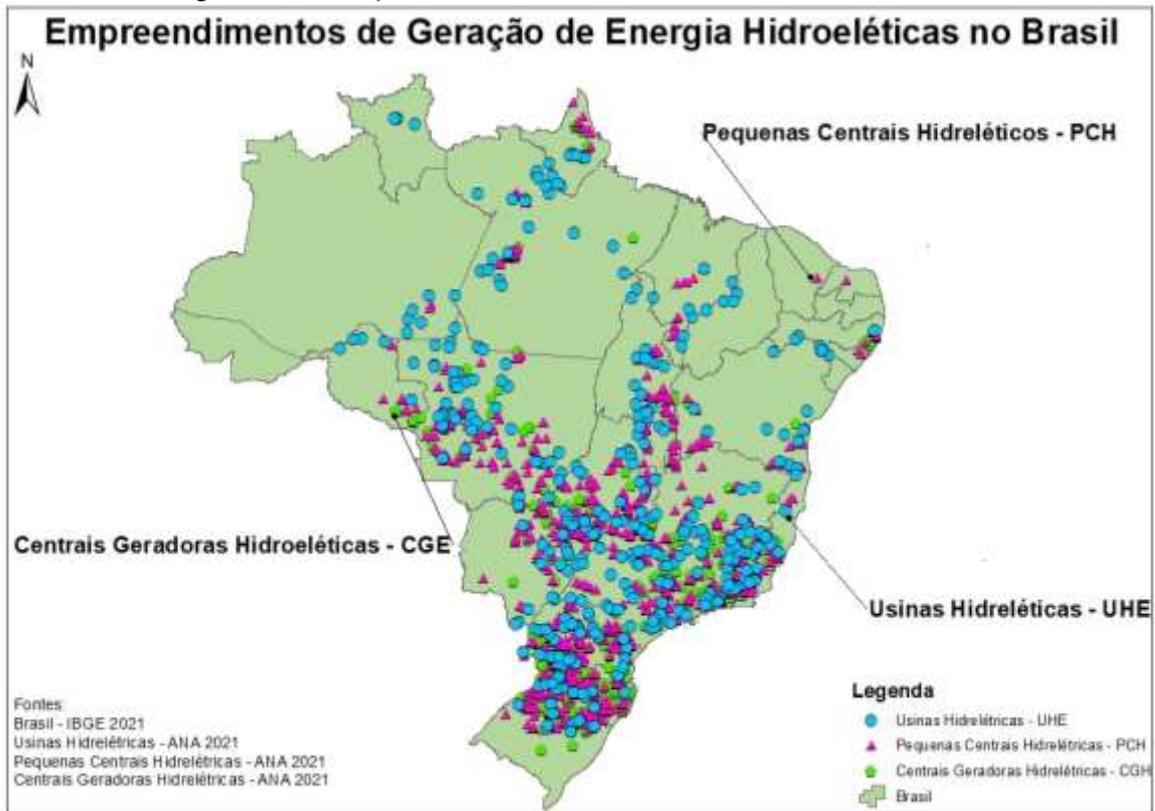


Fonte: Adaptado de Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, 2022.

A fonte hidráulica (UHE, PCH e CGH) gerou 69,1% da energia elétrica entre janeiro de 2021 e agosto de 2022, enquanto as demais fontes energéticas geraram 30,9%. Dentre essas fontes, os destaques foram a energia eólica e a geração termelétrica a gás natural e à biomassa (ONS, 2022).

De acordo com dados da ANA (2022), até outubro de 2021, o Brasil possuía 1.373 empreendimentos hidrelétricos em operação, sendo distribuídos em 730 centrais de geração hidrelétrica (CGH), 424 pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e 219 usinas hidrelétricas (UHE). Grande parte das hidrelétricas implantadas no Brasil estão localizadas na Região Sudeste/Centro-Oeste (Figura 2).

Figura 2: Distribuição das hidrelétricas no Brasil nos anos de 2021 e 2022.



Fonte: Adaptado de Agência Nacional das Águas (ANA), 2021.

Tundisi e Tundisi (2008) ainda ressaltam que para a produção de energia elétrica através de potencial hidráulico, é necessária, muitas das vezes, a construção de grandes reservatórios com a função de represar as águas.

Com esse represamento, o primeiro impacto causado é a transformação de um ambiente lótico (rio) em lântico (lago), o que pode desencadear uma série de desequilíbrios ecológicos e sociais, como perda da vegetação nativa devido ao alagamento de grandes parcelas de floresta pelo desvio e pela alteração do curso de rios, pela diminuição da biodiversidade, pela perda de paisagens naturais formadas pelo rio, pelo aumento dos processos erosivos e de poluentes, e pela destruição de paisagens culturais (COELHO; PEREIRA, 2010). Porém, destaca-se que esse represamento é utilizado para outros fins, como o controle de cheias, recreação, aquicultura, turismo, suprimento de água, entre outros (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Diante disso, percebe-se que, mesmo interferindo nos ecossistemas aquáticos e terrestres, a construção de represas destinadas à hidroeletricidade possui impactos positivos, auxiliando no controle de cheias e, em momentos de grande escassez de água, no aumento de vazões mínimas, na proteção da qualidade da água em eventuais momentos de altas concentrações de poluentes, na ampliação da área disponível para captação de água para

diversos fins e no desenvolvimento econômico e social através das atividades turísticas e recreativas (CARVALHO, 2015).

Apesar do impacto ambiental que as hidrelétricas ocasionam com a formação de um novo ambiente com características muito diferentes do original, esse fato não pode ser motivo de impedimento de novos empreendimentos, mas deve promover ações mitigadoras e compensatórias. Para isso, é de suma importância o monitoramento desses ecossistemas aquáticos a fim de avaliar os impactos e permitir o estabelecimento de planos de manejo desses ambientes. Através do monitoramento dos ecossistemas aquáticos, é analisada a dinâmica do perfil térmico e químico, possibilitando uma melhor avaliação da estabilidade da coluna d'água, já que o reservatório cria condições favoráveis à ocorrência de estratificação (TUNDISI; TUNDISI, 2008), em especial nas regiões mais profundas, próximo à barragem.

Logo, o padrão de estratificação da coluna d'água é uma das características limnológicas de conspícua importância para a qualidade da água nesses locais, uma vez que influencia diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos, compreendendo a produção primária e secundária, o balanço de nutrientes, a depleção de oxigênio e a distribuição e migração de organismos na coluna de água (MAZUMDER; TAYLOR, 1994).

2.2. Estratificação e mistura da coluna d'água

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), é de vital importância o estudo dos processos de estratificação e desestratificação térmica em reservatórios, já que esses processos influenciam nas alterações físicas e químicas da água, como a distribuição de gases dissolvidos, nutrientes e organismos do plâncton na coluna d'água.

Um corpo d'água é considerado estratificado termicamente quando são formadas camadas com diferentes densidades, ocorrendo diminuição gradativa da temperatura da água na camada mais superficial até a mais profunda. Essas camadas impedem que as águas se misturem, promovendo, assim, uma condição de estabilidade térmica (ESTEVES, 2011),

O aquecimento da camada mais superficial da água ocorre basicamente pela radiação solar, promovendo maior temperatura e uma camada menos densa na superfície, que se separa da água mais profunda e fria. Esse fenômeno, conhecido como estratificação térmica e de densidade, é responsável por grande parte dos processos e mecanismos de funcionamento que resultam do gradiente vertical formado (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

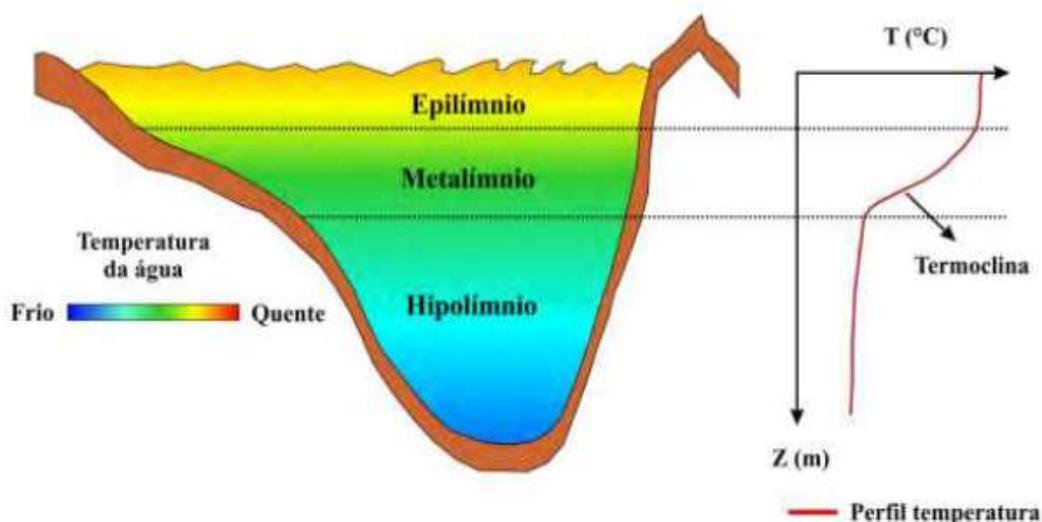
Bartram e Ballance (1996) complementam que a estratificação é um processo que está relacionado diretamente com a qualidade da água de lagos e reservatórios, funcionando como

dois corpos fluando um no outro. Geralmente esse processo é consequência das diferenças de temperatura, as quais levam a diferenças na densidade, que, por sua vez, ocasionam diferenças nas concentrações de substâncias.

Ainda segundo Gastaldini (2004), a formação das camadas de diferentes densidades na coluna d'água de lagos e reservatórios é proporcionada quando a turbulência é incapaz de destruir o aquecimento diferenciado das camadas superiores. Com isso, geram-se ambientes diferenciados na camada mais superficial e no fundo, bem como uma significativa redução no transporte de massas na coluna d'água, influenciando, assim, a qualidade da água.

Vale mencionar que as camadas formadas pela diferença de densidade e temperatura são chamadas de epilímnio, metalímnio e hipolímnio. Segundo Tundisi e Tundisi (2008), a camada superior classificada como epilímnio é mais quente, menos densa e mais homogênea devido à ação do vento, enquanto a camada mais inferior, denominada de hipolímnio, é mais densa e com temperaturas mais baixas. Já a camada intermediária, entre o hipolímnio e o epilímnio, apresenta uma queda gradual de temperatura em relação à camada superior. É nessa camada que geralmente verifica-se a termoclina, que corresponde à região com maior taxa de decaimento do perfil térmico, devido principalmente à ação do vento e a diferenças de densidades (Figura 3).

Figura 3: Estratos registrados em um reservatório estratificado.



Fonte: CURTARELLI, 2012.

Como apresentado na Figura 3, a termoclina é considerada um traço imaginário que divide ambientes distintos termicamente, sendo o ambiente mais superficial iluminado, com

grande produtividade e circulação completa, enquanto o ambiente mais profundo é escuro, com baixa ou nenhuma circulação, predominando processos de decomposição.

O processo de formação de camadas na coluna d'água é considerado um processo dinâmico, ou seja, pode ser afetado por diversos fatores, como, por exemplo, radiação solar e transferências de calor na interface ar/água, fatores climatológicos e ação do vento (FERREIRA; CUNHA, 2013).

Considerando o fator radiação solar, uma parte atinge a camada superficial da água e a penetra, enquanto a outra parte volta-se para a atmosfera. A parte que penetra a água passa por alterações e é absorvida e transformada em energia química pela fotossíntese e calorífera pelo aquecimento da água. Essa radiação transformada em calor gera estratos de diferentes temperaturas e densidades (ESTEVES, 2011).

Essa formação de estratos ou mesmo estratificação da coluna d'água pode ser desestabilizada ou desestratificada por fatores como vento e precipitação. Segundo Ferreira e Cunha (2013), com a chegada de frentes frias há uma intensificação da velocidade dos ventos, uma redução na radiação solar e temperatura do ar e, no decorrer dos dias, podem também ocorrer ventos fortes e chuvas abundantes, gerando uma desestabilização da coluna d'água e, conseqüentemente, a desestratificação ou mistura das águas do epilímnio, metalímnio e hipolímnio (TUNDISI, 2010).

Vale ressaltar que em regiões tropicais, devido à maior radiação solar, mais energia é absorvida entre os meses de outubro e março (primavera e verão), alcançando a máxima de estratificação térmica no fim do verão. Já nos meses entre abril e setembro (outono e inverno), os reservatórios perdem calor, podendo chegar a situações de mistura completa da coluna d'água, ou seja, desestratificação (ALCÂNTARA *et al.*, 2010).

Esteves (2011) complementa que em regiões tropicais é mais comum a ocorrência de estratificação/desestratificação diária ou estratificação durante a primavera, verão e outono, com desestratificação no inverno. Na estratificação diária, o lago mantém uma estabilidade térmica durante boa parte do dia e, durante a noite, quando ocorre a perda de calor para a atmosfera, tem-se a desestratificação. Essas características associadas a baixa profundidade dos lagos tropicais têm como resultado uma pequena diferença de temperatura entre o epilímnio e o hipolímnio.

Já em ambientes mais profundos e sem ou pouca interferência de ventos, a estratificação da coluna se estende pela maior parte do ano, ocorrendo a desestratificação apenas no inverno, quando as temperaturas são mais amenas e há perda de calor (BRANCO *et al.*, 2009). Ainda em seus estudos, os autores constataram que um mesmo reservatório monitorado no inverno

pode assumir padrões de mistura diferentes, ou seja, em um ambiente de maior profundidade pode não haver uma mistura completa, uma vez que as forças meteorológicas podem não ser suficientes para quebrar toda a estabilidade da coluna.

Sobre o comportamento de estratificação em diferentes reservatórios, Miranda *et al.* (2009) realizaram um estudo nos reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Derivação do Jordão, Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (Foz do Areia), Governador Ney Aminthas de Barros Braga (Segredo) e Governador José Richa (Salto Caxias), chegando à conclusão que os quatro reservatórios analisados tenderam a uma estratificação durante todos os anos, apresentando, no entanto, uma desestabilidade nos meses próximos ao inverno.

Ainda sobre o padrão térmico vertical, a evolução durante o ciclo climatológico, a estratificação e a circulação, Tundisi e Tundisi (2008) ressaltam que os lagos e os reservatórios podem ser categorizados conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos lagos.

Classificação	Características
Lagos Amícticos	Ocorrem em regiões mais elevadas e de baixas altitudes, apresentando gelo permanentemente em suas superfícies.
Lagos Monomícticos	Apresentam período regular de circulação total e são subdivididos em quentes, que circulam durante o inverno e não apresentam gelo em sua superfície, e monomícticos frios, que apresentam estratificação inversa no inverno e gelo em suas superfícies.
Lagos dimícticos	Caracterizam-se pela ocorrência de dois períodos de circulação, uma no outono, outra na primavera, sendo comuns em regiões temperadas.
Lagos polimícticos	Apresentam muitos períodos de circulação no ano, com oscilações diurnas de temperatura e formação de termoclina durante o período diurno.
Lagos meromícticos	Nunca apresentam circulação completa e têm uma camada permanentemente sem circulação, denominada de monimolímnia.
Lagos Holomícticos	Apresentam circulação completa e não têm estratificação ocasional.
Lagos oligomícticos	Registrados principalmente em lagos rasos, apresentando circulação em períodos irregulares e se estratificam rapidamente, com estabilidade reduzida durante curtos períodos.

Fonte: Tundisi e Tundisi-Matsumura (2008).

De acordo com a classificação descrita na Tabela 1, segundo Alcântara e Stech (2011), o reservatório de Itumbiara é classificado como monomíctico quente, ou seja, apresenta um único período de mistura durante todo o ano. Em seus estudos, foi observado que de junho a setembro houve mistura da coluna d'água ao passo que de outubro a maio as águas mantiveram-se estratificadas.

Ainda segundo Tundisi e Tundisi- Matsumura (2008, p. 81):

O processo de estratificação em lagos monomícticos quentes ocorre com base no aquecimento térmico da superfície. Além disso, em certos lagos, durante o verão, existe um processo de alteração de densidade das camadas mais inferiores, por contribuição da água de precipitação mais densa e com menor

temperatura. Esse efeito de águas das chuvas auxilia no estabelecimento da termoclina e do metalímnio, estabilizando rapidamente o lago.

Vale mencionar que um dos fatores que estão diretamente relacionados com a desestratificação da coluna d'água são as frentes frias, que, segundo Alcântara (2010), são associadas com a drástica redução de temperatura do ar e da pressão atmosférica e com o aumento da intensidade dos ventos. Ou seja, com a passagem das frentes frias, ocorre a perda de calor armazenado na coluna d'água, conseqüentemente havendo uma desestabilização e a promoção de processos de mistura convectiva.

Tundisi e Tundisi-Matsumura (2008) acrescentam que os fatores que desencadeiam os processos de estratificação/desestratificação térmica em lagos e represas são os mesmos. No entanto, segundo eles, em represas, como é o caso do reservatório de Itumbiara, pode ocorrer a estratificação hidráulica em consequência da saída da água em diferentes profundidades. Ademais, podem ocorrer acentuados gradientes verticais causados pela entrada dos afluentes e a estratificação causada pela saída das águas do vertedouro, causando gradientes horizontais em uma dada extensão.

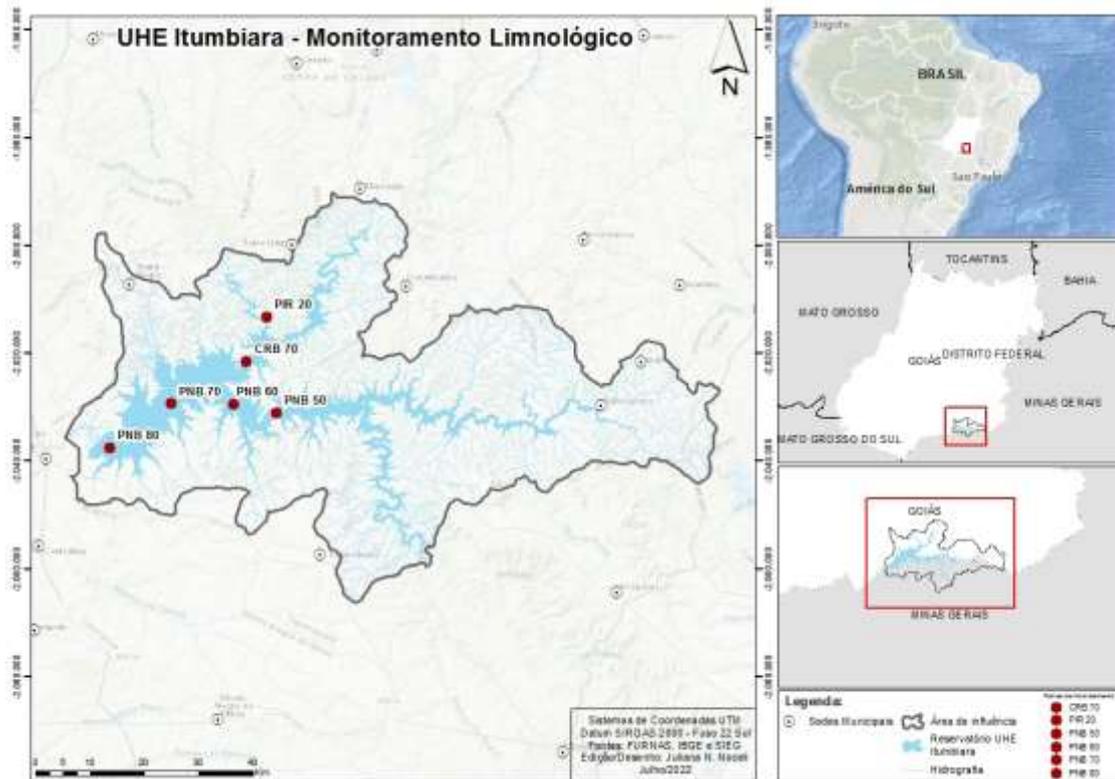
Concomitante com a estratificação térmica, tem-se a estratificação química, ou seja, compostos inorgânicos e orgânicos que podem apresentar uma distribuição heterogênea na coluna d'água. Geralmente a primeira estratificação condiciona a segunda; no entanto, em lagos tropicais, em especial em represas que foram formadas em áreas com densas florestas, a estratificação química independe da estratificação térmica (ESTEVES, 2011).

3. METODOLOGIA

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

A área escolhida para o desenvolvimento do trabalho é o reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Itumbiara (Figura 4), que está localizado na bacia do Rio Paraná, na divisa dos Estados de Minas Gerais e Goiás, sendo formado pelo represamento do rio Paranaíba, o que resulta na inundação de seus principais tributários, o Rio Araguari e o Rio Corumbá.

Figura 4: Localização do reservatório hidrelétrico de Itumbiara.



Fonte: A autora, 2022.

O barramento da UHE Itumbiara está localizado entre os municípios de Araporã (MG) e Itumbiara (GO) e está sob a gestão de Furnas Centrais Elétricas. Sua construção iniciou-se em novembro de 1974 e sua primeira unidade geradora entrou em operação em abril de 1980. Com seis unidades em operação, totalizando uma capacidade instalada de 2.082 MW, se constitui na maior usina do Sistema Furnas (ELETROBRÁS-FURNAS, 2021). Vale destacar que o Rio Paranaíba ainda não passou por análise e aprovação de enquadramento, sendo, portanto, definido como classe II, de acordo com o art. 42 da Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).

De acordo com Alcântara e Stech (2011), o reservatório possui forma dendrítica, com 778 km² de área inundada e volume total de 17 bilhões de m³ de água. A profundidade média do reservatório, no período de cheia, é de aproximadamente 30 metros, sendo que a profundidade máxima é em torno de 70 metros nas porções próximas à barragem.

Na região de Itumbiara, o clima é representado por duas estações bem definidas sendo uma estação seca, que ocorre de abril a setembro, e uma estação chuvosa, que ocorre entre outubro e março (ALCÂNTARA; STECH, 2011). Podem-se verificar inesperadas alterações de temperatura; as mais significativas ocorrem em meados de agosto até janeiro, quando o clima

fica consideravelmente quente com temperaturas superiores a 40°C. A maior temperatura já registrada na região da UHE Itumbiara foi de 41,5°C, observada no dia 16 de outubro de 2008. Já a mínima foi de 2,0°C, no dia 18 de julho de 2000. A temperatura do ar varia em média de 25°C a 26°C na estação chuvosa e diminui para 21°C na estação seca.

