



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – RECURSOS
HÍDRICOS

LUÍSA CIRÍACO SILVA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS GERADOS PELA OPERAÇÃO DA TOMADA
D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO CASTANHÃO

FORTALEZA
2022

LUÍSA CIRÍACO SILVA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS GERADOS PELA OPERAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA
NO RESERVATÓRIO CASTANHÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48a Oliveira, Luísa Ciriaco Silva de.
Avaliação dos impactos gerados pela operação da tomada d'água no reservatório Castanhão / Luísa Ciriaco Silva de Oliveira. – 2022.
177 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto.

1. Tomada d'água. 2. Reservatório. 3. Fluidodinâmica computacional. 4. Ressuspensão de sedimento. 5. Qualidade da água. I. Título.

CDD 627

LUÍSA CIRÍACO SILVA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS GERADOS PELA OPERAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA
NO RESERVATÓRIO CASTANHÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 06/09/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Ticiania Marinho de Carvalho Studart
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Claudio José Cavalcante Blanco
Universidade Federal do Pará (UFPA)

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A travessia até aqui não foi fácil, esse mestrado se iniciou junto a uma pandemia que exigiu muito de todos. Exigiu paciência, resiliência, discernimento e muita coragem. Na minha cabeça de engenheira, que quer ter sempre tudo planejado, enfrentar essa situação de total incerteza foi dos maiores desafios. Diante das expectativas quebradas do que seria cursar o mestrado e de um momento que, à primeira vista, parecia ser solitário, no encerramento desse ciclo, eu não poderia deixar de agradecer às pessoas que estiverem ao meu lado.

Agradeço imensamente à minha base mais forte, àqueles que são as pessoas mais importantes da minha vida: meu pai, Humberto, minha mãe, Leila, e meu irmão, Samuel. O universo foi muito generoso comigo de ter me dado vocês como família, que me proporcionam todos os dias um lar no qual eu me sinto enormemente amada, acolhida e incentivada a ser quem eu quiser ser e seguir pelo caminho que o meu coração mandar. Obrigada pelo exemplo de dedicação e amor incondicional.

À Fernanda Estevam, que muito além de melhor amiga, é minha irmã de alma. A pessoa que acredita em mim muito mais do que eu mesma e que se alegra com as minhas conquistas como se fossem as suas próprias. No paradoxo que é a independência, você é uma das certezas que me faz ter a força de seguir. Obrigada por estar sempre ao meu lado e por me ensinar a aproveitar o presente que é a vida, hoje e agora.

À Sofia Midauar, que partilhou comigo toda essa caminhada e me ajudou do início ao fim. Desde os estudos para o processo seletivo dessa pós-graduação, à companhia (ainda que remota) nos trabalhos noite adentro, até as incansáveis discussões sobre essa dissertação. Obrigada por ter dividido comigo inclusive os momentos mais difíceis, estando sempre a postos quando eu precisei.

Ao meu orientador, Prof. Iran Lima Neto, que me acompanha desde a graduação e que me aconselhou e orientou, não só durante esse projeto, mas em matérias que não se resumem a um currículo acadêmico. Obrigada pela paciência, pela parceria, pelo estímulo e pela disponibilidade ao longo de todos esses anos de trabalho juntos.

Estendo o agradecimento também aos amigos que conheci durante o mestrado, através da tela de um computador nas aulas à distância, João e Lara, que também compartilharam comigo essa trajetória e a tornaram muito mais divertida.

A todos que não foram citados, mas que fizeram parte da minha vida durante esse período e que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se concretizasse, muito obrigada!

“O homem nasceu para aprender tanto quanto a vida lhe permita.” (João Guimarães Rosa).