A vegetação predominante é Campo e Cerrado, sendo o pequi, o angico, o jatobá, a aroeira, a sucupira branca, o murici e as gramíneas as plantas mais comuns. Essa vegetação predomina nas áreas inundadas pela represa. O relevo é constituído de partes montanhosas e onduladas. Entretanto, a maior parte da região é plana, ideal para o plantio de lavouras e uso pastoril. A região possui altitude variando de 320 a 448 metros (ALCÂNTARA; STECH, 2011).

A área inundada do reservatório abrange, também, alguns de seus principais tributários, tais como o Rio Corumbá e o Rio Araguari, que possuem usinas imediatamente a montante de Itumbiara, de modo que as condições fluviais originais já foram alteradas.

Para a escolha do reservatório, foi considerada a relevância dele no setor hidrelétrico, bem como a importância para o setor econômico no seu entorno e a contribuição de afluentes com importantes cargas diluídas no reservatório.

Atualmente, Furnas Centrais Elétricas monitora 19 pontos no reservatório de Itumbiara. No entanto, devido à baixa profundidade, apenas nos pontos descritos na

Visando a uma melhor análise da estratificação, foram escolhidos pontos considerando-se a sua localização e os principais afluentes, como, por exemplo, Rio Piracanjuba e Rio Corumbá (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição e localização das estações estudadas entre setembro de 2018 e dezembro de 2021.

Estação	Latitude (sul)	Longitude (oeste)	Referência
PNB 50	18° 21' 26"	48° 47' 17"	A jusante do rio Araguari
PNB 60	18° 20' 35"	48° 51' 43"	A montante do rio Corumbá
PNB 70	18° 20' 17"	48° 58' 13"	A jusante do rio Corumbá
PNB 80	18° 24' 37"	49° 03' 36"	Próximo da barragem
PIR 20	18° 11' 44"	48° 48' 21"	Foz do rio Piracanjuba
CRB 70	18° 16' 14"	48° 50' 23"	A jusante do rio Piracanjuba

As campanhas para obtenção dos dados foram realizadas com periodicidade trimestral entre os anos de 2018 e 2021, sendo o descritivo apresentado na Tabela 3:

Tabela 3. Datas das amostragens com as respectivas estações do ano estudadas entre setembro de 2018 e dezembro de 2021.

Campanhas/Mês/Ano	Sazonalidade	Estações do ano	Data
1ª Campanha – Setembro de 2018	Seco	Inverno	26 a 30 setembro de 2018
2ª Campanha – Dezembro de 2018	Chuvoso	Verão	01 a 06 dezembro de 2018
3ª Campanha – Março de 2019	Chuvoso	Verão	11 a 16 março de 2019
4ª Campanha – Junho de 2019	Seco	Inverno	05 a 09 junho de 2019
5ª Campanha – Setembro de 2019	Seco	Inverno	25 a 29 setembro de 2019
6ª Campanha – Dezembro de 2019	Chuvoso	Verão	17 a 21 dezembro de 2019
7ª Campanha – Março de 2020	Chuvoso	Verão	24 a 29 de março de 2020
8ª Campanha – Junho de 2020	Seco	Inverno	22 a 26 de junho de 2020
9ª Campanha – Setembro de 2020	Seco	Inverno	20 a 25 setembro de 2020
10ª Campanha – Dezembro de 2020	Chuvoso	Verão	06 a 10 dezembro de 2020
11ª Campanha – Março de 2021	Seco	Verão	20 a 25 março de 2021
12ª Campanha – Junho de 2021	Seco	Inverno	24 a 29 junho de 2021
13ª Campanha – Setembro de 2021	Seco	Inverno	03 a 08 setembro de 2021
14ª Campanha – Dezembro de 2021	Chuvoso	Verão	13 a 17 dezembro de 2021

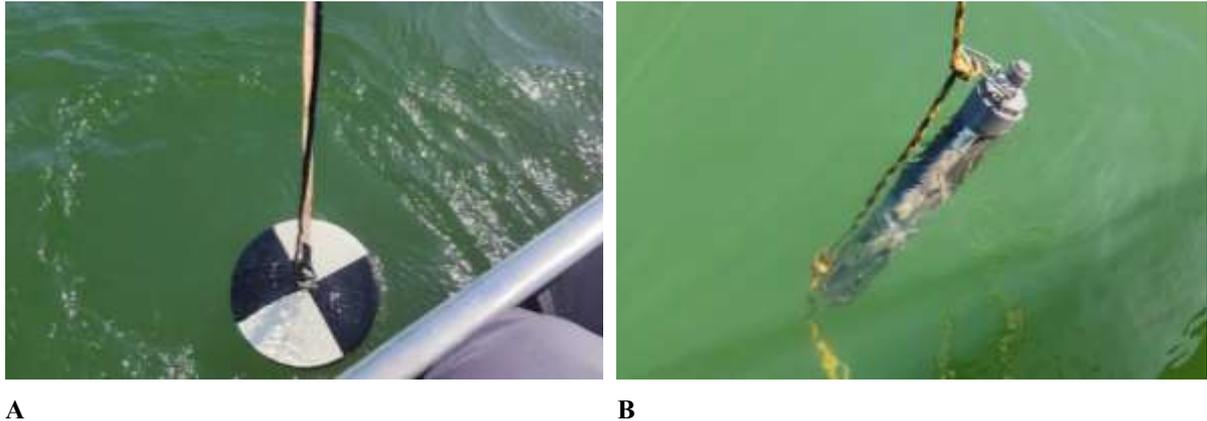
3.2. Obtenção dos dados de perfil, climáticos e hidrológicos

Para avaliação da estratificação térmica e química na UHE Itumbiara foram utilizados os dados do perfil de campo (temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, turbidez e transparência da água) e hidrológicas (profundidade média, tempo de retenção hidráulica teórico e variação no nível da água) fornecidos por Furnas nos monitoramentos realizados entre 2018 e 2021, com periodicidade trimestral. Também foram utilizados dados referentes à velocidade do vento, à radiação solar na área de influência do reservatório, à precipitação, à temperatura do ar e à umidade relativa do ar, os quais foram retirados da estação meteorológica INMET (Instituto Meteorológico Nacional).

A estação operada pelo INMET (código A035) localiza-se a 12 km do reservatório, no município de Itumbiara. Trata-se de uma estação automática em operação desde novembro de 2007. A temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento são monitorados a 10 m da superfície do solo e a radiação solar e a precipitação são monitoradas ao nível do solo. A temperatura é medida por um termômetro de mercúrio em vidro, a umidade relativa do ar é estimada por um psicrômetro, a velocidade do vento é medida por um anemômetro de conchas, a radiação solar é medida por um piranômetro e a precipitação é medida por um pluviômetro.

Em campo, os dados de temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH e turbidez da água foram medidos por meio de sonda multiparâmetro YSI, pelo menos até 60 metros de profundidade, enquanto a transparência foi medida por disco de Secchi (Figura 5).

Figura 5: (A) Disco de Secchi e (B) Sonda Multiparâmetro YSI no monitoramento da qualidade da água da UHE Itumbiara.



Fonte: Autor, 2022.

3.3. Delimitação da zona eufótica

A profundidade da zona eufótica (Z_{euf}) foi estimada através do disco de Secchi e sua estimativa feita a partir da relação apresentada na seguinte equação 1:

$$Z_{euf} = 2,7 \cdot DS(1)$$

em que Z_{euf} é a profundidade da zona eufótica expressa em metros, 2,7 é o fator de multiplicação para regiões tropicais e DS é a profundidade do disco de Secchi expressa em metros (COLE, 1994).

3.4. Caracterização da resistência e estabilidade vertical

A resistência térmica relativa (RTR) da massa d'água à mistura foi calculada entre as profundidades do epilímnio e hipolímnio (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Essa medição é calculada como a razão entre a variação de densidade entre duas camadas de água em profundidades adjacentes e a diferença de densidade da água pura entre 4 °C e 5 °C, utilizando a $Z_{euf} = 2,7 \cdot DS$ (equação 2):

$$RTR = \frac{d_{t_2} - d_{t_1}}{d_4 - d_5}(2)$$

Onde que dt_1 indica a densidade da água a temperatura t_1 , dt_2 indica a densidade da água a temperatura t_2 , d_4 indica a densidade da água pura a temperatura de 4 °C e d_5 indica a densidade da água pura a temperatura de 5 °C (TUNDISI;MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Vale enfatizar que os maiores resultados indicam a maior estabilidade térmica e, conseqüentemente, maior resistência à circulação vertical.

3.5. Delimitação do epilímnio, metalímnio, hipolímnio e zona de mistura

Através do pacote RLakeAnalyzer da programação R v.3.2.5 (R Core Time 2013) (WINSLOW *et al.*, 2015) foi realizada a caracterização das colunas d'água, sendo possível identificar o limite inferior e superior do metalímnio e, conseqüentemente, delimitar a zona de mistura sazonal (Zmix).

De acordo com Andreoli *et al.* (2011), a zona de mistura pode ser restrita ao epilímnio ou avançar até o hipolímnio no caso de mistura completa, podendo ser principalmente influenciada pelo vento.

3.6. Análise estatística

O conjunto de dados das variáveis de campo analisadas foi tabelado em planilhas eletrônicas no *software* Microsoft Excel (MICROSOFT, 2013) para organização e pré-tratamento das informações, a fim de buscar eventuais erros de digitação ou laboratoriais, ou, ainda, falhas nas séries de dados.

Para a comparação dos dados climáticos/hidrológicos entre os dois grupos (seco e chuvoso), os dados de cada grupo foram testados para normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Quando os dois grupos apresentaram normalidade, as diferenças entre as médias foram testadas com teste t de Student para variâncias homogêneas e/ou heterogêneas, e quando pelo menos um dos grupos não apresentou normalidade, as medianas foram comparadas pelo teste de Wilcoxon não pareado (Mann-Whitney).

Para a comparação dos dados de perfil das variáveis entre as profundidades, campanhas e pontos, foi realizado o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov. O pressuposto de homogeneidade de variância foi avaliado por meio do teste de Levene. Quando o pressuposto de homogeneidade de variância e a normalidade dos dados não foram atendidos, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis para as amostras independentes para comprovar se existiu o efeito do grupo.

Já para correlacionar as variáveis de campo entre si e as correlações entre os fatores climáticos e hidrológicos, foi aplicado o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov e, em seguida, realizado o teste de correlação de Spearman, uma vez que pelo menos uma variável não apresentou normalidade.

A análise de correlação de Spearman quantifica o grau de associação entre duas ou mais variáveis mensuradas pelo coeficiente “r” (BABA *et al.*, 2014), sendo o grau de força de correlação apresentado na escala no Quadro 1.

Quadro 1: Escala de coeficiente de correlação (seja negativo ou positivo)

Coeficiente de Correlação	
> 0,9	Muito forte
0,7 a 0,89	Forte
0,4 a 0,69	Moderada
0,2 a 0,39	Fraca
0,0 a 0,19	Muito fraca

Fonte: Baba *et al.* (2014)

Para todas as análises e gráficos de correlação, os dados foram analisados no ambiente R (R CORE TEAM 2019) e a significância de 5% foi adotada para todas as análises.

4. RESULTADOS

4.1. Dados climáticos e hidrológicos no reservatório de Itumbiara

Os dados climáticos na área de influência da usina de Itumbiara, entre setembro de 2018 e dezembro de 2021, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Dados climáticos no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

Sazonalidade	Meses	Precipitação (mm)	Umidade (%)	Temperatura do ar (°C)	Mensal máxima de vento (m/s)	Radiação global (KJ/m ²)
Seco	Set./18	22,0	50,6	25,2	4,31	1663,14
Chuvoso	Dez./18	169,6	69,5	26	2,00	1688,93
	Mar./19	300,6	76,3	25,1	1,32	1516,84
Seco	Jun./19	0,0	65	21,3	1,35	1429,81
	Set./19	51,8	42,7	27,8	2,66	1743,83
Chuvoso	Dez./19	343,6	75,7	25,4	1,50	1519,90
	Mar./20	61,0	72,3	25,5	1,25	1660,03
Seco	Jun./20	0,2	66,7	21,7	1,41	1390,49
	Set./20	0,6	40,2	27,2	2,56	1761,68
Chuvoso	Dez./20	109,4	66,3	27,3	1,43	1688,72
	Mar./21	23,8	64	27,2	1,66	1930,43
Seco	Jun./21	0,0	45,5	25,5	2,21	1725,20
	Set./21	0,2	33	31,2	6,87	945,12
Chuvoso	Dez./21	297,0	74,3	25,3	4,46	974,11
Média ± DP chuvoso		213,5 ±116,2	72,4±3,88	25,77±0,81	1,99 ±1,24	1508,1 ±273,4
Média ± DP seco		12,3 ±19	50,96±12,83	25,89±3,26	2,88 ±1,87	1573,7 ±309,81
Estatística entre os períodos		0,002	0,018	0,922	0,228	0,491

A média da precipitação mensal na área do reservatório de Itumbiara foi 98,56 mm, sendo 213,5 mm no período chuvoso e 12,33 mm no período seco, logo apresentou heterogeneidade entre os períodos amostrados ($p = 0,002$). Os maiores valores foram registrados nos meses de março de 2019, dezembro de 2019 e dezembro de 2021, enquanto as menores precipitações foram registradas em junho/2019/2020 e 2021 (Gráfico 1).

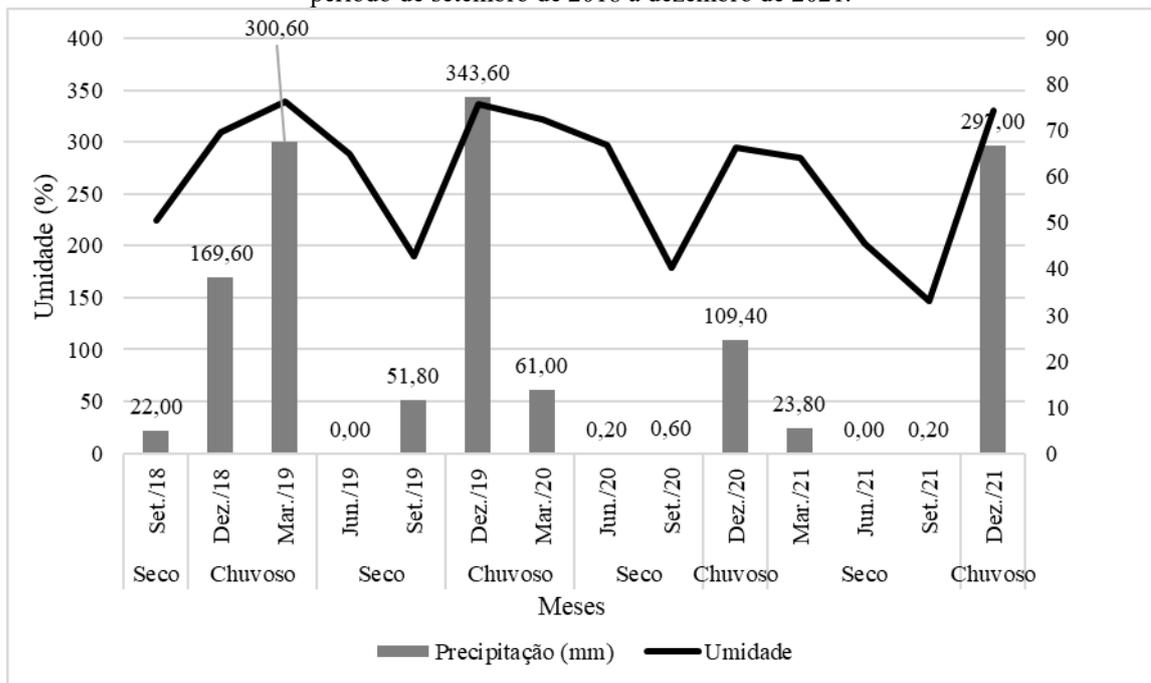
O volume e intensidade de águas pluviais é o principal fator hidro-meteorológico que interfere diretamente na condição da qualidade das águas. Das 14 campanhas realizadas entre setembro de 2018 e dezembro de 2021, oito foram realizadas no período seco (1^a, 4^a, 5^a, 8^a, 9^a, 11^a, 12^a e 13^a), quando foram evidenciados os menores registros pluviométricos, sobretudo nos meses de junho de 2019, junho de 2020, setembro de 2020, junho de 2021 e setembro de 2021. As demais campanhas foram realizadas durante o período chuvoso (2^a, 3^a, 5^a, 6^a, 7^a, 10^a e 14^a).

Quanto à umidade mensal, a média foi de 60,15% durante todo o período estudado, com oscilações de 33% no mês de setembro de 2021 a 76,3% em março de 2019. Quando comparados os períodos seco e chuvoso, verificaram-se médias correspondentes a 50,96% e

72,4%, respectivamente, confirmando uma diferença significativa da umidade nos períodos ($p = 0,018$) (Tabela 4).

No Gráfico 1, observa-se alto percentual de umidade, principalmente nos meses em que a precipitação foi mais intensa: março de 2019, dezembro de 2019 e dezembro de 2021. Com maiores precipitações, há maior quantidade de água disponível no ar (ESTEVEES, 2011), o que justifica os meses com maior índice pluviométrico apresentarem maior umidade relativa.

Gráfico 1: Variação mensal da precipitação (mm) e umidade do ar (%) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

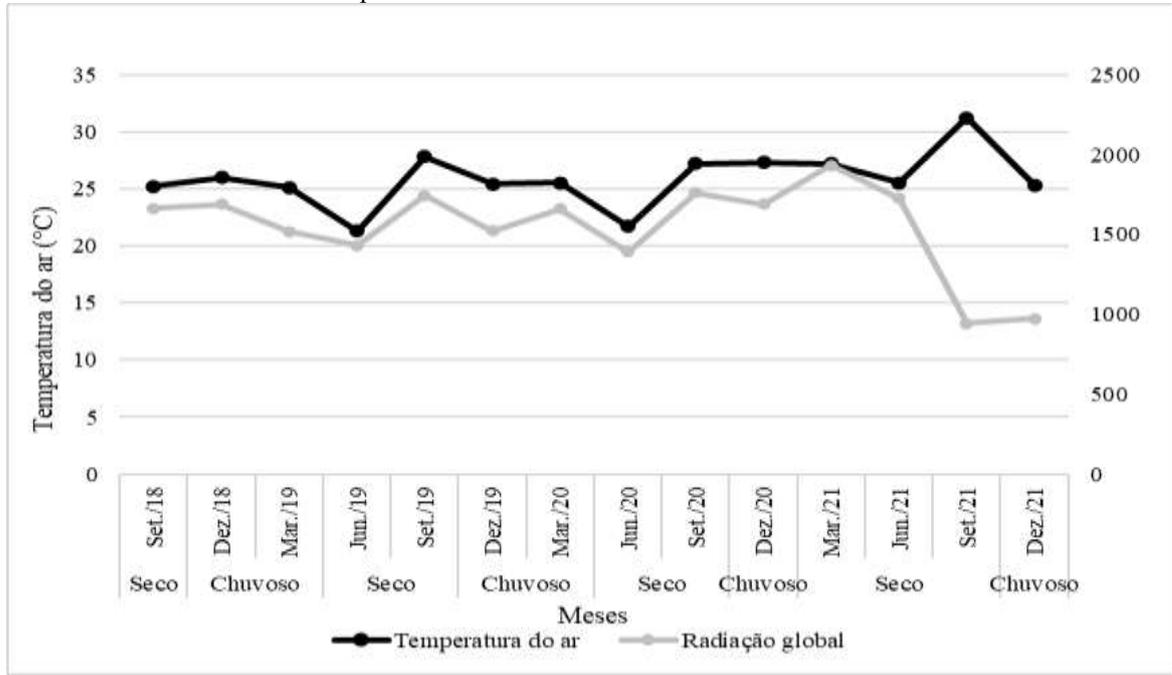


A temperatura do ar entre os meses de setembro de 2018 e dezembro de 2021 apresentou uma média de 25,83 °C, oscilando de 21,3 °C em junho de 2019 a 31,2 °C em setembro de 2021 (Tabela 4 e Gráfico 2). Comparando as temperaturas entre o período chuvoso e seco, verifica-se uma média de 25,77 °C e 25,88 °C, respectivamente, não sendo verificada diferença significativa entre os períodos ($p = 0,922$). Os maiores valores de temperatura do ar foram registrados nos meses de setembro de 2019 (27,8 °C) e setembro de 2021 (31,20 °C), enquanto as menores foram registradas em junho de 2019 (21,3 °C), junho de 2020 (21,7 °C) e junho de 2021 (25,5 °C).

Quanto à radiação, observa-se que grande parte dos resultados acompanharam o comportamento da temperatura do ar, apresentando uma média de 1545,59 KJ/m² no período monitorado, oscilando de 945,12 KJ/m² em setembro/2021 a 1930,43 KJ/m² em março de 2021

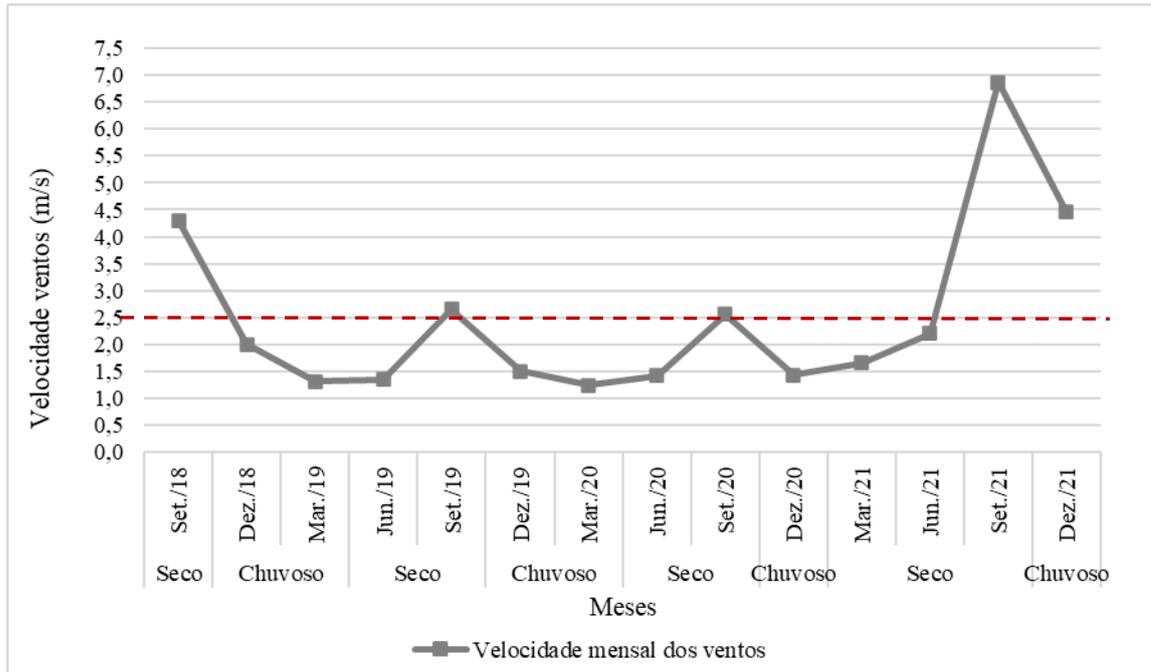
(Gráfico 2). Assim como para a temperatura do ar, não foram registradas diferenças significativas entre os valores dos períodos seco e chuvoso ($p = 0,491$).