RESUMO

As operações de barragens podem gerar repercussões significativas nos reservatórios. Em virtude disso, diante da importância estratégica do reservatório Castanhão para o Estado do Ceará, o presente trabalho buscou realizar um estudo acerca do impacto da operação da sua tomada d'água, subdividindo a análise em três partes principais, a citar: estudo de transitórios hidráulicos; análises do escoamento induzido envolvendo transporte de sedimento; e envolvendo qualidade da água. Primeiramente, foram realizadas modelagens hidráulicas, verificando os transitórios gerados durante as manobras. Os resultados mostraram que, mesmo para condições de fechamento rápido ($t = 60$ s), as variações de pressão e vazão de retorno geradas são pequenas, não causando danos ao sistema em questão ou implicações no lago. Em seguida, foram realizadas simulações em fluido dinâmica computacional (CFD), de forma a determinar o escoamento induzido no reservatório durante as liberações de água. Com os valores de turbulência obtidos, aplicou-se um modelo em função da energia cinética turbulenta para determinar o início do transporte de sedimento. Dessa maneira, foi possível verificar que o escoamento induzido pelo afinilamento do fluxo em direção à tomada d'água, gera turbulência suficiente no fundo do reservatório para ressuspender o sedimento. Essa ressuspensão é maior para maiores vazões de retirada e menores diâmetros do sedimento estudados. A extensão longitudinal da ressuspensão, contudo, se limita as áreas próximas à captação. Finalmente, no último estudo realizado, foram feitas simulações CFD para determinação dos percentuais de fluxo advindo de múltiplas camadas do reservatório, com os quais foram calculadas ponderações dos parâmetros de qualidade da água, determinando a qualidade da água de saída em escala nictemeral nas estações seca e chuvosa. Verificou-se que a consideração do fluxo gera mudanças nos parâmetros de qualidade da água captada, podendo, inclusive, variar entre as classes estabelecidas pela Resolução CONAMA N° 357/2005. A combinação dos estudos realizados fornece uma compreensão ampla dos impactos gerados pela operação da tomada d'água no açude Castanhão e pode promover um gerenciamento mais eficiente do reservatório, envolvendo tanto aspectos quantitativos como qualitativos.

Palavras-chave: Tomada d'água. Operação. Reservatório. Fluidodinâmica computacional. Ressuspensão de sedimento. Qualidade da água.

ABSTRACT

Dam operations can generate significant repercussions on water reservoirs. Given the strategic importance of the Castanhão reservoir for the State of Ceará, the present work sought to carry out a study on the impact of its water intake operation, subdividing the analysis into three main parts, namely: hydraulic transients study and induced flow analysis, regarding sediment transport and water quality. Firstly, hydraulic modeling was performed, verifying generated transients during the maneuvers. The results showed that even for fast closing conditions ($t = 60$ s) the generated pressure and return flow variations are small and cause no damage to the system in question or any implications for the lake. Simulations in Computational Fluid Dynamics (CFD) were then carried out to determine the induced flow in the reservoir during water releases. With the obtained turbulence values, a model based on turbulent kinetic energy was applied to determine the beginning of sediment transport. In this way, it was possible to verify that the flow induced by the funneling of the flow towards the water intake generates enough turbulence at the bottom of the reservoir to resuspend the sediment. This resuspension is more significant the greater the withdrawal flow and the smaller the diameters of the sediment. The longitudinal extent of the resuspension, however, is limited to areas close to the intake. Finally, for the last performed study, CFD simulations were carried out to determine the flow percentages coming from multiple layers of the reservoir, with which weightings of the water quality parameters were calculated, determining the quality of the leaving water on a diurnal scale for the dry and rainy seasons. It was found that the consideration of the flow generates changes in the quality parameters of the collected water and may even vary between the classes established by CONAMA Resolution No. 357/2005. The combination of the performed studies provides a broad understanding of the impacts generated by the operation of the water intake in the Castanhão reservoir and can promote a more efficient management of the reservoir, involving both quantitative and qualitative aspects.