Gráfico 2: Variação mensal da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), radiação global (KJ/m^2) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



Outro importante dado climático, que influencia a mistura e estratificação dos corpos d'água em um reservatório é a velocidade dos ventos (Tabela 4 e Gráfico 3). Foi registrado entre os meses de setembro de 2018 e dezembro de 2021 uma média mensal máxima de 2,50 m/s, com oscilações de 1,25 m/s em março de 2020 a 6,87 m/s em setembro de 2021. Comparando as médias máximas de ventos dos períodos com chuva e sem chuva, não foram registradas diferenças significativas nas médias ($p = 0,228$).

Gráfico 3: Variação mensal dos ventos (m/s) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



*A linha pontilhada indica o média mensal máxima de ventos para todo período de estudo.

Os dados hidrológicos na área de influência da usina de Itumbiara entre setembro de 2018 e dezembro de 2021 estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Dados hidrológicos no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

Sazonalidade	Campanhas	Tempo de residência (d)	Vazão afluente média diária (m ³ /s)	Vazão defluente média diária (m ³ /s)	Volume total (hm ³)	Nível d'água
Seco	Set./18	104,38	917,13	1121,27	7627,64	503,90
Chuvoso	Dez./18	85,36	1081,16	496,23	7592,87	503,80
	Mar./19	107,87	832,55	573,81	7426,94	503,42
Seco	Jun./19	226,72	542,43	402,13	10315,05	509,59
	Set./19	74,26	1262,07	1660,87	7922,60	504,59
Chuvoso	Dez./19	59,52	1320,06	1152,13	6230,81	500,28
	Mar./20	88,00	1419,65	644,48	9959,48	508,89
Seco	Jun./20	186,91	878,53	1071,90	12990,46	514,23
	Set./20	67,10	1478,57	2251,37	8397,09	505,64
Chuvoso	Dez./20	52,50	1298,87	929,84	5386,48	497,73
Seco	Mar./21	103,49	1009,29	399,03	8615,74	506,13
	Jun./21	109,90	679,83	997,27	5903,71	499,34
	Set./21	118,61	597,60	594,97	5872,16	499,25
Chuvoso	Dez./21	109,72	744,74	417,97	7410,52	503,36
Média ± DP chuvoso		83,8 ±23,8	1116,17 ±278,09	702,41 ±281,88	7334,52 ±1548,19	502,91 ±3,76
Média ± DP seco		123,92 ±55,1	920,68 ±325,77	1062,35 ±640,77	8455,56 ±2336,28	505,33 ±4,98
Estatística entre os períodos		0,123	0,260	0,225	0,330	0,340

A análise do volume do reservatório é de grande importância, uma vez que está relacionado com a estabilidade dos reservatórios; com a diminuição do volume, a ação dos ventos sobre as águas é facilitada, conseqüentemente se torna mais propícia a desestratificação (FREIRE *et al.*, 2009). Por outro lado, com o aumento do volume, o reservatório apresenta uma estabilidade maior, já que se torna mais resistente à ação dos ventos (ESTEVES, 2011).

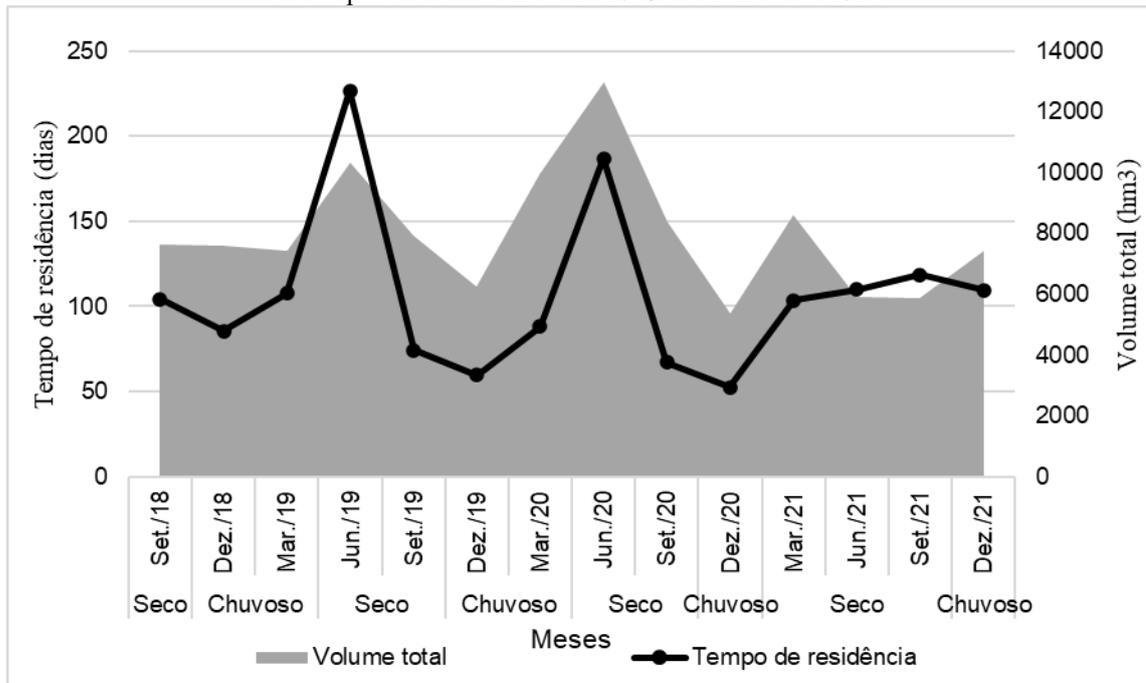
De acordo com o Gráfico 4, a média mensal do volume do reservatório foi de 7975,11 hm³, sendo registrada uma média de 8455,56 hm³ no período seco e 7334,52 hm³ no período chuvoso, logo não houve variações significativas entre os períodos ($p = 0,330$). Os maiores volumes foram verificados na campanha de junho/2019 e junho/2020, enquanto os menores foram registrados em dezembro/2020 e setembro/2021.

Outra característica a ser observada é o tempo de residência teórico, ou seja, o tempo médio em que determinada massa de água permanece em um sistema. Tal parâmetro é de grande importância para compreender os processos ocorridos na coluna d'água, como retenção de nutrientes e carga de sedimentação (TUNDISI; TUNDISI, 2008; WANG *et al.*, 2012).

Durante o período estudado, foi registrada uma média de 106 dias de retenção teórica, não sendo verificada uma diferença significativa entre os meses chuvosos e secos ($p = 0,123$), apresentando média de 123 dias no período seco e 83 dias no período chuvoso (Tabela 5 e Gráfico 4).

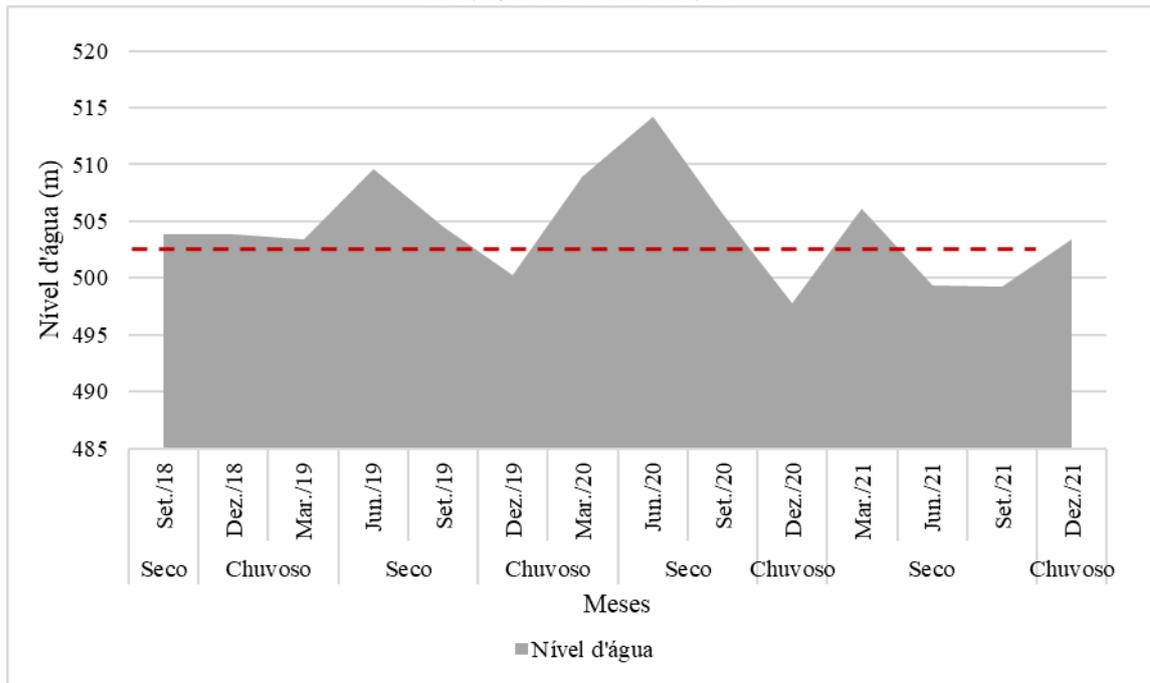
Percebe-se no Gráfico 4 que o tempo de residência foi diretamente proporcional ao volume total do reservatório de Itumbiara, apresentando aumento principalmente no período de seca (junho de 2019 e junho de 2020), períodos de maiores volumes.

Gráfico 4: Variação mensal do volume total (hm³) e tempo de residência (dias) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



No Gráfico 5 são apresentados os resultados mensurados para o nível da água no reservatório no período de estudo. O nível médio da água no reservatório corresponde a 504,3 metros durante o período de estudo, apresentando uma variação entre 502,91 metros durante o período chuvoso e 505,33 metros durante o período seco, não apresentando diferença significativa entre esses períodos ($p=0,340$). Os maiores valores da cota foram registrados nos meses de junho de 2020 (514,23 metros), junho de 2019 (509,59 metros) e março de 2020 (508,89 metros); o valor mínimo foi registrado no mês de dezembro de 2020 (497,73 metros).

Gráfico 5: Variação mensal do nível d'água (metros) no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



*A linha pontilhada indica o nível máximo médio para todo período de estudo.

4.2. Aspectos limnológicos

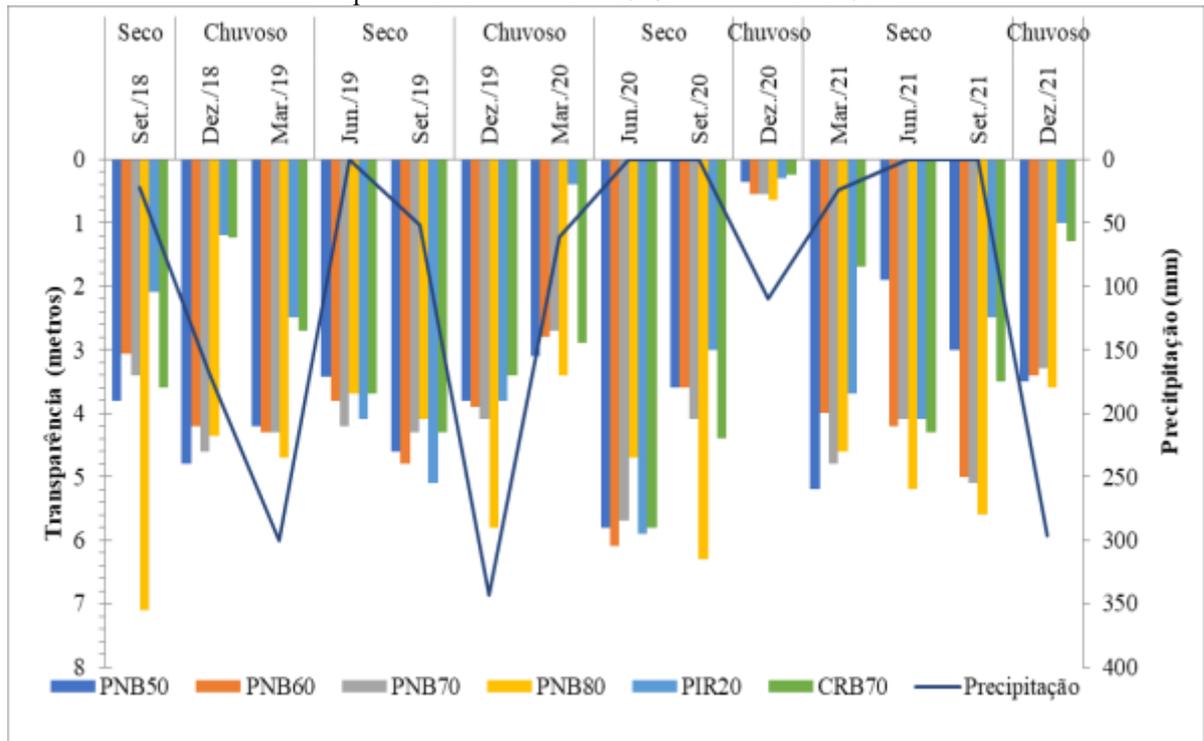
Os resultados obtidos para as variáveis limnológicas analisadas entre os períodos de setembro de 2018 e dezembro de 2021 estão apresentadas nos tópicos a seguir.

4.2.1. Transparência da água e profundidade do ponto

A transparência da água, medida por meio da profundidade de Secchi, é variável ao longo do ano, influenciando diretamente a profundidade eufótica (ESTEVEZ, 2011; ALCÂNTARA e STECH, 2011).

No Gráfico 6, seguem os valores de transparência registrados em cada ponto amostrado durante as 14 campanhas. É apresentada a média mensal de precipitação em cada ponto visando a uma comparação dos valores encontrados de transparência.

Gráfico 6: Variação mensal da transparência (metros) nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



Os valores de transparência da água variaram significativamente ($p = 0,03$) no período estudado, sendo registrados valores mínimos de 0,25 metros no ponto CRB 70 em dezembro de 2020 (período chuvoso) a 7,1 metros no PNB 80 em setembro de 2018 (período seco). Foi observado ainda que o período chuvoso (2,83 metros) apresentou uma média de transparência mais baixa do que no período seco (4,26 metros), ou seja, de uma forma geral, a transparência nos pontos monitorados nos meses chuvosos apresentou-se mais baixa.

De acordo com Esteves (2011) e Alcântara e Stech (2011), no período de estiagem são esperadas maior transparência e profundidade eufótica, enquanto no período chuvoso, devido ao aporte superficial difuso de sedimentos e minerais suspensos e dissolvidos, a turbidez elevada da água diminui a sua transparência, com consequente diminuição da profundidade eufótica.

Isso pode ser explicado pelo fato de as chuvas alterarem o fator de diluição da água com o aumento do volume dos rios e dos aportes de materiais de origem orgânica ou inorgânica, natural ou antrópica, para dentro desses corpos d'água. Com isso, ocorrem importantes mudanças na concentração de substâncias e no funcionamento dos sistemas aquáticos, com implicações nas características dos tributários e do reservatório.

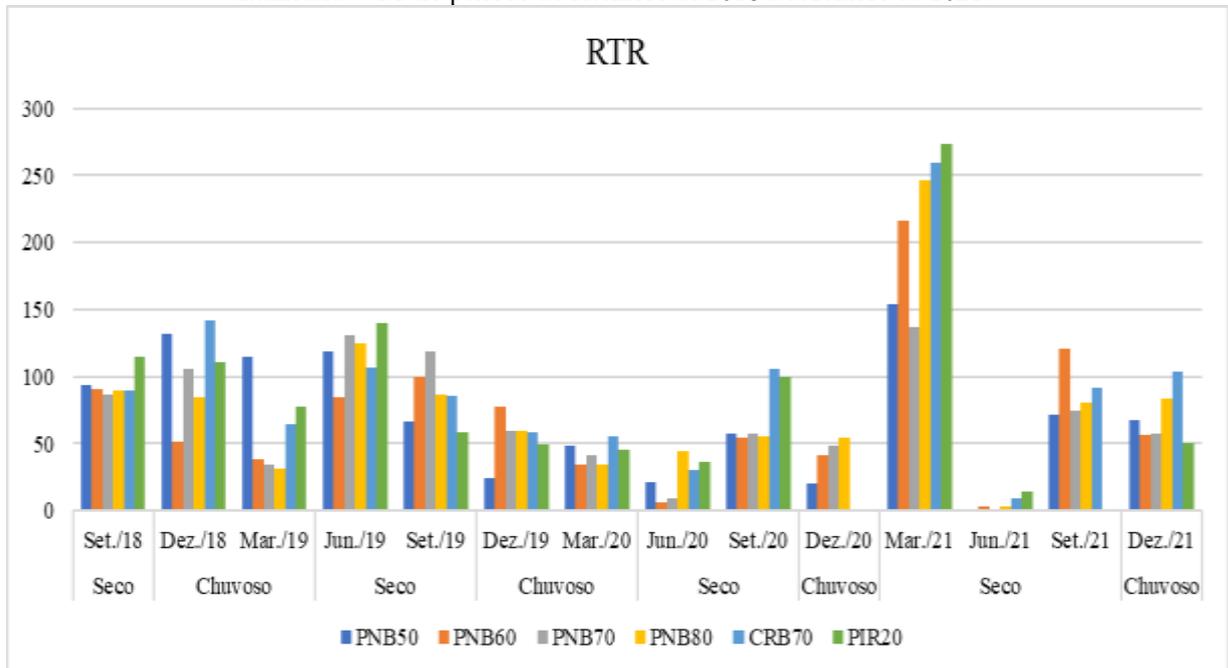
Quando analisada a transparência por ponto, verificou-se que durante o período estudado, o PNB80 apresentou maior transparência em 64,2% dos meses monitorados,

enquanto o ponto PIR 20 (Rio Piracanjuba – afluente de menor profundidade) apresentou menor transparência em 50% dos meses avaliados. Tal fato está associado à influência dos sedimentos de fundo.

4.3. Resistência térmica Relativa (RTR)

Como mencionado por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), a resistência térmica relativa (RTR) da massa d'água à mistura é calculada utilizando-se os valores de temperatura da água entre as profundidades do epilímnio e hipolímnio. No Gráfico 7 são apresentados os valores dos RTR para cada ponto e em cada campanha avaliada.

Gráfico 7: Variação mensal da Resistência Térmica Relativa (RTR) nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), quanto mais elevado for o resultado de RTR, maior estabilidade térmica e, conseqüentemente, maior resistência à circulação vertical.

Os valores registrados para a RTR apresentaram variações significativas entre as campanhas ($p = 1,18E-08$), com valores mais elevados no final do verão de 2021 (março de 2021) em todas as estações avaliadas, enquanto no início do inverno (junho de 2020 e 2021) foram observados valores mais baixos.

Em março de 2021 também foi registrada maior radiação solar. De acordo com Esteves (2011), a radiação solar influencia a estabilidade da coluna d'água, uma vez que a energia oriunda da radiação solar é absorvida nos primeiros metros de profundidade.

No inverno de junho de 2020 e 2021 foram registradas as menores temperaturas, influenciando a estabilidade da coluna d'água, uma vez que com a chegada do período frio há um resfriamento da camada superficial do lago, causando uma homogeneização na temperatura ao longo de toda a profundidade.

Comparando os valores calculados em cada ponto, não foi verificada diferença significativa ($p = 0,807$) entre os pontos; logo, não foi verificado um padrão de estratificação para cada ambiente.

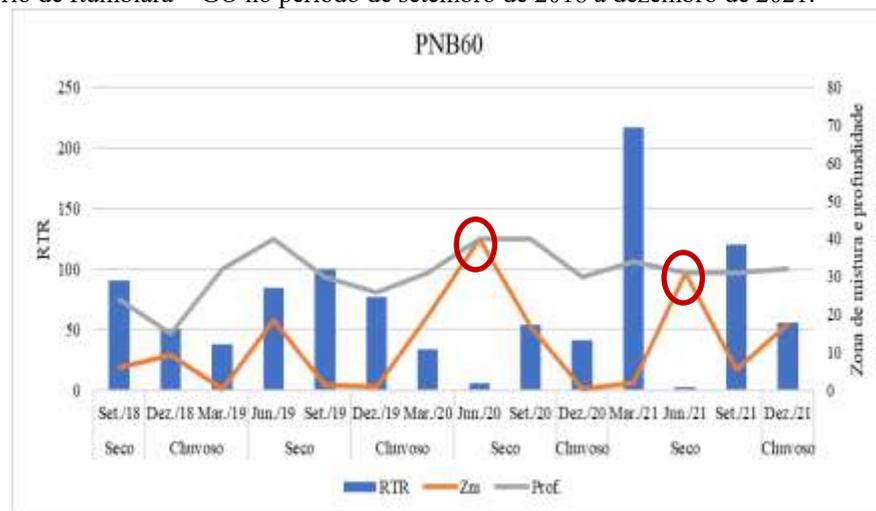
Para melhor compreensão da estratificação no reservatório da UHE Itumbiara foi delimitada a profundidade das colunas de cada ponto no período de estudo e, após isso, foi possível demarcar a profundidade da zona de mistura, podendo esta ser restrita ao epilímnio, quando o ambiente se encontra estratificado, ou se estender até o hipolímnio, quando há mistura completa (ANDREOLI *et al.*, 2011).

No Gráfico 8 é apresentada uma relação da zona de mistura com o cálculo da Resistência Térmica Relativa (RTR) e a profundidade total de cada ponto nos meses avaliados.

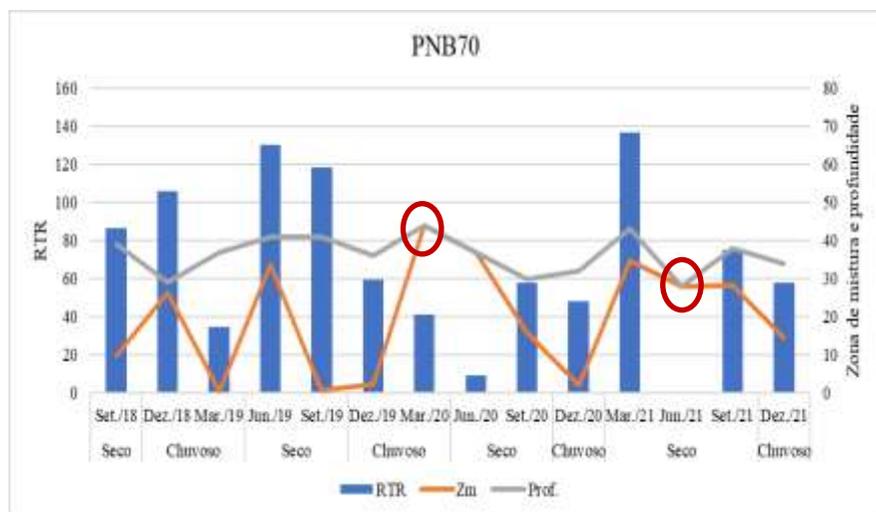
Gráfico 8: Relação RTR x Zona de Mistura x profundidade total do reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



A



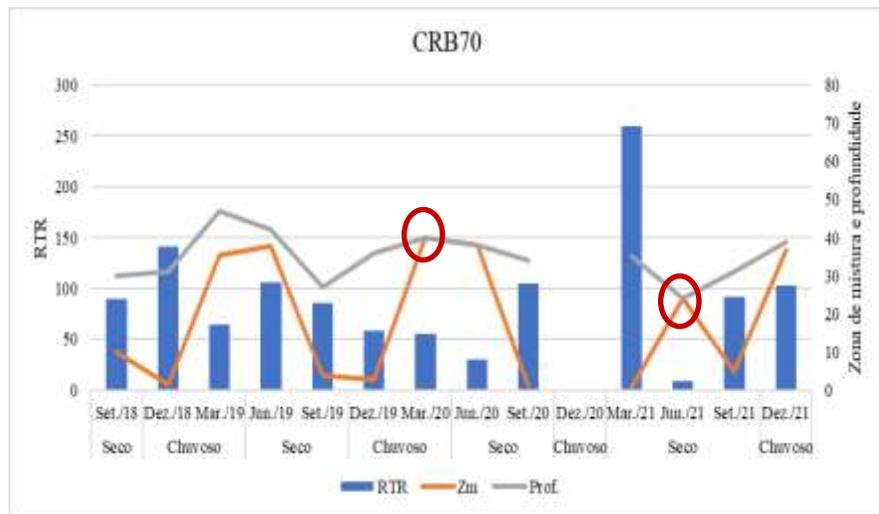
B



C



D



E

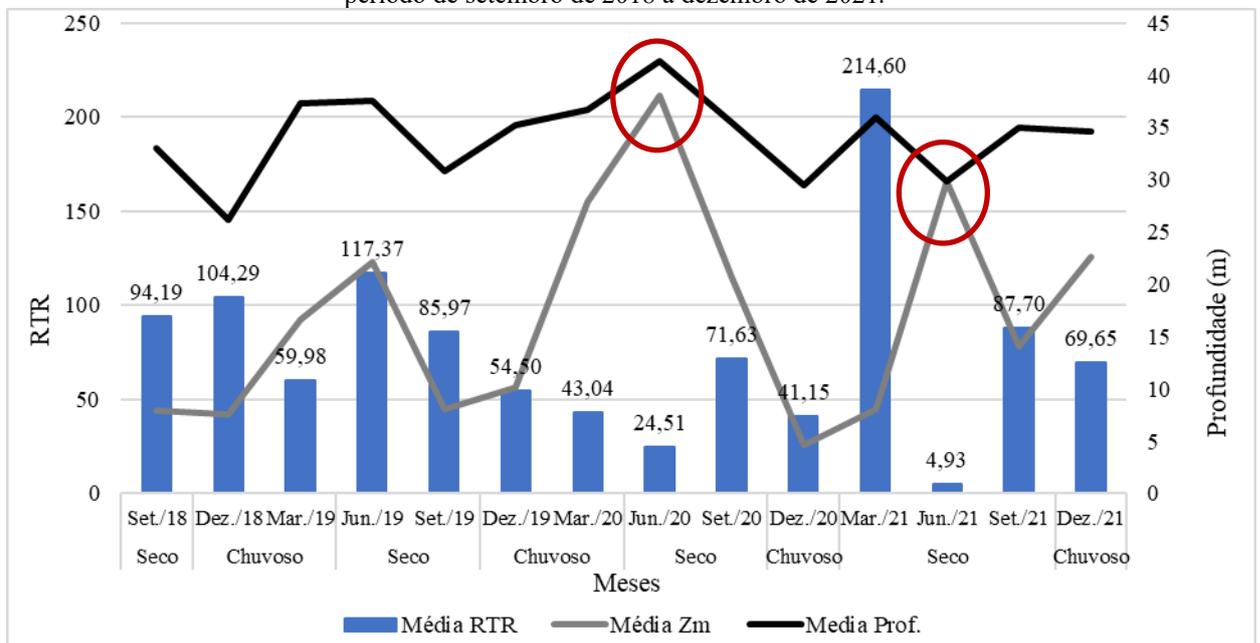


F

É possível notar que o período em que a RTR foi menor, a zona de mistura se igualou com a profundidade total de grande parte dos pontos. Avaliando cada ponto, percebe-se que houve uma desestratificação parcial ou total, em especial no final do verão e início do inverno, quando há um resfriamento da camada superficial e equiparação das densidades, possibilitando que as águas do epilimnio se desloquem para a camada do hipolimnio, propiciando uma mistura parcial ou total.

No Gráfico 9 é demonstrada a relação das médias da resistência térmica relativa com a zona de mistura e profundidade total em cada mês avaliado, possibilitando uma melhor visão do comportamento de mistura no reservatório da UHE Itumbiara. Ou seja, nos meses de menor temperatura (junho de 2020 e 2021) foram observados menores valores de RTR e uma zona de mistura mais próxima do fundo; logo, houve uma maior homogeneização nesse período.

Gráfico 9: Relação RTR x Zona de Mistura x profundidade total do reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



4.4. Análise de Perfil de dados de campo

A seguir é apresentada a análise das variáveis físico-químicas (temperatura da água, pH, turbidez, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica) analisadas ao longo da coluna d'água nas estações PNB 50, PNB 60, PNB 70, PNB 80, CRB 70 e PIR 20 no reservatório de Itumbiara entre os anos de 2018 e 2021 (setembro, dezembro, março e junho).

4.4.1. Temperatura da água

Para o parâmetro temperatura da água, não existe valor estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 e Deliberação COPAM 01/2008. No entanto, esse parâmetro é considerado de extrema importância, uma vez que em se tratando de termos ecológicos, a temperatura influencia diretamente os processos biológicos e as reações químicas e bioquímicas na coluna d'água, como a solubilidade dos gases dissolvidos e sais minerais (MACEDO, 2006).

A variação dos valores mensurados no perfil de temperatura da água ao longo das 14 amostragens exibiu resultados que oscilaram de 21,10 °C no ponto PNB 60 em setembro de 2021 a 32,7 °C no PIR 20 em março de 2021 (Gráfico 10 e Gráfico 11), apresentando uma variação significativa entre os resultados mensurados nas campanhas ($p = 0$) e entre as estações ($p = 3,253E-06$).

A campanha de março de 2021 apresentou a maior radiação solar, influenciando, assim, a elevada temperatura encontrada além do ponto PIR 20, com influência em especial do Rio Corumbá, que geralmente apresenta temperatura elevada devido à intensa influência do sol.

Gráfico 10: Box plot da temperatura da água por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

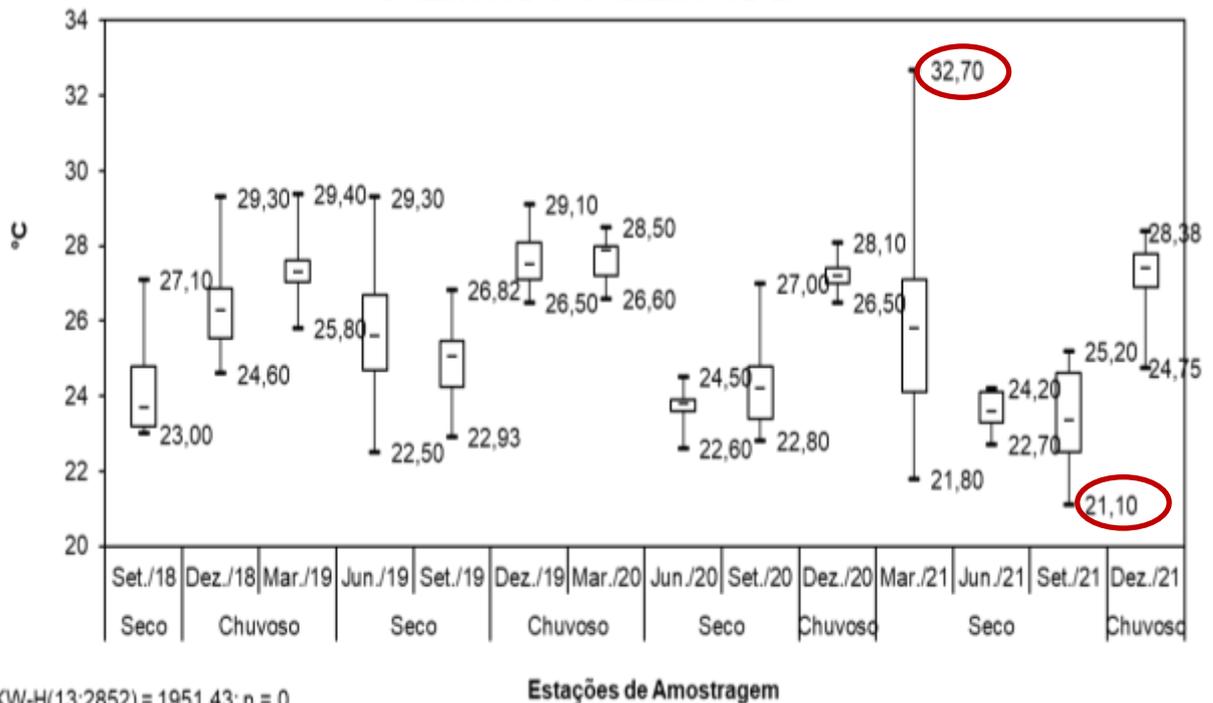
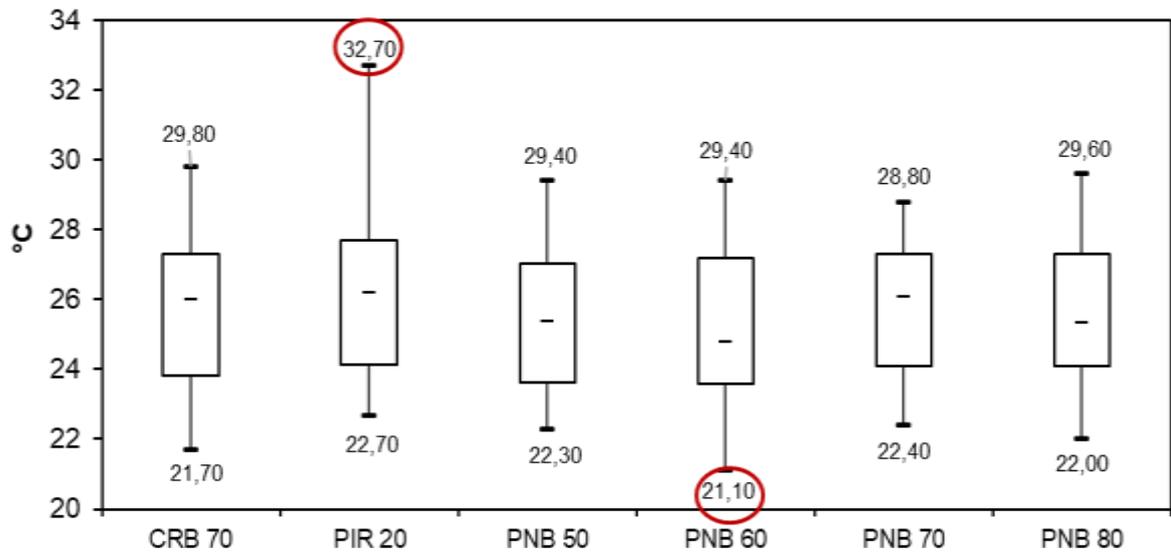


Gráfico 11: Box plot da temperatura da água por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

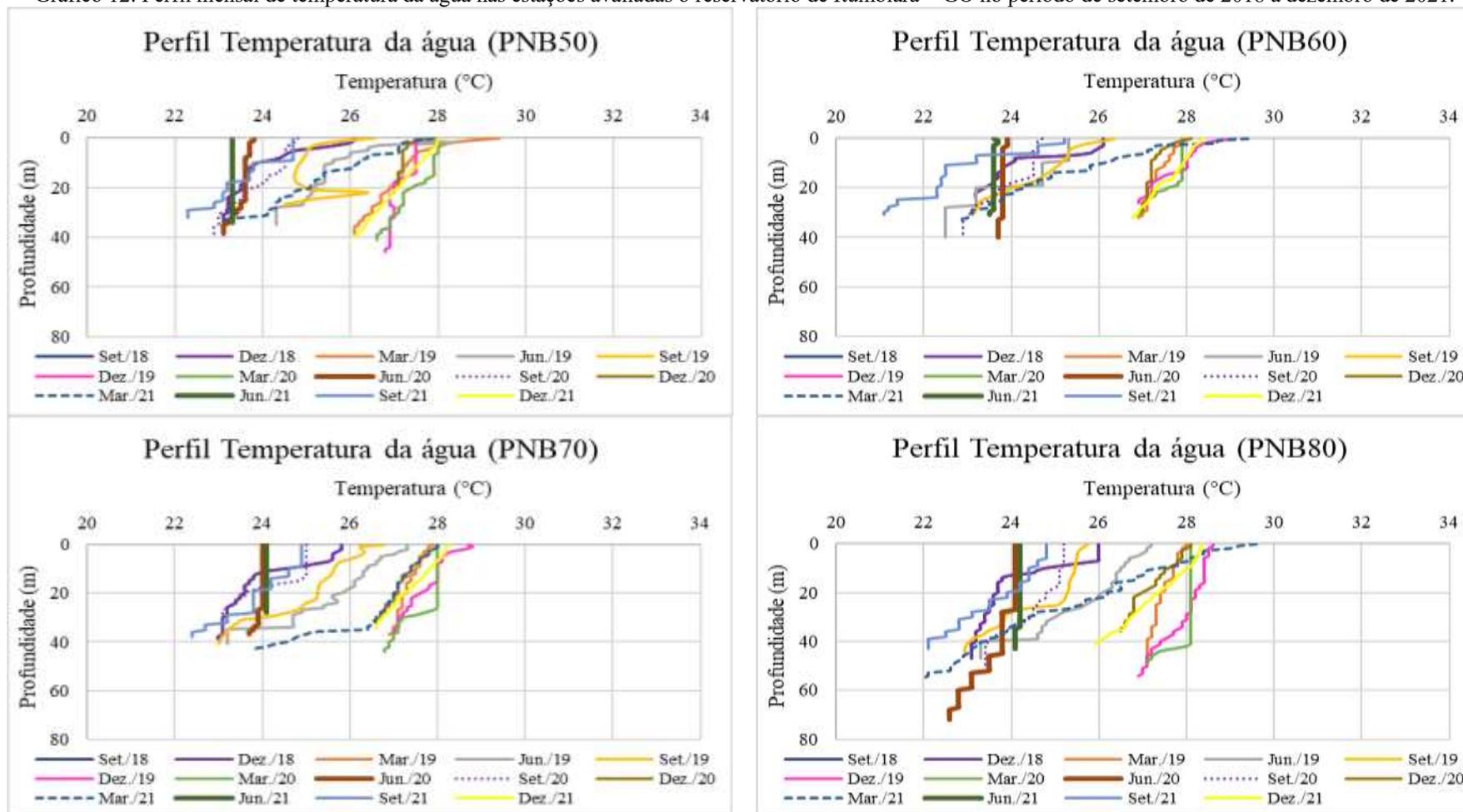


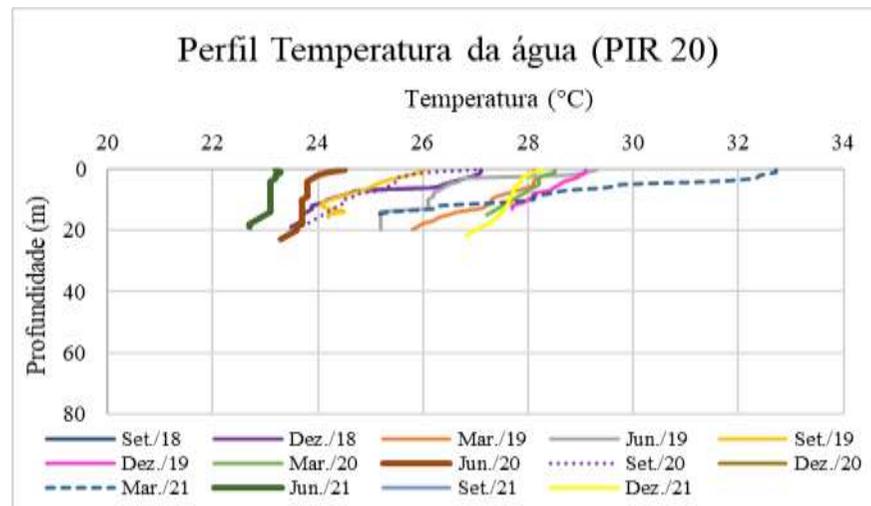
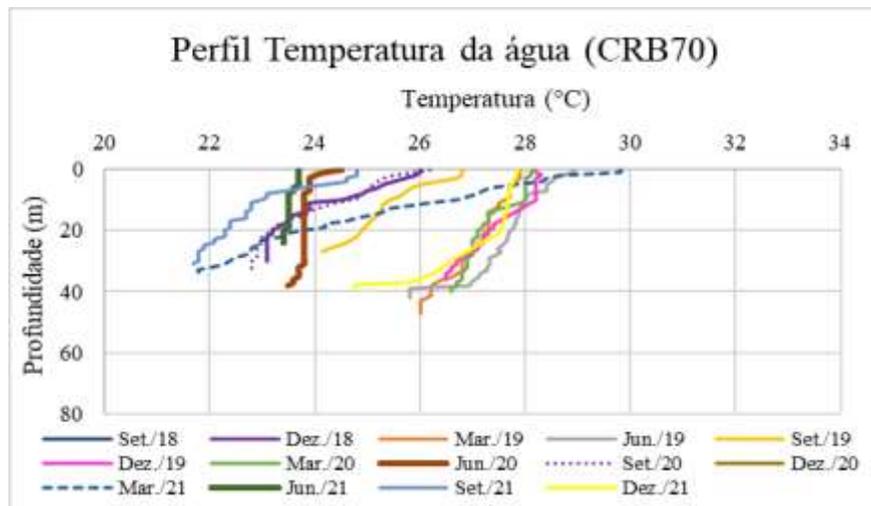
$KW-H(5;2852) = 33,31; p = 3,253E-06$ **Estações de Amostragem**

Vale ressaltar que segundo Percebon *et al.* (2005), processos naturais como latitude, altitude, estações do ano, cobertura de nuvens, vazão afluente e defluente, profundidade do corpo hídrico, bem como processos antrópicos, como descarga de efluentes, desmatamentos na área de drenagem e represamento das águas podem afetar a temperatura das águas.

A fim de avaliar o perfil espacialmente, é apresentada, no Gráfico 12, a variação de temperatura nas profundidades de cada ponto localizado no reservatório UHE Itumbiara entre os meses estudados.

Gráfico 12: Perfil mensal de temperatura da água nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.





Baseado nos valores de superfície e fundo, foram verificadas as seguintes amplitudes em cada ponto por campanha (Tabela 6).

Tabela 6. Amplitude da temperatura da água (°C) da superfície e fundo nos pontos do reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

Período	Campanhas	PNB50	PNB60	PNB70	PNB80	CRB70	PIR20
Seco	Set./18	3,00	2,90	2,80	2,90	2,90	3,60
Chuvoso	Dez./18	3,90	1,50	3,20	2,60	4,20	3,20
	Mar./19	3,30	1,10	1,00	0,90	1,90	2,30
Seco	Jun./19	3,60	2,80	4,10	3,90	3,10	4,10
	Set./19	2,07	3,19	3,77	2,82	2,67	1,83
Chuvoso	Dez./19	0,70	2,20	1,70	1,70	1,70	1,40
	Mar./20	1,40	1,00	1,20	1,00	1,60	1,30
Seco	Jun./20	0,70	0,20	0,30	1,50	1,00	1,20
	Set./20	1,90	1,80	1,90	1,80	3,40	3,10
Chuvoso	Dez./20	0,60	1,20	1,40	1,60	-	-
Seco	Mar./21	4,80	6,60	4,20	7,60	8,00	7,60
	Jun./21	0,00	0,10	0,00	0,10	0,30	0,50
	Set./21	2,40	4,10	2,50	2,70	3,10	-
Chuvoso	Dez./21	1,98	1,62	1,68	2,45	3,12	1,46

*Marcação em cinza são as menores amplitudes de temperatura registradas nas campanhas entre os anos 2018-2021.