Keywords: Water intake. Operation. Reservoir. Computational fluid dynamics. Sediment resuspension. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do reservatório Castanhão, com destaque para os pontos de monitoramento e para os locais de piscicultura	15
Figura 2 – (a) Liberação de água do reservatório com vista para o paramento de jusante; (b) Torre de tomada d'água	16
Figura 3 – Evolução do volume armazenado no reservatório Castanhão desde o último vertimento em 2009	22
Figura 4 – Linhas características no plano x-t.....	24
Figura 5 – Desenho esquemático do sistema hidráulico em estudo	26
Figura 6 – Casa de válvulas da barragem Castanhão com indicação do painel elétrico de comando	28
Figura 7 – Envoltórias de carga hidráulica para os tempos de fechamento da válvula de (a) 1 min; (b) 2 min; (c) 5 min; (d) 10 min e (e) 15 min.....	29
Figura 8 – Variação de pressão com o tempo de fechamento da válvula.....	30
Figura 9 – Envoltórias de carga hidráulica para o tempo de fechamento de 6 segundos.....	31
Figura 10 – Variação da vazão de retorno com o tempo de fechamento da válvula	32
Figura 11 – Curvas de vazão da válvula dispersora para diferentes aberturas	37
Figura 12 – Representação esquemática da região simulada.....	40
Figura 13 – Geometria inserida na plataforma ANSYS Design Modeler.....	41
Figura 14 – Malha gerada com destaque para o maior refinamento no fundo do reservatório	42
Figura 15 – Frequências de areia, silte e argila obtidas nos ensaios de granulometria para as amostras coletadas	46
Figura 16 – Velocidades no volume de controle simulado para a condição de (a) 100%, (b) 75%, (c) 50% e (d) 25% de abertura da válvula.....	48
Figura 17 – Decomposição da velocidade nas direções u e v, respectivamente, para a condição de (a) 100%, (b) 75%, (c) 50% e (d) 25% de abertura da válvula.....	49
Figura 18 – Energia cinética turbulenta média no fundo do reservatório	50
Figura 19 – Análise do início do transporte de sedimento para 100% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário I), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário II) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário III).....	51

Figura 20 – Análise do início do transporte de sedimento para 75% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário IV), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário V) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário VI)	52
Figura 21 – Análise do início do transporte de sedimento para 50% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário VII), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário VIII) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário IX).....	52
Figura 22 – Análise do início do transporte de sedimento para 25% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário X), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário XI) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário XII).....	53
Figura 23 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 100% de abertura da válvula.....	54
Figura 24 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 75% de abertura da válvula.....	54
Figura 25 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 50% de abertura da válvula.....	55
Figura 26 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 25% de abertura da válvula.....	55
Figura 27 – Tensão de cisalhamento turbulenta no fundo do reservatório para os diferentes cenários de abertura da válvula.....	55
Figura 28 – Energia cinética turbulenta na vertical, com destaque para a região próxima ao leito	57
Figura 29 – Evolução do estado trófico, do percentual de volume armazenado no reservatório ...	64
Figura 30 – (a) Geometria simulada e (b) detalhe da malha gerada na região de entrada da tomada d'água	65
Figura 31 – Série de medições mensais para temperatura média da água e gradiente térmico entre a superfície e o fundo	67
Figura 32 – Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.....	69
Figura 33 – Série histórica de precipitação e volume afluente ao reservatório Castanhão.....	69
Figura 34 – Série de medições mensais médias para oxigênio dissolvido e temperatura da água no ponto CTN-20.....	71
Figura 35 – Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido em escala nictemeral para os períodos (a) seco e (b) chuvoso.....	72