Como apresentado na Tabela 6, em especial nos meses de junho de 2020 e junho de 2021, caracterizados por apresentarem baixos índices de precipitação e temperaturas mais amenas, observaram-se menores amplitudes de temperaturas entre o epilimnio e hipolimnio; logo, uma maior homogeneidade das densidades e conseqüentemente maior facilidade de mistura da coluna d'água, caracterizando um ambiente mais propício à desestratificação.

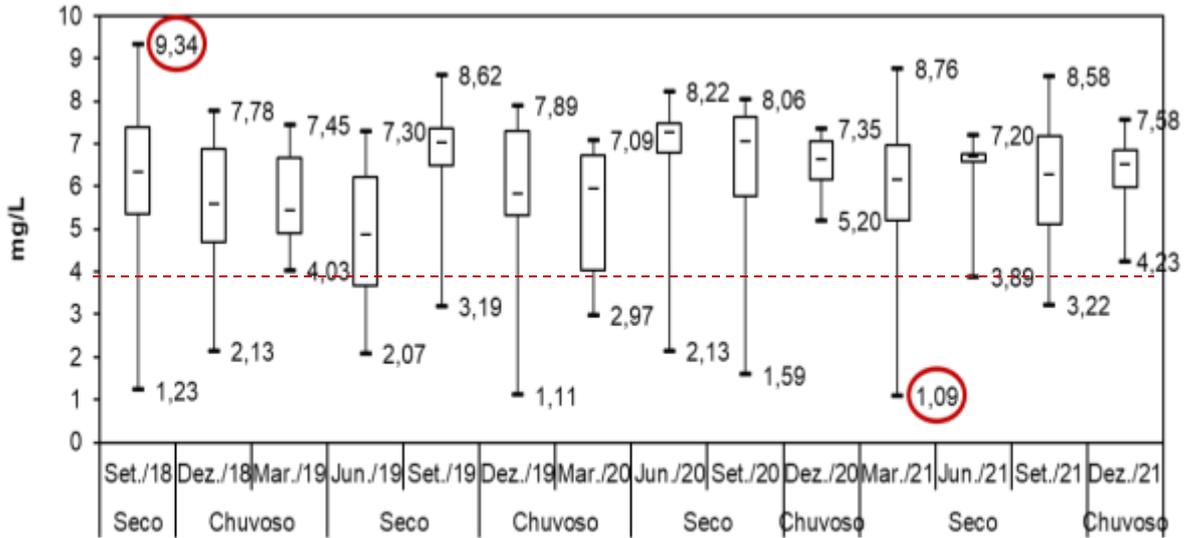
4.4.2. Oxigênio dissolvido

Para que as condições de qualidade dos cursos d'água de Classe 2 sejam mantidas, o limite de oxigênio dissolvido não deve ser inferior a 5 mg/L de O₂ (Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2). De acordo com Esteves (1998), o oxigênio dissolvido é um importante parâmetro limnológico, uma vez que afeta diretamente a biota aquática, regulando inúmeros processos químicos no ambiente.

O oxigênio dissolvido ao longo das 14 amostragens exibiu resultados que oscilaram de 1,09 mg/L no ponto PNB 50 na campanha março de 2021 a 9,34 mg/L no PIR 20 em setembro

de 2018 (Gráfico 13 e Gráfico 14). Sendo assim, foi verificada uma variação significativa entre campanhas ($p = 4,9818\text{-}E119$) e entre as estações ($p = 3,0206\text{-}32$).

Gráfico 13: Box plot de oxigênio dissolvido por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

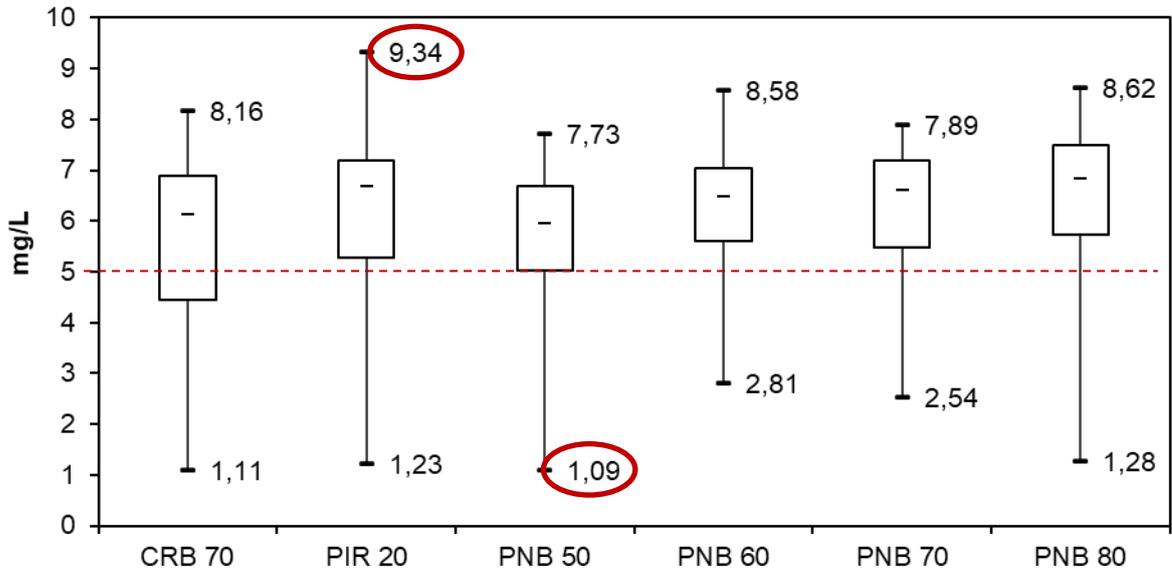


KW-H(13;2852) = 596,18; $p = 4,9818\text{-}E119$

Estações de Amostragem

A linha pontilhada indica o limite mínimo de oxigênio dissolvido estabelecido para águas de superfície.

Gráfico 14: Box plot de oxigênio dissolvido por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



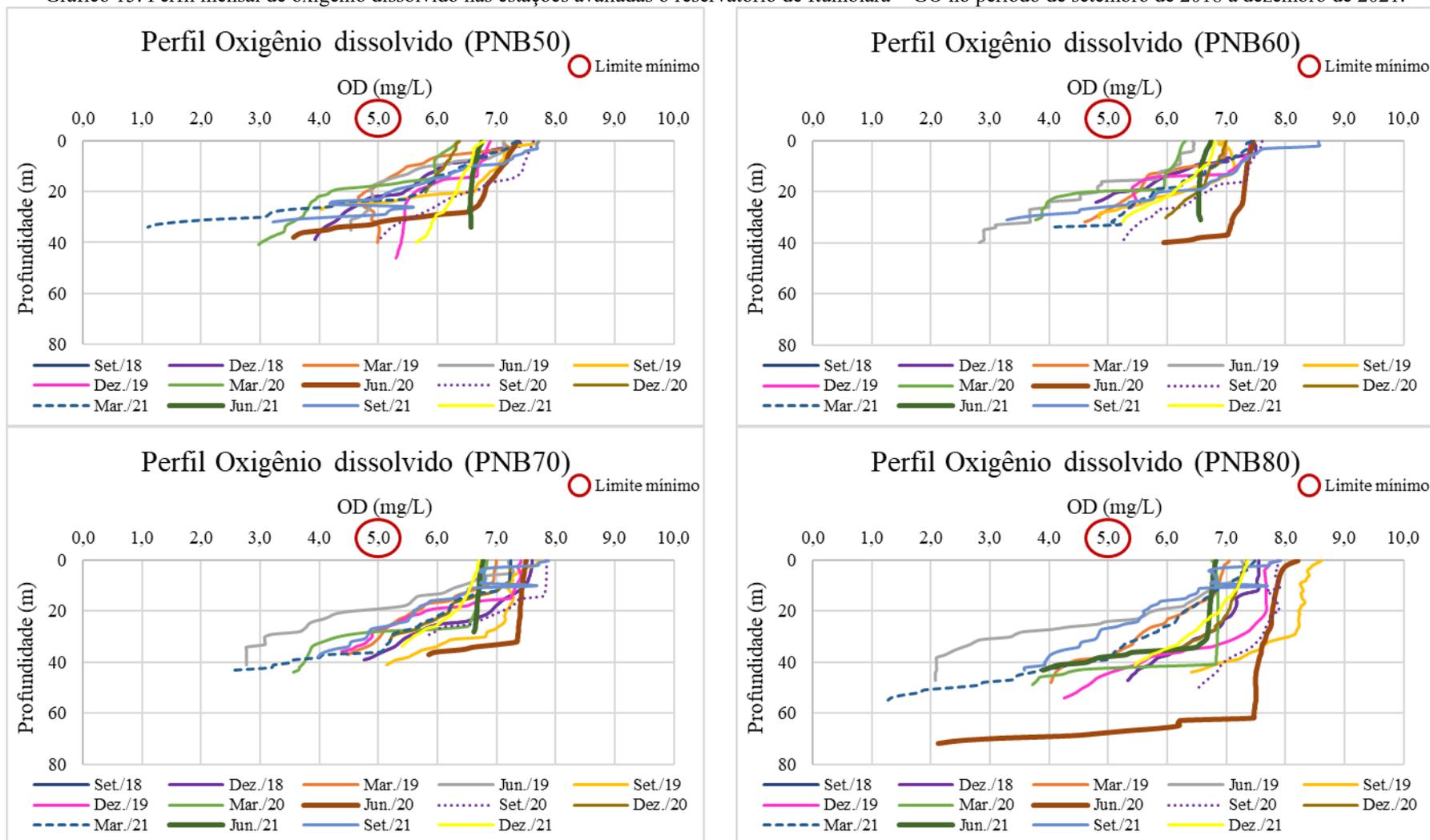
Estações de Amostragem

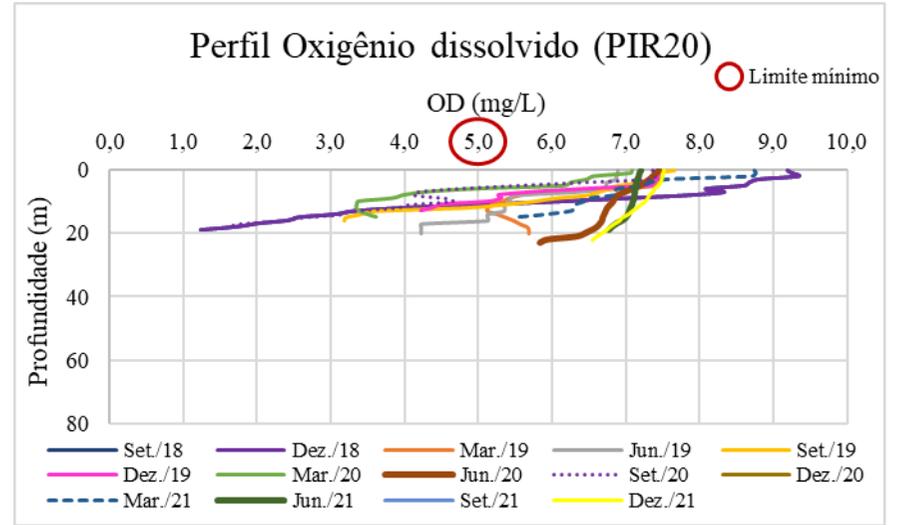
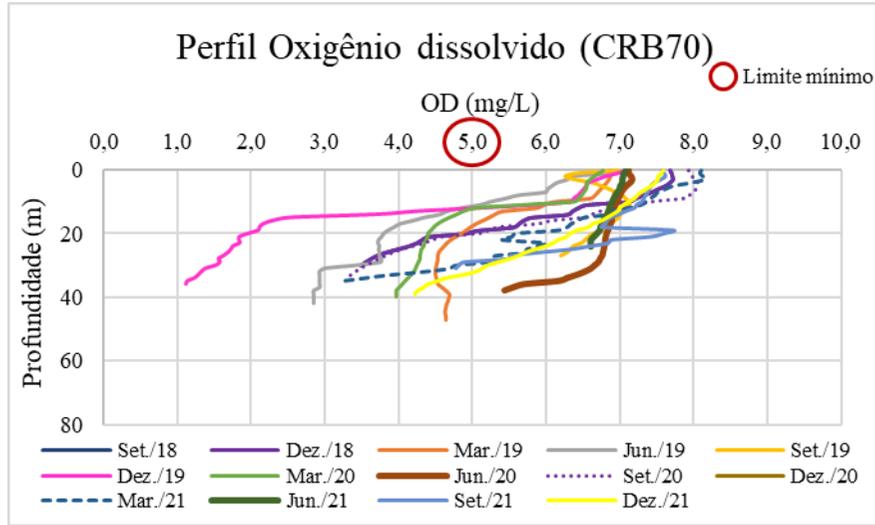
KW-H(5;2852) = 157,72; $p = 3,0206\text{-}E32$

*A linha pontilhada indica o limite mínimo de oxigênio dissolvido estabelecido para águas de superfície.

A fim de avaliar o perfil espacialmente, é apresentada, no Gráfico 15, a variação de oxigênio dissolvido nas profundidades de cada ponto localizado no reservatório UHE Itumbiara entre os meses estudados.

Gráfico 15: Perfil mensal de oxigênio dissolvido nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.





Analisando os gráficos de perfil, é possível observar que todos os pontos analisados na campanha de junho de 2021, com exceção do PNB80 (barramento), apresentaram valores de OD com uma diferença menor entre a superfície e fundo, ou seja, apresentaram uma mistura parcial. Também é possível observar valores menores que 5 mg/L a partir de 12 metros de profundidade, com exceção apenas do PIR20, que apresentou valores abaixo de 5 mg/L a partir de 6 metros nos meses de março e setembro de 2020 (Gráfico 15).

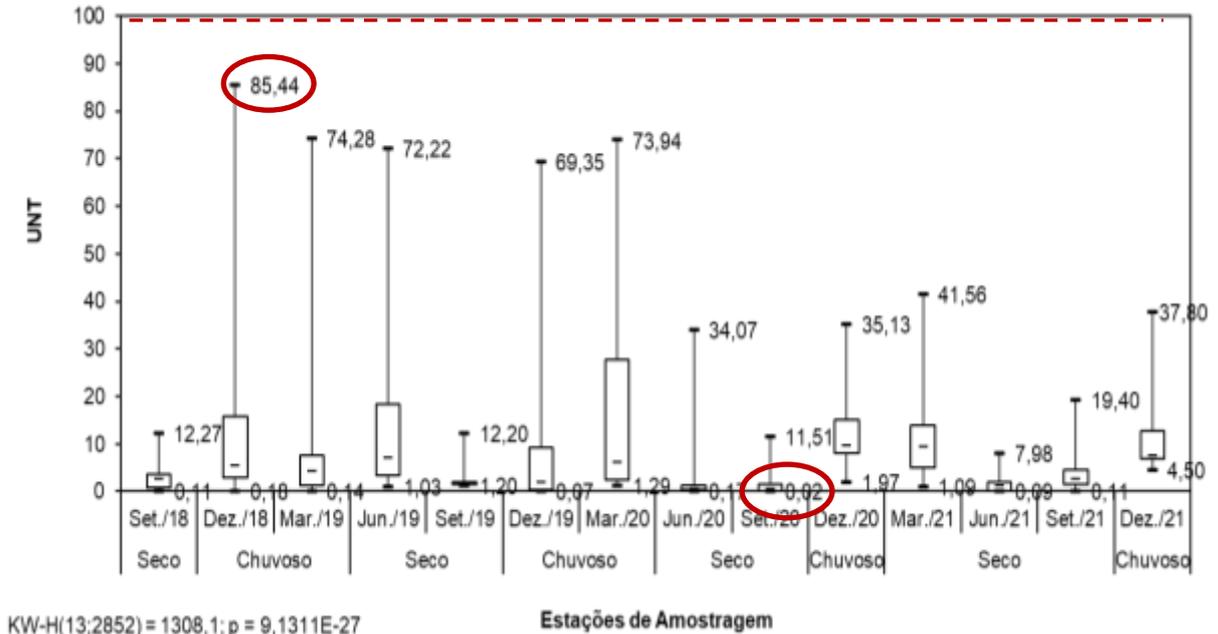
Analisando os valores de superfície, percebe-se que ao longo dos quatro anos a média da concentração de oxigênio dissolvido na superfície das 14 campanhas foi igual a 7,33 mg/L, com o menor valor no ponto PNB60 em março de 2020 e maior na estação PIR20 em setembro de 2018. O oxigênio dissolvido variou de 6,77 mg/L a 8,11 mg/L no CRB70, de 6,89 mg/L a 9,19 mg/L no PIR20, de 6,34 mg/L a 7,73 mg/L no PNB50, de 6,3 mg/L a 8,57 mg/L no PNB60, de 6,7 mg/L a 7,89 mg/L no PNB70 e de 6,75 mg/L a 8,62 mg/L no PNB80. Além disso, através dos perfis é possível observar que há uma estratificação no reservatório de Itumbiara e que em todas as amostragens analisadas as concentrações de OD nos pontos estiveram em acordo com o estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2.

4.4.3. Turbidez

Com relação à turbidez, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece um limite máximo de 100 UNT para as águas doces de Classe 2. Segundo Esteves (1998), a variável turbidez resulta da presença de partículas em suspensão na água, tais como bactérias, fitoplâncton, e substâncias orgânicas e inorgânicas advindas de processos erosivos do solo adjacente ou da ressuspensão do sedimento.

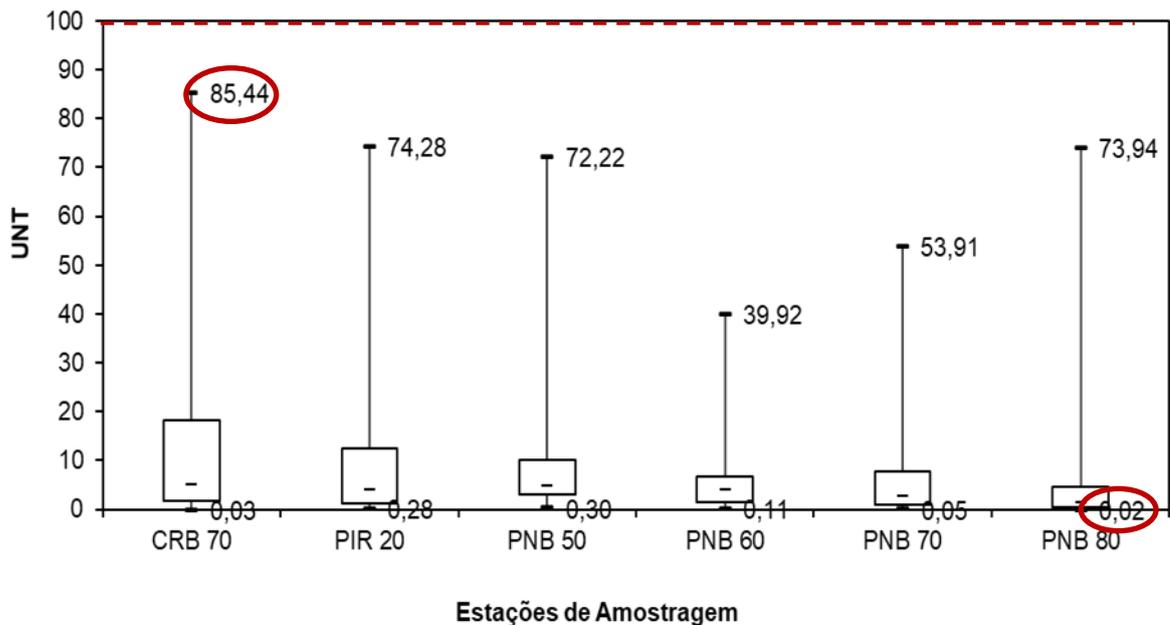
Ao longo das 14 amostragens, o parâmetro turbidez exibiu resultados que oscilaram de 0,02 UNT no ponto PNB 80 na campanha setembro de 2021 a 85,44 mg/L no CRB 70 em setembro de 2021(Gráfico 16 e Gráfico 17). Sendo assim, foi verificada uma variação significativa entre os resultados mensurados nas campanhas ($p = 4,9818 \cdot 10^{-119}$) e entre as estações ($p = 3,62 \cdot 10^{-37}$).

Gráfico 16: Box plot de turbidez por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



*A linha pontilhada indica o limite máximo de turbidez estabelecido para águas de superfície.