Figura 36 – Perfis de fósforo e nitrogênio totais em escala nictemeral para os períodos (a) seco e (b) chuvoso.....	73
Figura 37 – Densidade de cianobactérias ($\times 10.000$ células/mL) medida na superfície (a) na série temporal e (b) na nictemeral	75
Figura 38 – Perfis de densidade de cianobactérias ($\times 10.000$ células/mL) em escala nictemeral para o período chuvoso.....	76
Figura 39 – Contorno de temperatura induzido no volume de controle para cada configuração simulada.....	77
Figura 40 – Percentual de fluxo proveniente de cada camada para os cenários simulados.....	78
Figura 41 – Perfis de velocidade em diferentes posições do volume de controle para (a) $Q = 100\%$, (b) $Q = 50\%$ e (c) $Q = 10\%$ de abertura da válvula.....	79
Figura 42 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função do oxigênio dissolvido nos períodos (a) seco e (b) chuvoso.....	84
Figura 43 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função do fósforo total nos períodos (a) seco e (b) chuvoso	85
Figura 44 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função do nitrogênio total nos períodos (a) seco e (b) chuvoso	86
Figura 45 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função da densidade de cianobactérias no período chuvoso.....	87
Figura 46 – Diferença média obtida entre a ponderação pelo fluxo e a média aritmética da coluna	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros do sistema simulado	27
Tabela 2 – Cenários simulados no ALLIEVI	27
Tabela 3 – Resumo da operação realizada a época do evento de mortandade de peixes em 2016	30
Tabela 4 – Resultados obtidos para a vazão de retorno máxima nos diferentes cenários.....	32
Tabela 5 – Resultado da análise granulométrica para a amostra coletada no ponto CTN-20	38
Tabela 6 – Condições de contorno de velocidade na válvula para os diferentes cenários simulados	43
Tabela 7 – Cenários analisados.....	47
Tabela 8 – Resultados obtidos a partir da análise de regressão linear.....	56
Tabela 9 – Configurações de temperatura e vazão simuladas	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	PARTE I: “ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS NA OPERAÇÃO DA VÁLVULA DE TOMADA D’ÁGUA DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO”	19
3.1	Introdução	19
3.2	Materiais e Métodos	21
3.2.1	Área de estudo	21
3.2.2	Modelagem computacional	23
3.3	Resultados e Discussões	28
3.4	Conclusões	32
4	PARTE II: “IMPACTO DA OPERAÇÃO DA VÁLVULA DE TOMADA D’ÁGUA EM PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E NA RESSUSPENSÃO DE SEDIMENTO NO RESERVATÓRIO”	34
4.1	Introdução	35
4.2	Materiais e Métodos	37
4.2.1	Área de estudo	37
4.2.2	Equações de turbulência	38
4.2.3	Modelagem CFD	38
4.2.4	Transporte de sedimento	44
4.2.5	Cenários analisados	45
4.3	Resultados e Discussões	47
4.4	Conclusões	58
5	PARTE III: “VARIABILIDADE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NO AÇUDE CASTANHÃO E O IMPACTO DA TOMADA D’ÁGUA NA QUALIDADE DO FLUXO DE SAÍDA”	60
5.1	Introdução	61
5.2	Materiais e Métodos	63
5.2.1	Área de estudo	63
5.2.2	Modelagem hidrodinâmica	64
5.2.3	Medições nictemerais	67

5.3	Resultados e Discussões	68
5.3.1	<i>Caracterização dos padrões de qualidade</i>	68
5.3.2	<i>Resultados das simulações e impacto do fluxo na qualidade da água de saída ..</i>	76
5.4	Conclusões	91
6	CONCLUSÃO GERAL	93
	REFERÊNCIAS	95
	ANEXO A – ENSAIOS DE SEDIMENTO	115
	ANEXO B – MEDIÇÕES NICTEMERAIS	142

1 INTRODUÇÃO GERAL

Regiões semiáridas apresentam grande variabilidade climática espaço-temporal, o que acarreta a ocorrência de extremos, principalmente com longos períodos de seca (BARBOSA et al., 2012). A escassez hídrica consiste em um fator limitante ao desenvolvimento socioeconômico local, dessa forma, a busca por soluções para os problemas de abastecimento tem sido objeto de preocupação da sociedade e de organismos governamentais ao longo dos anos (RABELO; LIMA NETO, 2018; ALVALÁ et al., 2017). A partir desse cenário, foi construída, no semiárido brasileiro, uma densa rede de reservatórios artificiais (COSTA et al., 2021; LIMA NETO; WIEGAND; ARAÚJO, 2011; MAMEDE et al. 2012; CAMPOS et al., 2016; RABELO et al., 2021)

No contexto do estado do Ceará, inserido na região semiárida, com recursos hídricos subterrâneos limitados e rios intermitentes e efêmeros, os reservatórios superficiais são a única fonte de abastecimento durante a maior parte do ano (WORLD BANK, 2018).

Nas últimas décadas, reservatórios de médio e grande porte situados no estado também têm sido utilizados com diferentes finalidades, como a expansão comercial da piscicultura e a regularização de vazão de rios, que possibilitam o desenvolvimento de grandes polos agrícolas e industriais distribuídos por todo o estado (MEIRELES; FRISCHKORN; ANDRADE, 2007; MELO, 2005; TEIXEIRA, 2004).

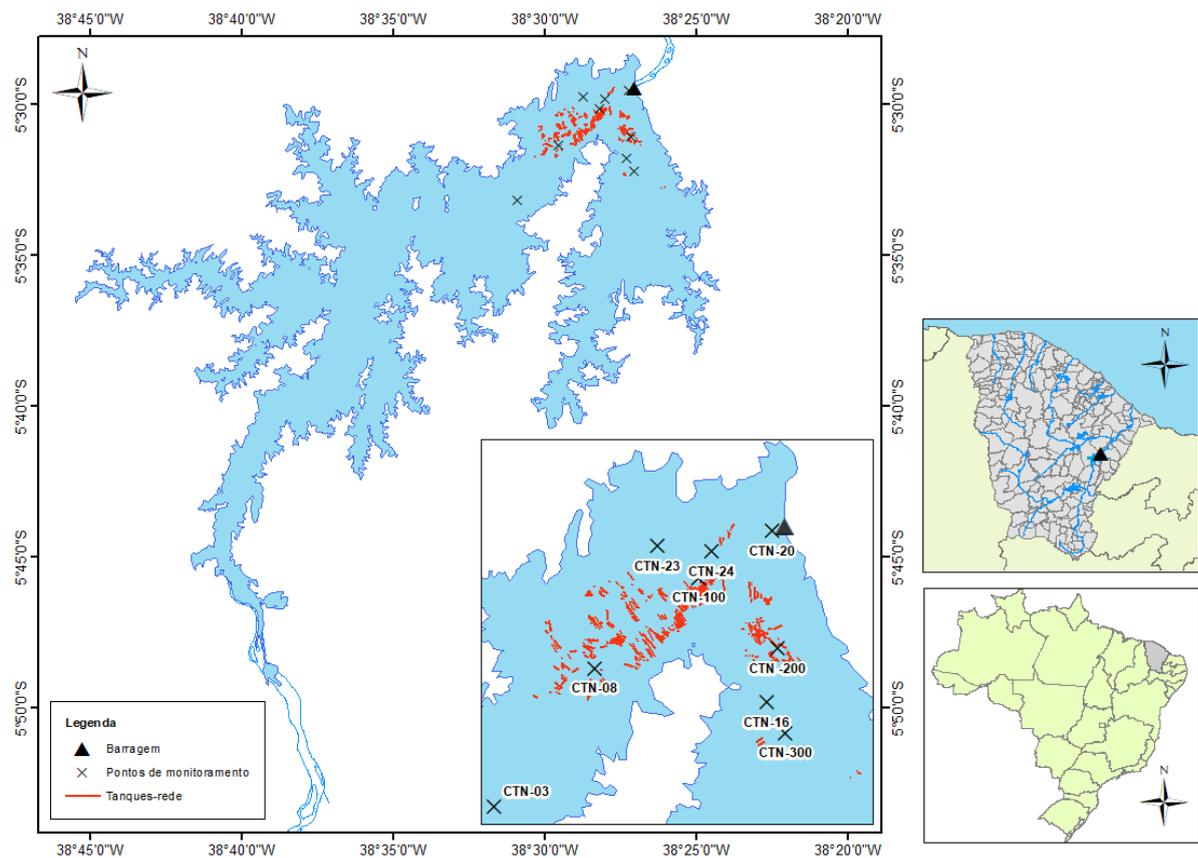
O reservatório Castanhão, localizado na região leste do estado, apresenta-se como o maior reservatório de usos múltiplos da América Latina, com uma capacidade de acumulação de 6,7 bilhões de m³ e área inundada de 325 km² (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021). Essa infraestrutura apresenta um papel estratégico no gerenciamento dos recursos hídricos do Ceará, estando incluído também no Programa de Integração do Rio São Francisco (PISF).