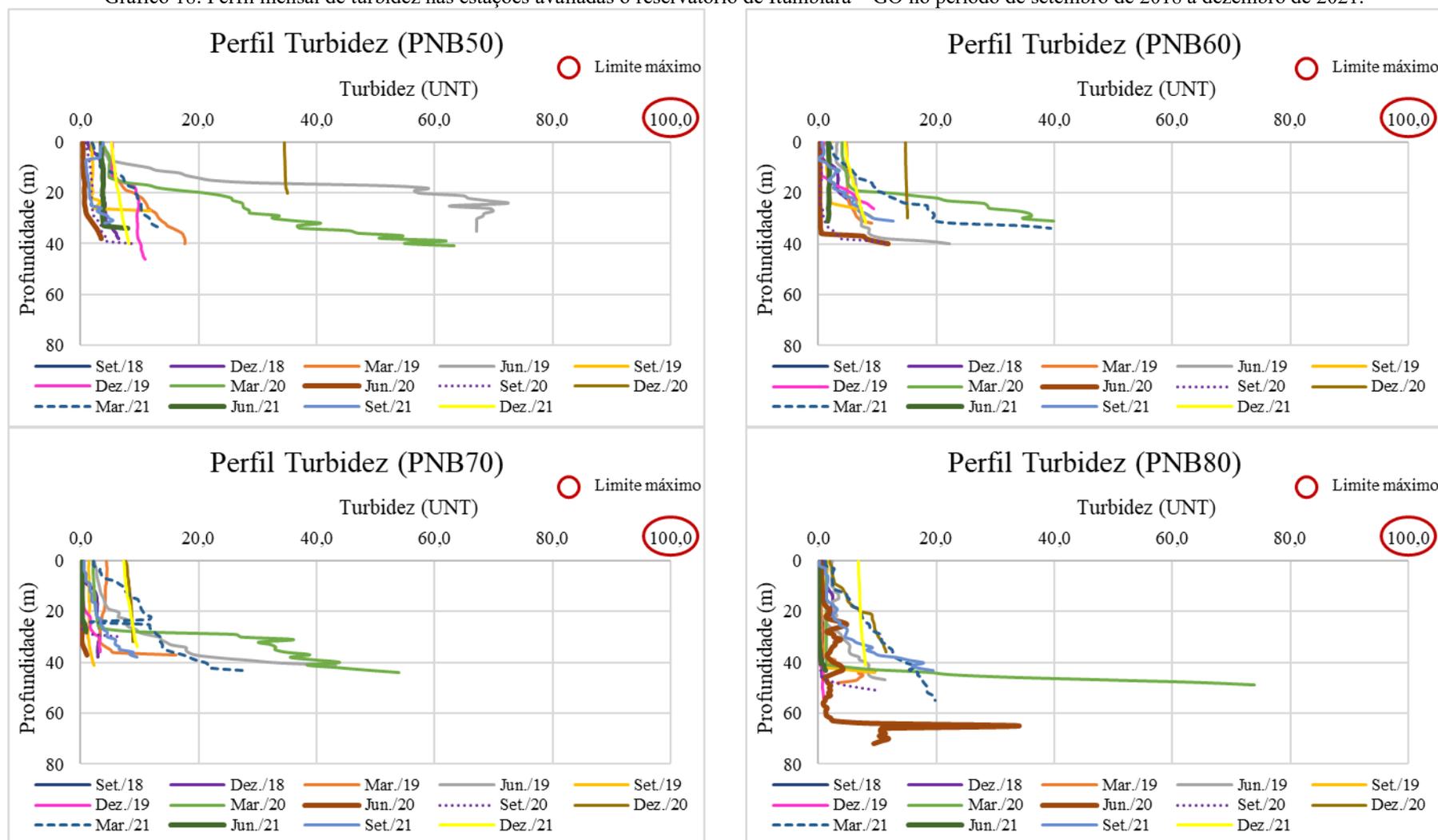
Gráfico 17: Box plot de turbidez por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

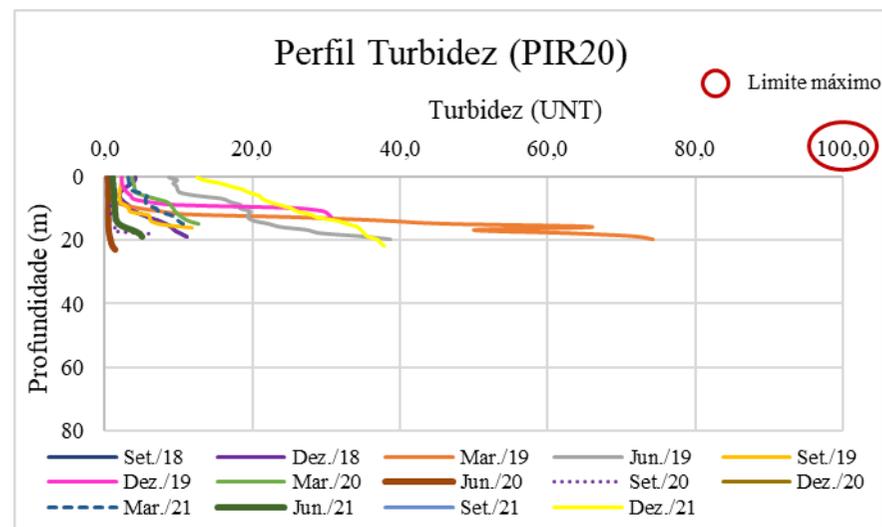
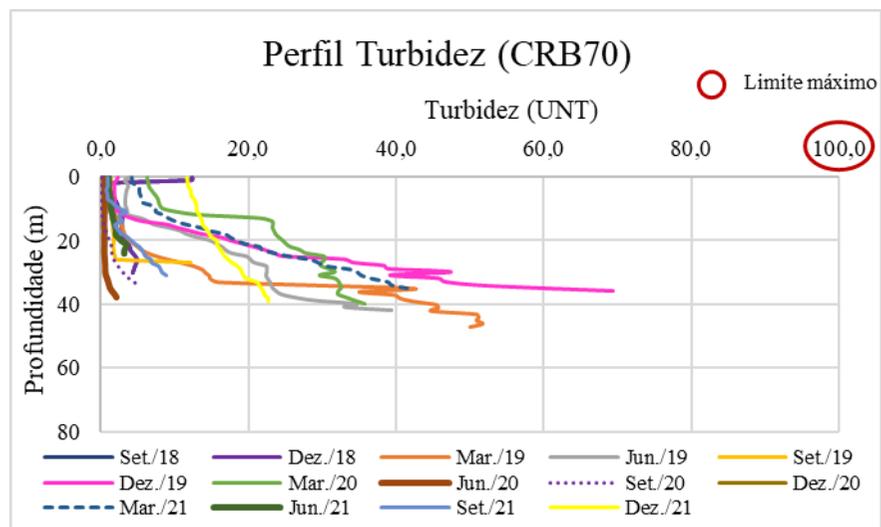


*A linha pontilhada indica o limite máximo de turbidez estabelecido para águas de superfície.

A fim de avaliar o perfil espacialmente é apresentada, no Gráfico 18, a variação de turbidez nas profundidades de cada ponto localizado no reservatório UHE Itumbiara entre os meses estudados.

Gráfico 18: Perfil mensal de turbidez nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.





De acordo com o apresentando no Gráfico 18, o reservatório de Itumbiara apresenta baixos valores de turbidez em sua superfície, não sendo verificada diferença significativa entre os valores na superfície das estações.

A média da concentração de turbidez na superfície nas 14 campanhas foi igual a 3,29 UNT, com o menor valor no ponto PNB 70 em setembro de 2020 e maior na estação PNB 50 em dezembro de 2020; logo, os valores registrados na superfície de cada um dos pontos de amostragem estiveram em conformidade com o estabelecido pela legislação ambiental durante as campanhas realizadas.

4.4.4. Condutividade elétrica

Para o parâmetro condutividade elétrica não há legislação que preconize um valor máximo para manter a qualidade da água. No entanto, de acordo com o recomendado pela Cetesb (2009), os valores devem estar abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, uma vez que valores superiores indicam ambientes impactados. Lima (2001) afirma que essa variável é de grande importância, pois sua quantificação pode fornecer informações tanto do metabolismo aquático como da produção primária (redução dos valores) e da decomposição (aumento dos valores).

Ao longo das 14 amostragens, a condutividade exibiu resultados que oscilaram de 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nos pontos PNB 50, PNB 60 e PNB 70 na campanha setembro de 2019 a 62,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no PIR 20 em setembro de 2018 (Gráfico 19 e Gráfico 20). Sendo assim, foi verificada uma variação significativa entre os resultados mensurados nas campanhas ($p = 3,4807\text{E}-194$) e entre as estações ($p = 0$).

Gráfico 19: Box plot de condutividade elétrica por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

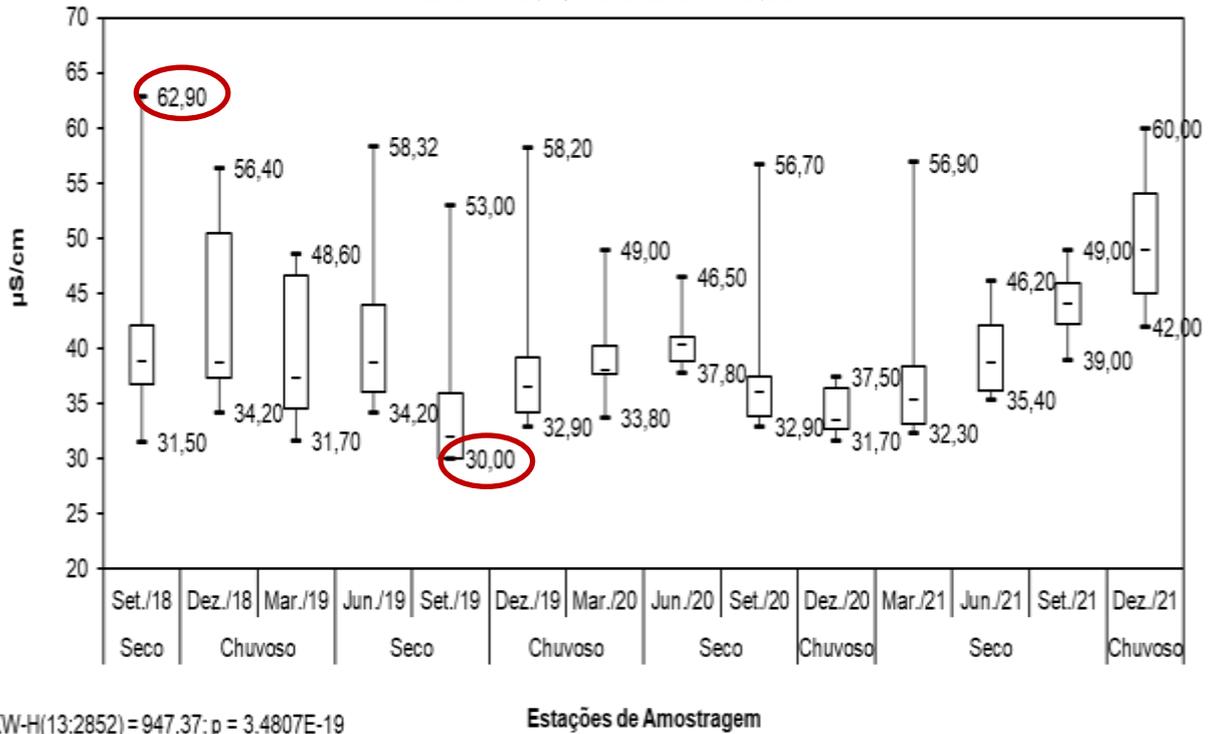
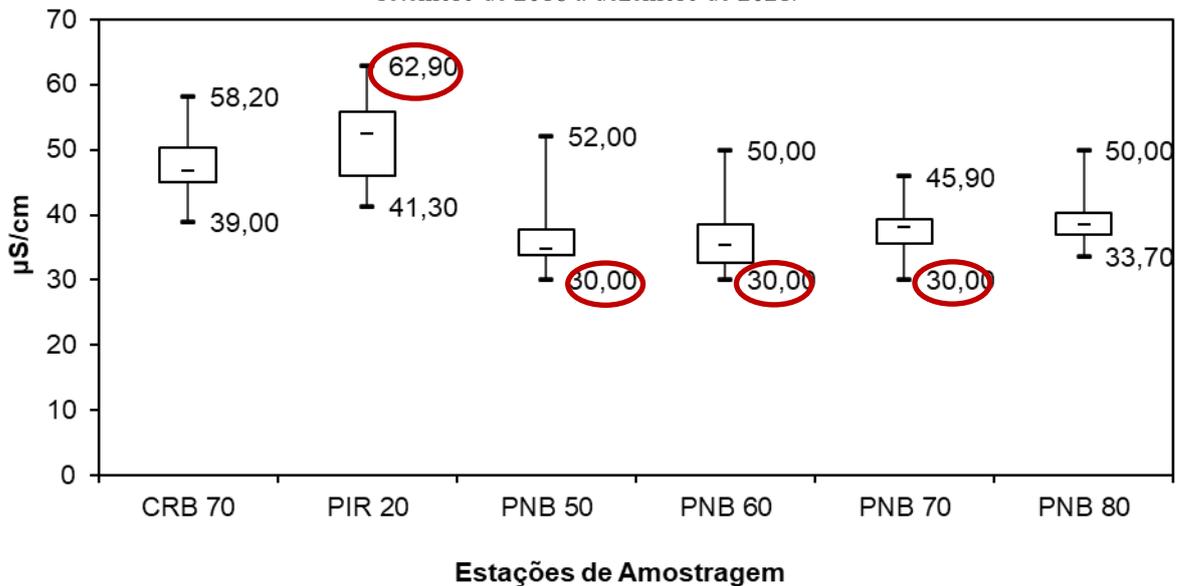
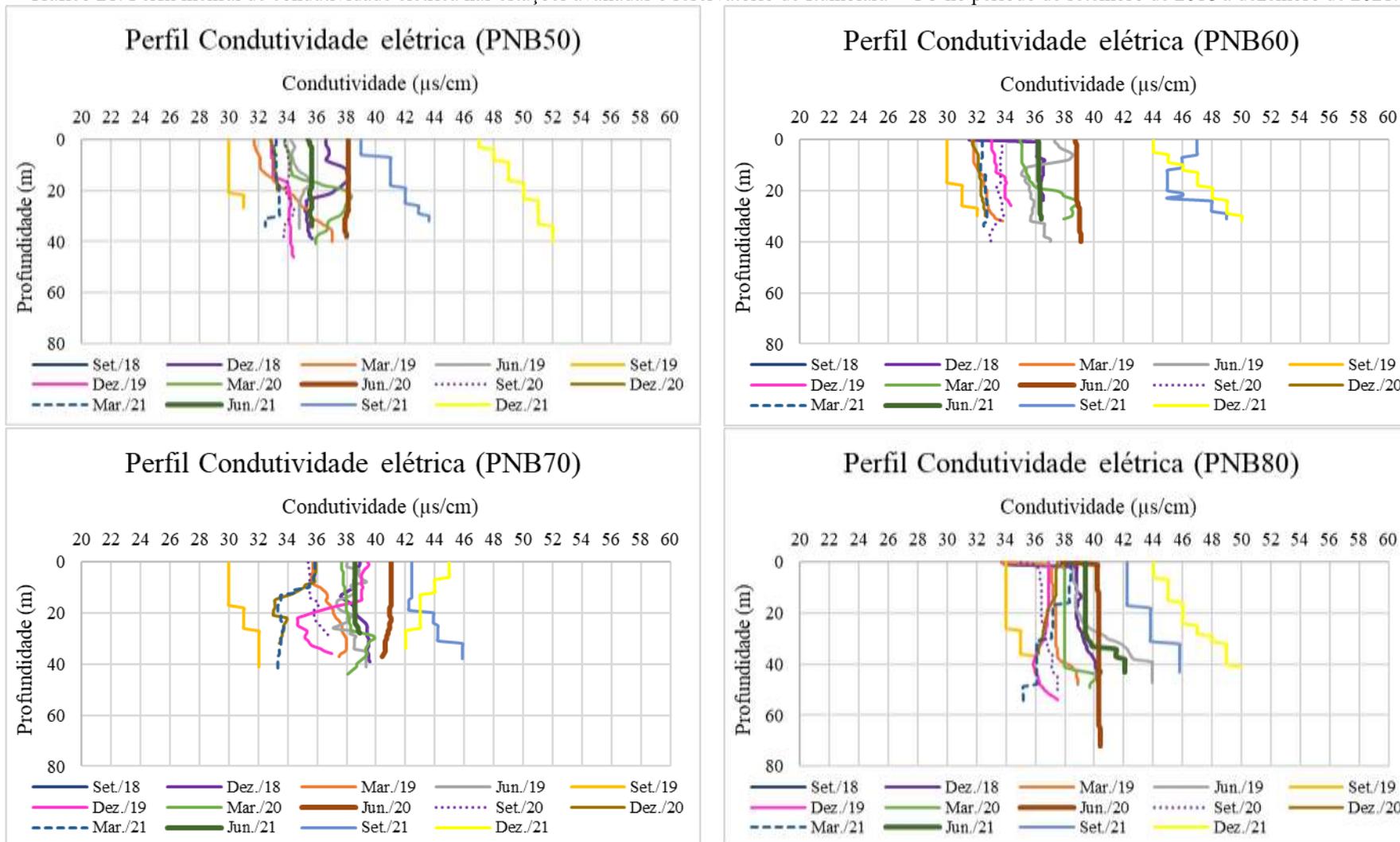


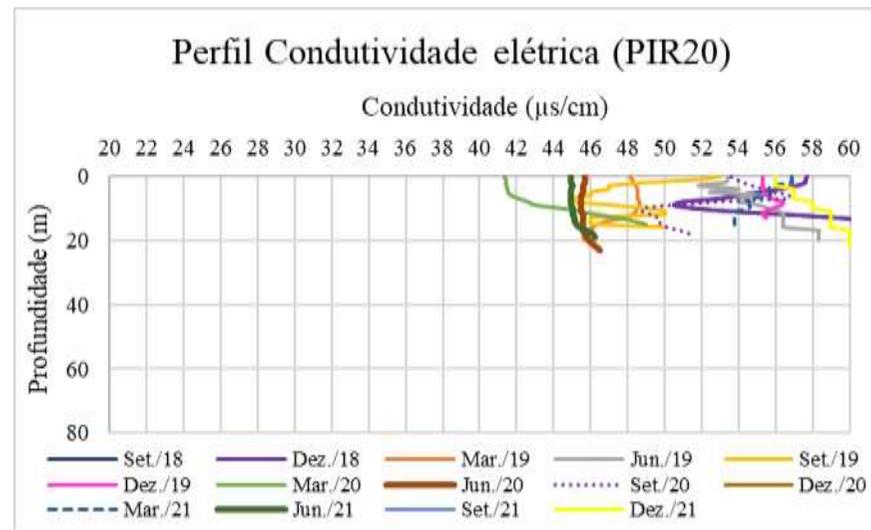
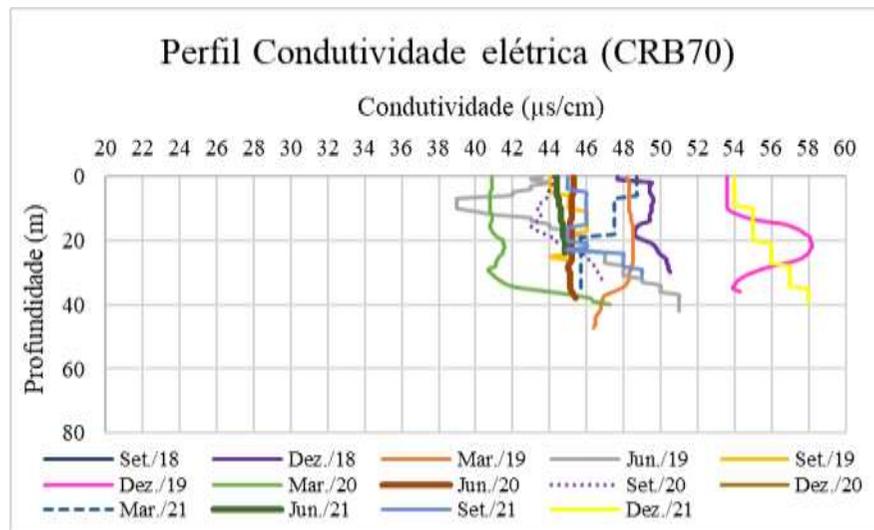
Gráfico 20: Box plot de condutividade elétrica por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



A fim de avaliar o perfil espacialmente, é apresentada, no Gráfico 21, a variação da condutividade nas profundidades de cada ponto localizado no reservatório UHE Itumbiara entre os meses estudados.

Gráfico 21: Perfil mensal de condutividade elétrica nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.





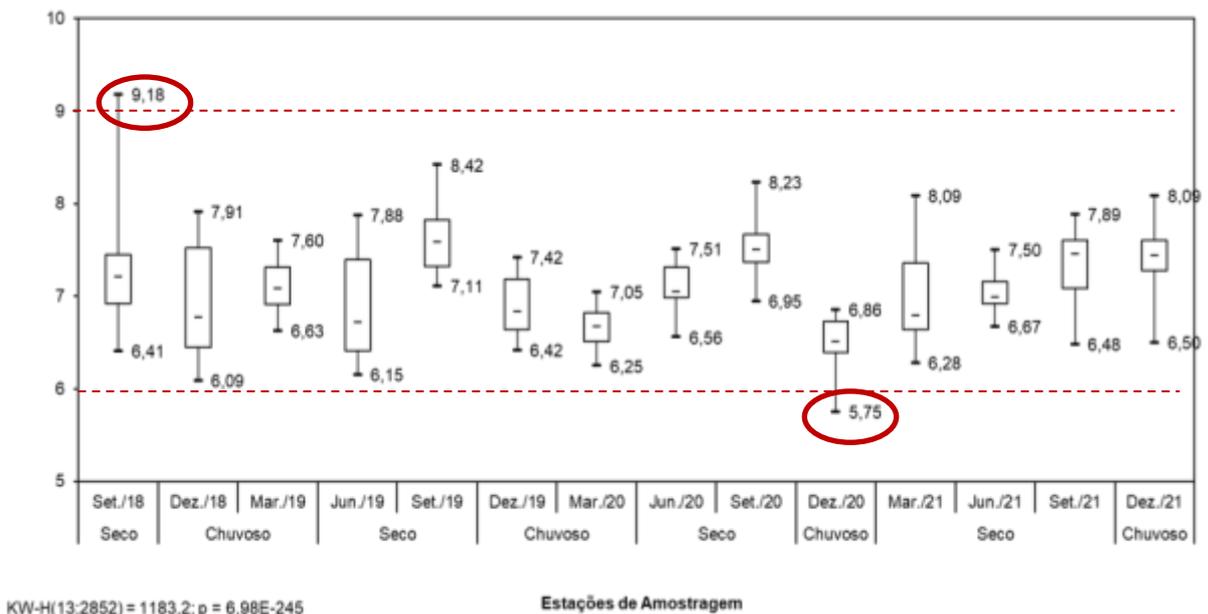
O reservatório apresentou baixos valores de condutividade elétrica durante todo o período de estudo, com os valores mais altos nas camadas mais profundas; no entanto, não apresentou diferença significativa entre as profundidades ($p=1,0$). Quando comparado com os demais parâmetros de campo analisados na coluna d'água, percebe-se que a condutividade apresenta um perfil mais homogêneo (Gráfico 21).

4.4.5. Potencial hidrogeniônico (pH)

Segundo Martins (2009), a origem natural do pH está diretamente relacionada não somente à dissolução de rochas, à absorção de gases da atmosfera, à fotossíntese e à oxidação da matéria orgânica, mas também aos despejos domésticos e industriais. Nesse sentido, a Resolução CONAMA 357/2005 e Deliberação COPAM 01/2008 estabelecem: para que as águas estejam dentro dos padrões estabelecidos, o parâmetro pH poderá variar de 6,0 a 9,0.