Além de abastecer 2,5 milhões de habitantes ao longo de todo o estado, incluindo a Região Metropolitana de Fortaleza, por meio de um sistema de desvio de água em larga escala, e atender 40.000 ha de agricultura irrigada, um dos principais usos do reservatório é a piscicultura, com uma produção projetada de 40.000 ton/ano (OLIVEIRA et al., 2015; LACERDA et al., 2018; MOLISSANI et al., 2015). A Figura 1 apresenta o mapa de localização da barragem Castanhão, com enfoque para as áreas de piscicultura e pontos de monitoramento.

Considerando a grande variação de nível a que está submetido e a susceptibilidade à eutrofização, devido aos longos períodos de baixa recarga, às altas taxas de evaporação, aos maiores tempo de residência da água e ao recebimento de cargas efluentes externas e internas,

faz-se necessária uma operação e gestão otimizada do reservatório, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo (SANTOS et al., 2017; LACERDA et al., 2018; FREIRE; CALIJURI; SANTAELLA, 2009; FREIRE; COSTA; LIMA NETO, 2021; ROCHA; LIMA NETO, 2022; BARROS et al., 2019). De forma geral, as regras operacionais são definidas com base no volume de água armazenado no período chuvoso e nas demandas ao longo do ano subsequente, a partir de negociações nos Comitês de Bacia (Figura 2) (MOLISSANI et al., 2015; SILVA, 2004).

Figura 1 – Mapa de localização do reservatório Castanhão, com destaque para os pontos de monitoramento e para os locais de piscicultura



Fonte: Elaborado pela autora.

Entre os anos de 1991 e 2016, o reservatório Castanhão apresentou recorrentes episódios de mortalidade na produção pesqueira, gerando prejuízos aos produtores. Em 2014, foram perdidos, por exemplo, 3.400 ton de peixe da espécie Tilápia-do-Nilo. Após o episódio de 2016, os representantes das associações de pescadores atribuíram a mortalidade ao processo de operação da válvula de tomada d'água do reservatório (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2016; ARAÚJO, 2017).

Além disso, no que diz respeito a qualidade da água, o reservatório vem apresentando uma degradação progressiva de sua qualidade, principalmente devido à grande redução de nível ocorrida desde 2012, período no qual sua classificação passou de oligotrófico para hipereutrófico. Tal fato instaura uma preocupação quanto à utilização do manancial nos seus diversos usos, sobretudo para o abastecimento humano, podendo levar a uma insegurança hídrica na Região Metropolitana de Fortaleza e no Vale do Jaguaribe.

A partir desse contexto, foram levantadas algumas questões de partida:

- a) A operação do reservatório pode provocar impactos significativos na piscicultura e na qualidade da água?
- b) É possível que transitórios hidráulicos gerados pelas manobras da válvula provoquem impactos significativos na ressuspensão de sedimento no reservatório?
- c) Linhas de fluxo geradas no corpo hídrico durante o processo de aceleração do escoamento em direção à tomada d'água seriam capazes de provocar a ressuspensão de sedimento?
- d) As manobras da válvula podem interferir na qualidade de água captada?

Nesse sentido, o presente trabalho buscou avaliar o impacto da operação da válvula de tomada d'água na hidrodinâmica do reservatório, a partir de uma análise de ressuspensão de sedimento e qualidade da água. As respostas para essas questões podem ser diretamente aplicadas na melhoria das estratégias de gestão dos reservatórios no semiárido.

Figura 2 – (a) Liberação de água do reservatório com vista para o paramento de jusante; (b) Torre de tomada d'água



Fonte: Elaborado pela autora.

Este estudo está inserido dentro do projeto “Capacidade de suporte do Açude Castanhão”, realizado a partir de uma parceria entre a Universidade Federal do Ceará e a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), no âmbito do Programa Cientista Chefe (Recursos Hídricos) da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

A organização do trabalho foi feita em seis capítulos:

1. Introdução geral;
2. Objetivos gerais e específicos;
3. Parte I: “Estudo de transitórios hidráulicos na operação da válvula de tomada d’água do reservatório Castanhão”;
4. Parte II: “Impacto da operação da válvula de tomada d’água em processos hidrodinâmicos e na ressuspensão de sedimento no reservatório”;
5. Parte III: “Variabilidade temporal da qualidade da água no açude Castanhão e o impacto da tomada d’água na qualidade do fluxo de saída”;
6. Conclusão geral.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o impacto da operação da válvula de tomada d'água nos transitórios hidráulicos e na hidrodinâmica do reservatório, verificando suas implicações nos processos de ressuspensão de sedimento e de qualidade da água.

2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar estudo de transientes hidráulicos gerados durante a operação da válvula de tomada d'água, avaliando a vazão de retorno;
- b) Realizar simulações hidrodinâmicas para análise do escoamento induzido pela tomada d'água;
- c) Verificar a influência do escoamento nas condições de limiar para transporte de sedimento e seu possível impacto na piscicultura;
- d) Realizar simulações hidrodinâmicas para verificação do local de origem da água captada dentro do reservatório;
- e) Analisar se a operação da válvula pode interferir na qualidade de água liberada.

3 PARTE I: “ESTUDO DE TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS NA OPERAÇÃO DA VÁLVULA DE TOMADA D’ÁGUA DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO”

Luísa Ciríaco Silva de Oliveira

Iran Eduardo Lima Neto

RESUMO

Em barragens de importância estratégica, nas quais ocorrem mudanças nas condições de trabalho devido às regras de operação da tomada d’água, é evidente a necessidade de se considerar os efeitos resultantes dos transientes hidráulicos em sua operação. O reservatório Castanhão, localizado no Nordeste brasileiro, tem apresentado recorrentes episódios de mortandade na produção pesqueira, situação na qual os representantes das associações de pescadores atribuem a mortandade a uma onda de retorno de vazão gerada por um golpe de aríete durante o processo de operação da válvula de tomada d’água do reservatório. Nesse contexto, o objetivo do presente artigo foi analisar o impacto dos transitórios hidráulicos no sistema de tomada d’água da barragem Castanhão, utilizando modelagem computacional, de forma a avaliar seus efeitos no reservatório. Os cenários simulados consideram diferentes tempos de fechamento da válvula a jusante. A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que os valores de pressão máxima e mínima não configuram golpe de aríete significativo no sistema hidráulico. Além disso, os valores para a vazão de retorno calculados são irrisórios frente ao volume armazenado no lago do reservatório, sendo próximos de zero. Dessa forma, os resultados indicam que a operação da válvula durante o episódio de mortandade não deve ter gerado impacto significativo à produção pesqueira.

Palavras-chave: Golpe de aríete. Regime transiente. Operação. Válvula.

3.1 Introdução

O estudo dos transientes hidráulicos em condutos forçados busca compreender as flutuações de pressão causadas por uma mudança de fluxo. Mudanças abruptas nas vazões podem ter diferentes causas, como abertura ou fechamento de válvulas e comportas, ou partidas e paradas de bombas e turbinas, por exemplo. Esse fenômeno é denominado golpe de aríete e pode ocasionar diversas consequências e prejuízos, como indesejáveis sobrepressões e

subpressões, ruído excessivo, fadiga de materiais, rompimento de tubulações, danos a bombas e turbinas, dentre outros (WAN; ZHANG; CHEN, 2018; MACINTYRE, 1997; WYLIE; STREETER, 1985; IZQUERDO; IGLESIAS, 2002).