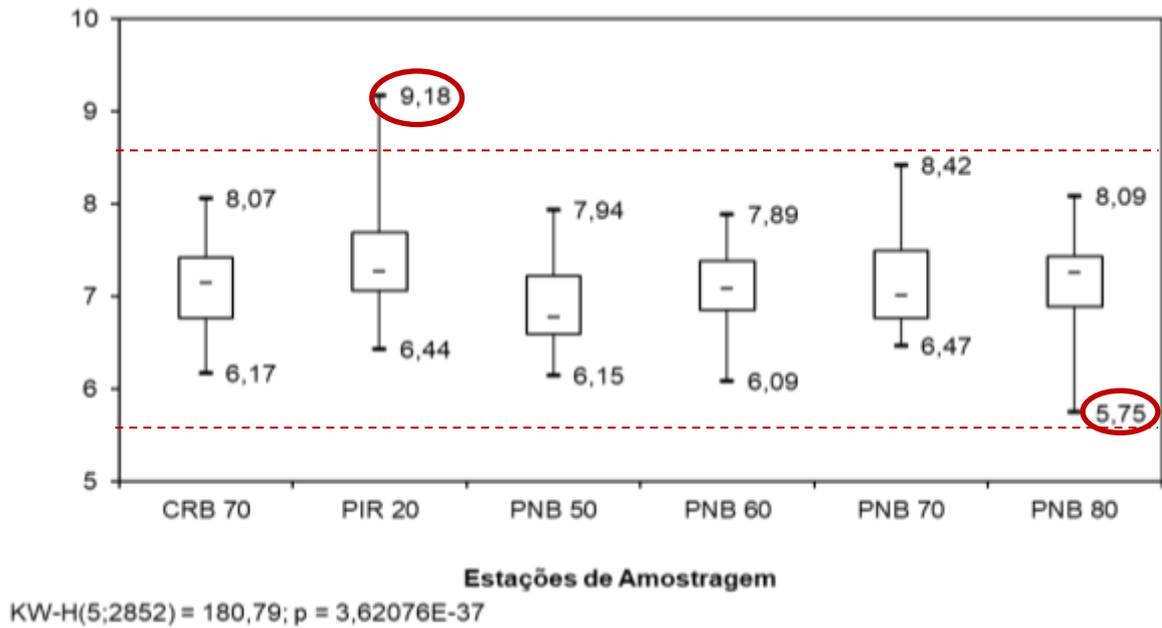
Durante as 14 amostragens, os valores de pH variaram de 5,75 no ponto PNB 80 na campanha dezembro de 2020 a 9,18 no PIR 20 em setembro de 2018 (Gráfico 22 e Gráfico 23), apresentando uma variação significativa entre os resultados mensurados nas campanhas ($p = 6,98E-245$) e entre as estações ($p = 3,62E-37$).

Gráfico 22: Box plot de pH por amostragem no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



As linhas pontilhadas indicam o limite mínimo e máximo de pH estabelecido para águas de superfície.

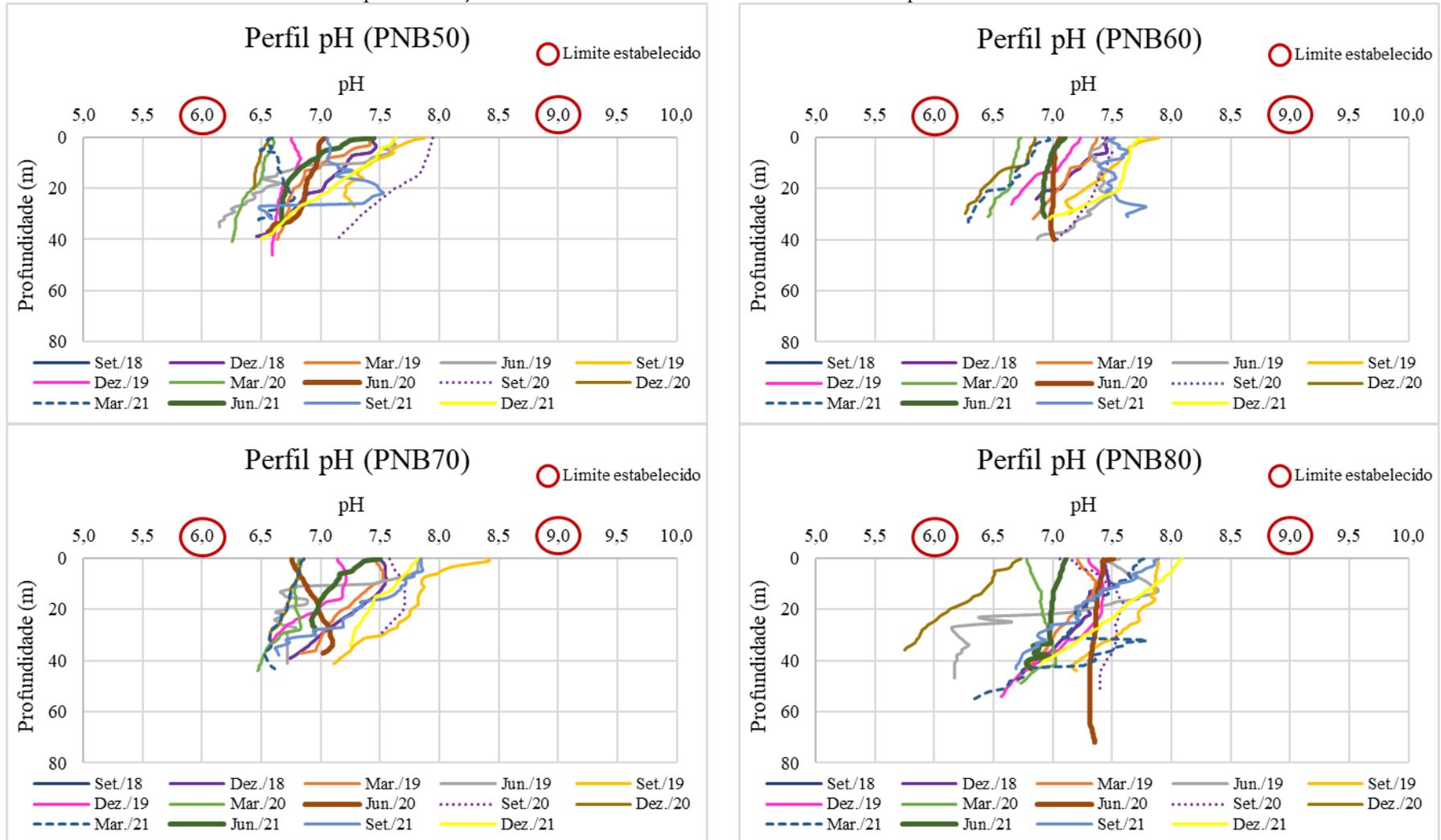
Gráfico 23: Box plot de pH por ponto no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.

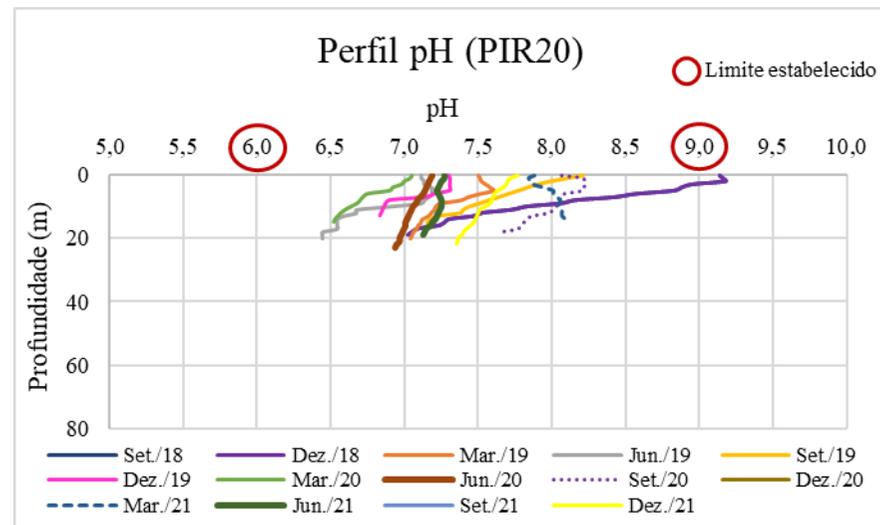
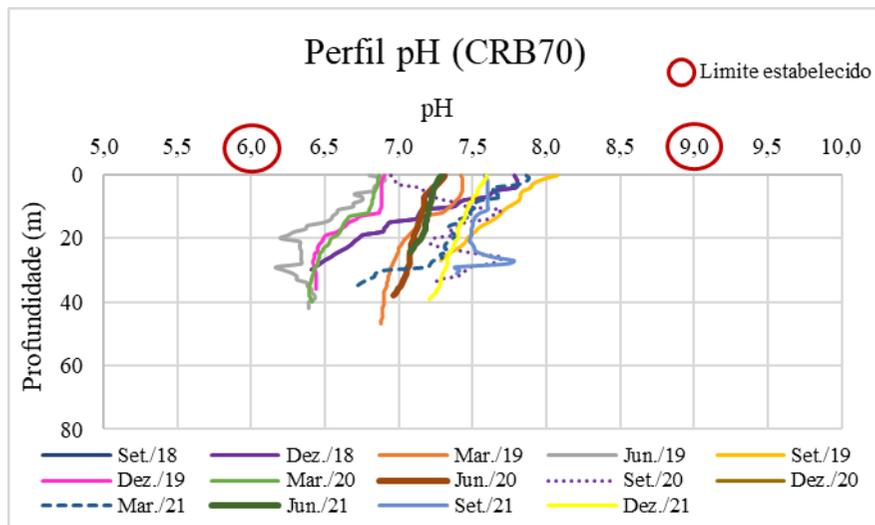


As linhas pontilhadas indicam o limite mínimo e máximo de pH estabelecido para águas de superfície.

Para avaliar o perfil do potencial hidrogeniônico nos seis pontos nas 14 campanhas, é apresentada, no Gráfico 24, a variação nas profundidades no reservatório UHE Itumbiara.

Gráfico 24: Perfil mensal de pH nas estações avaliadas o reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.





A média do potencial hidrogeniônico na superfície foi de 7,4, variando de 6,56 no PNB50 em dezembro de 2020 a 9,14 no PIR 20 em setembro de 2018, sendo registrado valor fora da faixa estabelecida pela legislação apenas no PIR 20 em setembro de 2018.

Diante da gama de fatores que podem influenciar seus valores, foi verificada uma diferença significativa nos valores entre os pontos ($p = 3,62E-37$), entre as campanhas ($p = 6,98E-24$) e entre as profundidades ($p = 2,64E-69$). Além disso, há uma diferença significativa entre os valores mensurados nas estações seca e chuvosa ($p = 1,71E-46$).

4.5. Correlação de Spearman: parâmetros de campo x fatores climáticos e hidrológicos

Visando correlacionar as variações dos parâmetros de campo com os fatores hidrológicos e climáticos, foi realizada a aplicação do teste de correlação de Spearman (não-paramétrico), uma vez que pelo menos uma variável não apresentou normalidade.

O teste de correlação de Spearman mostrou o grau de força de correlação entre as variações dos dados de campo, além das correlações entre essas variações e os fatores climáticos e hidrológicos (Gráfico 25 e Gráfico 26).

Gráfico 25: Correlação de Spearman – Fatores climáticos e variáveis de campo no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



Gráfico 26: Correlação de Spearman – Fatores hidrológicos e variáveis de campo no reservatório de Itumbiara – GO no período de setembro de 2018 a dezembro de 2021.



No Gráfico 25 é possível verificar que quanto maior é a resistência térmica da água, menor é a zona de mistura, ou seja, quanto maior é a RTR, mais difícil se torna a homogeneização da coluna d'água; conseqüentemente, fatores como o vento e a chuva irão influenciar menos a mistura. Isso pode ser comprovado no teste de correlação, em que o fator de correlação entre RTR e a zona de mistura corresponde a -0,45, ou seja, uma correlação negativa moderada.

Também no Gráfico 25, os fatores como precipitação ($r = -0,29$) e temperatura do ar ($r = -0,3$) são inversamente proporcionais à zona de mistura, ou seja, no verão, quando são registradas as maiores precipitações e temperaturas, a zona de mistura se torna menor, uma vez que em regiões tropicais, devido à maior radiação solar, mais energia é absorvida nesse período, alcançando a máxima de estratificação térmica.

Quanto aos parâmetros de campo, foi possível identificar correlação positiva da temperatura da água e da resistência térmica com o pH, o OD, a turbidez; bem como do pH com a condutividade. Foi registrada correlação negativa da temperatura da água com a zona de mistura; correlação positiva da RTR com a temperatura do ar, ventos ($r = 0,24$), radiação ($r = 0,17$) e nível da água; e correlação negativa com a zona de mistura ($r = 0,45$) (Gráfico 25 e Gráfico 26).

5. DISCUSSÃO

5.1. Fatores hidrológicos, climatológicos, Resistência Térmica Relativa e correlações

A precipitação foi típica para a região, sendo representada por duas estações bem definidas. A estação seca ocorreu entre abril e setembro e a chuvosa entre outubro e março, com valores mais expressivos nos meses de março e dezembro de 2019 e dezembro de 2021. Os maiores valores foram registrados nos meses de março de 2019, dezembro de 2019 e dezembro de 2021, enquanto os menores foram registrados em junho de 2019, 2020 e 2021. Esses valores registrados corroboram o mencionado por Alcântara e Stech (2011), ou seja, que a região de estudo é representada por duas estações bem definidas: uma estação seca, que ocorre de abril a setembro, e uma estação chuvosa, que ocorre entre outubro e março (Gráfico 1).

O volume e a intensidade de águas pluviais são os principais fatores hidrometeorológicos que interferem diretamente na condição da qualidade das águas. Das 14 campanhas realizadas, foram evidenciados os menores registros pluviométricos, sobretudo nos

meses de junho de 2019, junho de 2020, setembro de 2020, junho de 2021 e setembro de 2021. As demais campanhas foram realizadas durante o período chuvoso (2^a, 3^a, 5^a, 6^a, 7^a, 10^a e 14^a).

As chuvas alteram o fator de diluição da água, com o aumento do volume dos rios, e aumentam os aportes de materiais da bacia de drenagem para dentro desses corpos d'água, com o aumento do escoamento superficial da bacia, sejam esses materiais de origem orgânica ou inorgânica, natural ou antrópica. Com isso, ocorrem importantes mudanças na concentração de substâncias e no funcionamento dos sistemas aquáticos, com implicações nas características dos tributários e do reservatório.

De maneira geral, os períodos chuvosos podem ser considerados de maior instabilidade para os corpos d'água tropicais. Isso é consequência das rápidas modificações que a chuva pode promover na água, quer por sua ação como carreadora de partículas e substâncias alóctones, quer pelos efeitos de diluição das chuvas mais intensas. Dessa forma, as chuvas atuam como fonte tanto de aumento nas concentrações de partículas e certas substâncias na água quanto de diluição dessas partículas. Os efeitos se diferenciarão principalmente pela época do ano, segundo a frequência e a intensidade das precipitações (RODRIGUES; JIMENEZ, 2010).

Foram observadas grandes variações de temperatura do ar entre 2018 e 2021. A mais elevada ocorreu em setembro de 2021, quando o clima pode ficar consideravelmente quente com temperaturas superiores a 40°C. As mínimas foram registradas em junho de 2019 (21,3 °C), junho de 2020 (21,7 °C) e junho de 2021 (25,5 °C). Nesse período de menor temperatura do ar, foram observados perfis mais homogêneos de temperatura e OD ao longo da coluna d'água.

A baixa temperatura do ar propiciou um resfriamento das camadas mais superficiais no período da seca, observado em especial nos meses de junho, e um aquecimento no período chuvoso a partir de setembro.

Segundo Alcantara e Stech (2011), na área estudada são comuns inesperadas alterações de temperatura, ocorrendo elevações principalmente de agosto até janeiro. A maior temperatura registrada na região da UHE Itumbiara corresponde a 41,5°C, observada no dia 16 de outubro de 2008, enquanto a mínima registrada foi de 20°C, no dia 18 de julho de 2000. A temperatura do ar na estação chuvosa varia em média de 25°C a 26°C, podendo reduzir a 21°C na estação seca.

Acompanhando os resultados de temperatura, tem-se a radiação solar, que, de acordo com Esteves (2011), irá influenciar fatores como precipitação e ação dos ventos, além de da estabilidade da coluna d'água, uma vez que a energia oriunda da radiação solar é absorvida nos primeiros metros de profundidade. Essa estabilidade irá determinar os processos físicos,

químicos e biológicos no ambiente aquático, como a estratificação e a desestratificação de um corpo d'água.

Em março de 2021, mês em que houve maior radiação (1930,43), foi a campanha quando houve maior resistência térmica na coluna d'água em grande parte dos pontos avaliados. Com a radiação mais elevada, a camada superficial apresenta temperatura mais elevada e, com isso, as diferenças de densidades das colunas ficam mais acentuadas, reforçando a estabilidade entre as colunas e dificultando a homogeneização delas.

Quanto ao tempo de residência, volume e nível do reservatório, não foi observado um padrão sazonal e sim uma tendência de seguir as demandas de funcionamento do reservatório; o nível começou a subir em dezembro e chegou no seu máximo em junho. Nesse ciclo ainda se percebe que o tempo de residência aumenta, principalmente, nos meses de maior volume e nível. Esse padrão também foi verificado por Alcantara (2010), que destacou em seu trabalho sobre o comportamento do reservatório de Itumbiara, que o nível da água começa a subir em dezembro e se estende até maio. Segundo o autor, de maio a junho é quando o reservatório atinge o seu máximo de armazenamento de água. Devido à utilização da água para geração de energia e abastecimento e às taxas de evaporação, o nível da água baixa até novembro, atingindo menor nível de armazenamento em dezembro.

De acordo com as análises dos dados, há uma correlação negativa entre o nível do reservatório e a zona de mistura, ou seja, o aumento do nível da água favoreceu um cenário de instabilidade térmica. Esse aumento ocorreu nos meses de inverno, promovendo um resfriamento das camadas mais superficiais, culminando na circulação ou desestratificação da coluna no período da seca. Esse padrão também foi verificado no trabalho de Aprile (2011), na Amazônia Central, onde as menores diferenças entre a temperatura da superfície e fundo foram encontradas no período de reservatório com nível mais elevado e de maior transparência e, conseqüentemente, maior zona eufótica.

Vale mencionar que, segundo Esteves (2011) e Tundisi e Tundisi-Matsumura (2008), em lagos mais profundos é verificada uma estratificação mais estável, já que possuem um volume maior de água para absorver a quantidade de calor necessária para manterem-se estratificados. E com um maior volume, a ação dos ventos e turbulências não é o suficiente para desencadear uma desestratificação, sendo necessária a influência das baixas temperaturas registradas no inverno, quando ocorre o resfriamento desde o epilímnio até o hipolímnio.

Sobre o processo de estratificação, foram observados valores mais elevados de resistência térmica, principalmente em março de 2021 (verão), mês de elevada radiação solar, o que influenciou a estabilidade da coluna d'água; já no início do inverno (junho de 2020 e

2021), foram registrados os menores valores de RTR, ou seja, maior instabilidade da coluna, apresentando homogeneização parcial ou total.

Durante os períodos de desestratificação da coluna d'água, foi possível observar um aprofundamento da zona de mistura até a profundidade total em junho de 2021; em junho de 2020, por sua vez, houve uma homogeneização sem alcançar a profundidade total do ponto.

É possível verificar que, de forma geral (Gráfico 9), quanto maior a resistência térmica da água, menor a zona de mistura, ou seja, quanto maior a RTR, mais difícil se torna a homogeneização da coluna d'água; conseqüentemente, fatores como o vento e a chuva irão influenciar menos a mistura. Isso pode ser comprovado no teste de correlação de Spearman, em que o fator de correlação entre RTR e a zona de mistura corresponde a -0,45, ou seja, o ambiente com uma estabilidade maior na coluna d'água apresenta uma zona de mistura mais estreita. Em contrapartida, quando essa estabilidade é quebrada, a faixa de mistura se estende, podendo alcançar a profundidade total do ponto.

A partir do teste de Spearman, também foi possível identificar uma correlação negativa entre temperatura do ar e a zona de mistura ($r = -0,3$), ou seja, quanto maior a temperatura do ar, menor será a zona de mistura, uma vez que, com a temperatura mais elevada, a coluna se torna mais estável, com uma resistência térmica mais elevada e, logo, sua zona de mistura será menor.

Sobre a desestratificação da coluna d'água, é válido mencionar que para regiões tropicais ainda há uma divergência quanto ao valor do gradiente entre a superfície e o fundo para gerar uma homogeneização na coluna. Neste trabalho foi verificada uma circulação completa com amplitudes de temperatura da água inferiores a $1,6^{\circ}\text{C}$, sendo as menores diferenças apresentadas nos meses de junho de 2020 e 2021.

Segundo Von Spearling (1996), com a instabilidade da coluna, há uma homogeneização da temperatura e um nivelamento das densidades. A camada do epilímnio quando resfriada, tende a ir para o fundo, deslocando a camada do hipolímnio, desencadeando a homogeneização total ou parcial. Quando o curso d'água apresenta uma grande concentração de compostos reduzidos no hipolímnio, sua reintrodução na camada mais superficial pode causar uma piora na qualidade da água, como, por exemplo, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido devido à demanda introduzida pelos compostos orgânicos e inorgânicos reduzidos e à ressuspensão da camada anaeróbia do fundo, podendo causar a mortandade de peixes.

Em lagos profundos como o de Itumbiara, observa-se um padrão em que a condição de estratificação permanece durante a maior parte do ano, sendo associada em especial ao aquecimento da camada superficial, à reduzida velocidade dos ventos e à influência das águas

frias advindas de afluentes. Por sua vez, a desestratificação ocorre apenas no inverno tropical, quando há o resfriamento do epilímnio, podendo ocorrer a homogeneização parcial ou total (TUNDISI, 1997).

A análise dos perfis verticais de oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório da UHE Capivari-Cachoeira, localizada no Estado do Paraná, revelou que durante os meses mais quentes houve estratificação térmica predominante. Em contrapartida, nos meses de temperaturas mais baixas, a estratificação térmica esteve ausente ou pouco acentuada, com tendência à circulação de água (LOPES *et al.*, 2017).

Também nos reservatórios de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo, foi verificado que as frentes frias têm uma influência significativa, alterando a estruturação da coluna d'água e afetando a qualidade da água. Logo, foi verificado que durante os períodos mais frios há um aumento da circulação de água e uma diminuição da estratificação, o que favorece a mistura vertical e a melhoria na qualidade da água (MORAIS *et al.*, 2010).

Quanto à análise da resistência térmica relativa nas estações estudadas entre as 14 campanhas no reservatório de Itumbiara, ele pode ser classificado como monomítico quente, ou seja, apresenta um único período de mistura durante o ano, que ocorre durante o inverno, quando ocorre a perda de calor nas colunas d'água e as densidades se equiparam entre as camadas do epilímnio, metalímnio e hipolímnio (TUNDISI; TUNDISI-MATSUMURA, 2008).

Branco *et al.* (2009), em seus estudos no reservatório de Ribeirão das Lajes, localizado em uma região tropical do sudeste do Brasil, também constataram esse padrão monomítico quente, exibindo mistura da coluna de água no inverno, em especial nas passagens de frentes frias, quando ocorre o resfriamento das camadas superficiais de água, aprofundando a zona de mistura.

O comportamento de circulação monomítico quente é típico de regiões tropicais (TUNDISI, 1997), sendo verificado também em outros reservatórios brasileiros como no reservatório de Descoberto-GO, onde a simulação calibrada exibiu o padrão monomítico, demonstrando maiores valores do índice de Schmidt no verão e zero durante o período seco e frio (maio a setembro) (BARROS, 2019). Isso foi verificado também nos estudos de Alcântara *et al.* (2010), no reservatório de Itumbiara, quando de junho a setembro houve uma mistura da coluna de água e de outubro a maio as águas se mantiveram estratificadas. Além disso, observou-se que houve forte influência das passagens de frentes frias, uma vez que ocorre a perda de calor armazenado na coluna de água.

Ainda segundo os autores, a diferença de temperatura em águas de reservatórios se deve, principalmente, à radiação de onda curta e à temperatura do ar, ou seja, no inverno a temperatura

da água é menor devido a menor radiação de onda curta. Pritchard *et al.* (2014) complementam que essas estratificações não são permanentes e dependem de diversos fatores, dentre eles as estações do ano.

Correlacionando a desestratificação com os dados climáticos, percebe-se que em Itumbiara há baixa correlação com os ventos nesse processo, o que pode ser justificado por sua morfometria dendrítica, a elevada profundidade (Gráfico 9) e a diminuição do nível da água no período da chuva. Segundo Henry *et al.* (1997), em lagos que apresentam essas características, a influência do vento no processo de mistura da coluna d'água é muito reduzida. A mesma situação foi verificada em um estudo realizado por Morais *et al.* (2010) na represa Billings, localizada no Estado de São Paulo, onde não foi encontrada correlação entre o processo de desestratificação da coluna d'água e o vento.

5.2. Análise de Perfil de dados de campo

De acordo com o Gráfico 12, observa-se que os valores de temperatura da água em todos os pontos avaliados vão decrescendo à medida que a profundidade aumenta, sendo registradas temperaturas menores nas amostragens de fundo. Em reservatórios, é comum a diminuição da temperatura com o aumento da profundidade, já que as camadas superiores dos corpos d'água apresentam temperatura mais elevadas em função da incidência direta da radiação solar, que se transforma em energia calorífica (BRAGA *et al.*, 2055).

Além disso, através do perfil de temperatura é possível observar que há uma estratificação no reservatório de Itumbiara, com temperatura mais elevada principalmente nos meses de dezembro e março, sendo tais meses referentes ao período de verão, devido a uma maior radiação solar.

Esse comportamento também foi verificado por Alcantara *et al.* (2010), que descreveram em seus trabalhos que entre os meses de outubro e março (primavera e verão) mais energia é absorvida, alcançando a máxima de estratificação térmica no fim do verão, enquanto nos meses entre abril e setembro (outono e inverno) ocorre a perda de calor, reduzindo a resistência térmica, como consequência, podendo ocorrer mais facilmente a mistura parcial ou completa da coluna d'água, ou seja, a desestratificação.

Segundo Esteves (2011), no caso de lagos que apresentam homogeneidade entre as temperaturas da coluna, facilmente ocorre a propagação do calor através de toda massa líquida, uma vez que a densidade da água é praticamente igual em todas as profundidades, ou seja, sem resistência à circulação completa. Nessa situação, o lago se encontra instável termicamente; no

caso de regiões com menores profundidades, o vento é o maior responsável pela mistura das massas d'água.

Para o parâmetro oxigênio dissolvido, também foi registrada estratificação química em grande parte dos pontos nas campanhas, corroborando o teste de correlação de Spearman, que apresentou correlação positiva com as variações de temperatura e com o índice de RTR. O menor valor de OD foi registrado no mês de maior estratificação (março de 2021) no ponto PNB 50, com uma zona de mistura baixa ($Z_m = 6$); logo, é comum a ocorrência de anoxia hipolimnética com valores abaixo de 3 mg/L. Por sua vez, a concentração máxima OD no ponto PIR 20 em setembro de 2018 está relacionada à característica do ponto, uma vez que este apresenta alta atividade fotossintética, o que culmina no aumento da oxigenação da água, sendo apresentados valores mais elevados em praticamente todas as campanhas.

Além disso, todos os pontos analisados na campanha de junho de 2021, com exceção do PNB80 (barramento), apresentaram valores de OD com uma diferença menor entre a superfície e o fundo, ou seja, apresentaram uma mistura parcial. A homogeneidade das concentrações de OD se deve à baixa resistência térmica relativa em todos os pontos, ou seja, a uma desestratificação da coluna d'água, quando há uma redistribuição de oxigênio dissolvido em decorrência da homogeneização da densidade da coluna d'água.

Quando o ambiente permaneceu estratificado termicamente, as concentrações de OD decresceram ao longo da coluna d'água, caracterizando um perfil do tipo clinogrado, enquanto nos meses de junho de 2020 e 2021, quando houve desestratificação, o padrão de oxigênio dissolvido foi considerado ortogrado, ou seja, valores de OD mais homogêneos.

Segundo Ruas (2006), de uma forma geral a diminuição na concentração de OD ao longo da profundidade é esperada, uma vez que as contribuições de oxigênio em reservatórios ocorrem, principalmente, com as trocas gasosas com a atmosfera e a produção de oxigênio pelo fitoplâncton durante o processo de fotossíntese, que ocorre na superfície. À medida que a profundidade aumenta, a concentração de oxigênio diminui, pois seu consumo pela decomposição da matéria orgânica no fundo é maior do que a capacidade de reposição da superfície.

Ainda de acordo com Esteves (1998), a concentração de oxigênio na água varia principalmente com a temperatura e com a altitude, sendo responsável pelos processos de fotossíntese, respiração e/ou decomposição, que, por sua vez, estão diretamente associados com a intensidade luminosa e a temperatura.

Quanto à turbidez, o perfil apresentou uma correlação positiva com a temperatura e com a precipitação, e negativa com a transparência, apresentando baixos valores na superfície e

valores mais elevados à medida que se aproxima do fundo, em razão da influência dos sedimentos presentes no fundo dos pontos de coleta. Ademais, percebe-se que os menores valores de turbidez foram verificados principalmente nos meses de menor precipitação e, conseqüentemente, maior transparência da água, corroborando o teste de Spearman. Os resultados mais elevados registrados durante as campanhas de dezembro/2020 e dezembro/2021 estão diretamente relacionados ao período chuvoso, pois há maior carreamento de partículas alóctones e revolvimento dos sedimentos de fundo (TRAVASSOS, 2011).

A condutividade elétrica, no teste de Spearman, apresentou fraca correlação com os parâmetros de campo e com a RTR, apresentando baixos valores de condutividade elétrica durante todo período de estudo, com os valores mais altos nas camadas mais profundas e uma homogeneidade durante o período. Todavia, apesar da baixa correlação, foi observado no perfil que nas campanhas de junho de 2020 e 2021 houve homogeneidade, acompanhando, assim, o padrão de homogeneidade nos meses de inverno.

Geralmente, a concentração iônica reflete as condições geológicas da região, com íons originados da ação do intemperismo de rochas e solos, que os liberam, promovendo o carreamento para dentro do curso d'água (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Para potencial hidrogeniônica (pH), os maiores valores encontrados no PIR 20 em setembro de 2018 podem ser em consequência da atividade fotossintética nesse ponto (consumo de CO₂). Carvalho (2003) explica que as comunidades aquáticas podem interferir diretamente nos níveis de pH pela assimilação de CO₂ durante a atividade fotossintética. Nesse sentido, quando as algas realizam o processo de fotossíntese, elas acabam por influenciar o aumento do nível de pH na água.

De acordo com os gráficos de perfil, percebe-se que, de uma forma geral, os valores de pH são mais elevados na superfície, com tendência a diminuição à medida que se aproxima do fundo. Possui uma correlação positiva com o parâmetro temperatura da água e com a RTR. Segundo Ruas (2006), valores mais elevados de pH na superfície dos reservatórios são justificados, pois há uma maior concentração de atividade fitoplanctônica nessa profundidade e, em decorrência da retirada de ácido carbônico da água durante o processo de fotossíntese, os valores de pH tendem a aumentar.

Vale mencionar que, segundo Esteves (1988), esse parâmetro é considerado uma das variáveis abióticas de grande importância nos ecossistemas aquáticos. No entanto, é uma das mais difíceis de ser interpretada. Essa complexidade na interpretação dos valores do pH se deve em razão dos inúmeros fatores que podem influenciá-lo.

6. CONCLUSÕES

A mistura e a estratificação do perfil vertical do reservatório da UHE Itumbiara seguiu um padrão monomítico quente, apresentando durante o período de 2018 a 2021 uma estratificação da coluna mais evidente no período de maior precipitação (verão tropical), com homogeneizações totais apenas no inverno. Vale ressaltar que, devido às mudanças climáticas em curso, a elevação das temperaturas pode ocasionar uma drástica mudança no padrão de estratificação, prolongando ainda mais esse período de forte estabilidade da coluna d'água.

Quanto ao tempo de residência, volume e nível do reservatório, não foi observado um padrão sazonal e sim uma tendência a seguir as demandas de funcionamento do reservatório; seu nível começou a subir em dezembro e chegou no seu máximo em junho. O nível do reservatório no inverno favoreceu um cenário de instabilidade térmica, promovendo um resfriamento das camadas mais superficiais, culminando na circulação ou desestratificação da coluna no período da seca, em especial na campanha de junho de 2021.

A desestratificação no reservatório ocorreu em especial com a diminuição da temperatura do ar, que inicia a partir de maio e junho, e pode ser intensificada com a chegada de frentes frias. Com a diminuição da temperatura do ar, ocorreu um resfriamento da água superficial, propiciando a homogeneização na temperatura e entre as densidades, o que, em determinados meses, favoreceu o deslocamento da água fria do epilímnio para o hipolímnio, ocasionando a inversão térmica.

Ainda é importante destacar que esse processo de desestratificação no inverno no reservatório de Itumbiara não apresentou grande influência dos ventos, devido à morfometria dendrítica, à elevada profundidade apresentada e ao aumento do nível da água nesse período, que reduz significativamente a influência dos ventos.

Quando correlacionados os demais parâmetros de campo com a temperatura e a RTR ao longo dos meses avaliados, percebeu-se sua correlação positiva com o pH, o OD e a turbidez. Constatou-se, também, uma correlação positiva da turbidez com a precipitação e uma correlação negativa da turbidez com a transparência.

Além disso, foi verificada, principalmente na campanha de junho de 2021, mês com menor RTR e zona de mistura total em praticamente todos os pontos, uma homogeneidade para todos os parâmetros avaliados, confirmando, assim, que os valores de temperatura influenciaram os demais parâmetros de campo na coluna d'água.

REFERENCIAS

ALCÂNTARA, E. H. **Sensoriamento remoto da temperatura e dos fluxos de calor na superfície da água do reservatório de Itumbiara (GO)**. 2010. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/07.26.20.24/doc/publicacao.pdf?metadataarepository=&mirror=iconet.com.br/banon/2006/11.26.21.31> . Acesso em: 15 jul. 2022.

ALCÂNTARA, E. H.; STECH, J. L. Desenvolvimento de modelo conceitual termodinâmico para o reservatório hidrelétrico de Itumbiara baseado em dados de satélite e telemétricos. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 157-179, 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente-agua.192>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275985533_Desenvolvimento_de_modelo_conceitual_termodinamico_para_o_reservatorio_hidreletrico_de_Itumbiara_baseado_em_dados_de_satelite_e_telemetricos. Acesso em: 25 fev. 2021.

ALCÂNTARA, E.H.; *et al.* Remote sensing of water surface temperature and heat flux over a tropical hydroelectric reservoir. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2651-2665, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.06.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425710001926?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ANA - Agência Nacional das Águas. **Hidroweb**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa> . Acesso em 18 de abril de 2022.

ANA - Agência Nacional das Águas. Usos da água. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2022. 132 p. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ANDREOLI, C.V. et. al. Caracterização geral da bacia. In: CUNHA, C.L.N. **Eutrofização em reservatórios**: gestão preventiva. Estudo interdisciplinar na bacia do Rio Verde, PR. Curitiba: UFPR, 2011, p. 39-58.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2022. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/index.html>. Acesso em 30 de agosto de 2022.

APRILE, F. M. Thermal structure of the Poraquê lake, Central Amazonian, Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 171-178, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v33i2.5150>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/5150/5150>. Acesso em: 05 ago. 2021.

BABA, R. K. *et al.* Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 515-526, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/TJPzfbvqdFbXpvHVkYRTxHk/?lang=pt>. Acesso em: 09 set. 2021.

BARROS, Ramon Pinto de. **Aplicação do CE-QUAL-W2 para a modelagem da estrutura térmica do Reservatório do Descoberto DF/ GO**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37896>. Acesso em: 02 out. 2021.

BARTRAM, J.; BALLANCE, R.. **Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**. UNEP/WHO, 1996. 348p. *E-book*. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203476796>. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/0419217304>. Acesso em: 10 nov. 2022.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BRANCO, C. W. C.; *et al.*. Impacto f climate on the vertical water column structure of Lajes Reservoir (Brasil): A tropical reservoir case. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 14: 175- 191, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2009.00403.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1440-1770.2009.00403.x>. Acesso em:

CARVALHO, A. R. L. de. **Reservatórios de Regularização de Usinas Hidrelétricas: contribuição para uma matriz energética mais limpa**. 2015. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2015. Disponível em: http://www.kelman.com.br/angela_livino.pdf. Acesso em: 26 nov. 2021.

CARVALHO, M. C. **Comunidade fitoplanctônica como instrumento para o biomonitoramento de reservatórios no Estado de São Paulo**. 2003. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: https://www.kelman.com.br/angela_livino.pdf. Acesso em: 10 abr. 2021.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2009.

COELHO, S. J.; PEREIRA, J. A. A. A Paisagem na Área de Influência da Usina Hidrelétrica do Funil (UHE-Funil), Percebida Através do EIA-RIMA. **Paisagem e Ambiente: ensaios**. São Paulo, n. 28, p.133-148, 2010. Semestral. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i28p133-148>. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/paam/article/view/77390/81246>. Acesso em: 16 abr. 2022.

COLE, G. A. **Textbook of Limnology**. 3. ed. Prospect Heights, Illinois: Waveland Press Inc, 1994.

COPAM. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01**, de 05 de maio de 2008. 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, 2008.

CRUZ, C. B.; SILVA, V. de P. da. Grandes projetos de investimento: a construção de hidrelétricas e a criação de novos territórios. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 181-190, abr. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/Kgnz4kTyWrgxQJsMtvxmcD/?lang=pt>. Acesso em: 05 ago. 2022.

CURTARELLI, M. P. **Estudo da influência de frentes frias sobre a circulação e os processos de estratificação e mistura no reservatório de Itumbiara (GO): um enfoque por modelagem hidrodinâmica e sensoriamento remoto**. 2012. 108 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.27.00.30-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_33dfc5e98b1a7e8a685eaf51f973c25b. Acesso em: 05 out. 2022.

ELETROBRAS-FURNAS. **Usina de Itumbiara - 2.082 MW**. 2021. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/121/usina-de-itumbiara---2082-mw?culture=pt>. Acesso em: 03 nov. 2021.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

FERREIRA, D. M; CUNHA, C. Simulação numérica do comportamento térmico do reservatório do Rio Verde. **Eng Sanit Ambient.**, Curitiba, v.18, n.1, p. 83-93, jan/mar 2013. DOI : <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000100010>. Disponível em : <https://www.scielo.br/j/esa/a/LFk3HkQXRyHjfcx4HMqTnNR/?lang=pt>. Acesso em: 09 out. 2022.

FREIRE, R. H. F. *et al.*. Longitudinal patterns and variations in water quality in a reservoir in the semiarid region of NE Brazil: responses to hydrological and climatic changes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 21, n. 2, p. 251-262. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236159340>. Acesso em: 06 set. 2021.

GASTALDINI, M. C. C.. Aplicação de Modelo Matemático a Dados de Ciclos de Estratificação Térmica e de Qualidade da Água do Reservatório do Vacacaí-Mirim. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Santa Maria, v 9, n.1, p. 27-35, Jan/Mar 2004. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v9n1.p27-35>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=33&SUMARIO=5169>. Acesso em: 12 out. 2021.

HENRY, R. *et al.* **A comparative Study of Thermal Structure, Heat Content and Stability of Stratification in There Lakes**. In: *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. São Paulo: Brazilian Academy of Science, 1997. p. 528.

Instituto Meteorológico Nacional – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: fev. 2022.

LIMA, E. B. N. **Modelação Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá**. 2001. 184 p. Tese (Doutorado em engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, W. S. G. *et al.* Impactos ambientais na produção de energia na hidroelétrica. **Revista Campos dos Saber**, v. 4, n. 4, p.106-132, ago/set de 2018.

LOPES, S. MEIER. *et al.*. Estudo do processo de estratificação no reservatório da Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza (Capivari-Cachoeira), Paraná, Brasil. **Eclética Química**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 23-31, 07 setembro 2018. DOI: <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v43.2.23-31>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/429/42956169005/42956169005.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MACEDO, J.A.B. **Introdução a Química Ambiental: Química e Meio Ambiente e Sociedade**. Ed. BH:CRQ-MG. 2006. p. 1028.

MARTINS, D. S. **Estudo das concentrações da solução de carbonato de sódio utilizada no teste pH de exsudato da semente**. 2009. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília. Brasília, Distrito Federal, 2009.

MAZUMDER, A.; TAYLOR, W. D. Thermal Structure of Lakes Varying in Size and Water Clarity. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 39, n. 4, p. 968-976, jun. 1994. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.4.0968>. Disponível em: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.4319/lo.1994.39.4.0968>. Acesso em: 12 fev. 2022.

MIRANDA, T. L. G; *et al.* (2009). Estudo dos processos de estratificação em grandes reservatórios da Bacia do rio Iguacu. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18., 2009, Campo Grande. **Anais eletrônicos** [...] Campo Grande: ABRH, 2019. Disponível em: https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=10866&Name=estudo_dos_processos_de_estratificacao_em_grandes_reservatorios_da_bacia_do_rio_iguacu. Acesso em: 22 jan. 2022.

MORAIS, M. A. D. *et al.*. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Carlos, v. 25, n. 2, p. 205-217, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/hNjkKVhzRCjxsf483FYMN8c/?lang=pt>. Acesso em: nov. 2022.

Operador Nacional do Sistema Elétrico- NOS. **Resultados da operação histórico da operação**. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx. Acesso em: Mai. 2022.

PERCEBON, C. M. *et al.* Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC. **Boletim Paranaense de Geociências**, Paraná, n. 56, p. 7-19. Editora UFPR. 2005. DOI: <https://doi.org/10.5380/geo.v56i0.4904>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/4904>. Acesso em: 15 dez. 2022.

PRITCHARD, H. W. *et al.* Innovative approaches to the preservation of forest trees. **Forest Ecology and Management**, Manaus, v. 1, p. 1-11, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112714004848?via%3Dihub>. Acesso em: 23 dez. 2022.

RODRIGUES, R. S.; JIMENEZ, M. C. S. Características da pluviosidade e sua influência na qualidade da água em reservatórios tropicais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 55-62, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000100009>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522010000100009&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 nov. 2022.

RUAS, A. L. **Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica** - estudo de caso do rio Pomba. 2006. 280p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-6SWRZM/1/andreluiz270.pdf>. Acesso em: 05 out. 2022.

SCHEWE, J.; *et al.*; Multimodel assessment of water scarcity under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Alemanha, v. 111, n. 9, p.3245-3250, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1222460110>. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1222460110>. Acesso em: 14 fev. 2021.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G.. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, v.10, n.3, p.263-280, 2019. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0023>. Disponível em: <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2019.003.0023/1707>. Acesso em: 06 mar. 2021.

SOUZA, J. R. de, *et al.* A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 8, n. 1, abr. 2014. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>. Acesso em: 25 abr. 2022.

TRAVASSOS, R. K. **Análise da qualidade ambiental no estuário do rio Botafogo: determinação do índice trófico e componentes do fósforo na coluna da água**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/8374/1/arquivo2658_1.pdf. Acesso em: 05 out. 2022.

TUNDISI, J. G. A Note on the Effect of Rainfall in the Process of Stratification and Stability in the Rio Doce Lakes. In: **Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes**, Brazil. São Paulo: Brazilian Academy of Science, 1997. p. 528.

TUNDISI, J. G. Cold fronts and reservoir limnology: an integrated approach towards the ecological dynamics of freshwater ecosystems. **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 70, n. 3, p. 815-824, out. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/D8y7MXhJj5DKgvJgd73CWQQ/?lang=en>. Acesso em: 06 mai. 2021.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T. **A Água**. São Carlos: Editora Scienza, 2020, p. 130.

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

VIEIRA, A. C. B. *et al.* Correlation between the zooplanktonic community and environmental variables in a reservoir from the Northeastern semi-arid. **Acta Limnol. Bras.**, João Pessoa, v. 21, n. 3, p. 349-358, 1 set. 2009. Disponível em:
<https://www.actalb.org/article/627da1a2782aad07b35c1a54/pdf/alb-21-3-349.pdf>.

WANG, S. *et al.* Effects of local climate and hydrological conditions on the thermal regime of a reservoir at Tropic of Cancer, in southern China. **Water Research**, v. 46, n. 8, p. 2591-2604, 15 mai. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.014>. Disponível em:
Acesso em: 6 out. 2022.

WINSLOW, L.; REA, J. WOOLWAY, R.; BRENTROP, J.; ZWART, J. Package "rLakeAnalyzer", 2015.