Nesse contexto, apesar do desenvolvimento das equações básicas dos transientes hidráulicos datarem do século XIX (CHAUDHRY, 2014), ainda existem dificuldades em sua total compreensão devido à complexidade do fenômeno. A maioria dos estudos acerca dos transientes hidráulicos têm como objetivo otimizar os projetos de engenharia, tornando-os mais seguros e buscando evitar acidentes e danos às infraestruturas hídricas, a partir do cálculo das máximas sobrepressões e subpressões. Estudos mais recentes têm se dedicado aos efeitos da interação fluido-estrutura nas análises de diferentes materiais utilizados em sistemas de tubulações (BERTAGLIA et al., 2018; COVAS et al., 2004, 2005; SOARES; COVAS; REIS, 2008), à exploração e diagnóstico de vazamentos ou obstruções (FERRANTE et al., 2011), à avaliação de sistemas complexos (EVANGELISTA et al., 2015; MENICONI; BRUNONE; FERRANTE, 2012; BERTAGLIA et al., 2018, BUCUR et al., 2014; RIASI, 2010), e à otimização e desenvolvimento de dispositivos de proteção e máquinas hidráulicas (LI et al., 2019; TRIVEDI; CERVANTES; DAHLHAUG, 2016; MENICONI et al., 2014; APOLLONIO et al., 2016). Além disso, modelagens 2D e 3D, além de testes experimentais, também têm sido realizadas para analisar o efeito das ondas de pressão do golpe de aríete (DING et al., 2019; ZHANG; CHENG, 2012; ADAMKOWSKI; LEWANDOWSKI, 2012; CHERNY et al., 2010; WANG et al., 2016; SHAMLOO; MOUSAVIFARD, 2015).

Em barragens de importância estratégica, nas quais ocorrem mudanças nas condições de trabalho devido às regras de operação definidas para liberação de água na tomada d'água, qualquer mudança durante a operação causará o fenômeno dos transientes hidráulicos, até que se estabeleça novamente um regime permanente na tubulação. Assim, é de suma importância que se busque uma operação otimizada da válvula de tomada d'água, visto que, além das preocupações com a segurança, um problema de operação pode ter consequências em diversas áreas, inclusive sociais e econômicas.

O reservatório Castanhão, localizado no Nordeste brasileiro, tem apresentado recorrentes episódios de perdas na produção pesqueira, situação na qual os representantes das associações de pescadores atribuem a mortandade ao processo de operação da válvula de tomada d'água do reservatório. A alegação da comunidade seria de que as manobras realizadas teriam ocasionado a subida das águas do fundo para a superfície, a partir de uma onda de retorno de vazão gerada por um golpe de aríete (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2016, ARAÚJO, 2017).

Contudo, pelas próprias definições teóricas do golpe de aríete, os maiores impactos do fenômeno são restritos à tubulação, sendo improvável a ocorrência da hipótese levantada. No caso do golpe de aríete gerado pelo fechamento de uma válvula a jusante, ocorre um aumento de pressão na válvula e uma onda de pressão é gerada para montante. Essa onda de pressão é refletida pelo reservatório e então enviada novamente para jusante, gerando um movimento oscilatório para frente e para trás na tubulação (CHAUDHRY, 2014). A onda de retorno de vazão – atribuída pela população como a causa da mortandade – acontece nos instantes em que a onda de sobrepressão atinge a extremidade de montante do tubo, gerando uma condição de desequilíbrio de energia. Assim, a vazão muda de direção, fluindo para trás, em direção ao reservatório, e fazendo com que a pressão retorne ao valor antes do fechamento (WYLIE; STREETER, 1985). Nos cálculos do regime transitório em sistemas com reservatórios de pequenas dimensões, como no caso de tanques, a cota da água no reservatório se modificará ao longo do fenômeno, sendo uma função da seção do reservatório e das vazões de entrada e de saída que se estabelecem durante as ondas de pressão. Porém, em reservatórios de grandes dimensões, as variações de cota são insignificantes, assim, assume-se que o nível de água no reservatório permanece constante durante o estado transitório, não sendo afetado pela vazão de retorno (CHAUDHRY, 2014; WYLIE; STREETER, 1985; CASTILLO, 1994; UNIVERSIDADE POLITÉCNICA DE VALÊNCIA, 2010).

Dessa forma, o objetivo do presente artigo foi analisar o impacto dos transitórios hidráulicos no sistema de tomada d'água da barragem Castanhão, utilizando modelagem computacional, e avaliando seus efeitos no reservatório de forma a melhor compreender a variação de pressão e as taxas de vazão de retorno em função dos tempos de manobra. Além disso, o presente estudo também poderá dar uma resposta aos questionamentos da sociedade local.

3.2 Materiais e Métodos

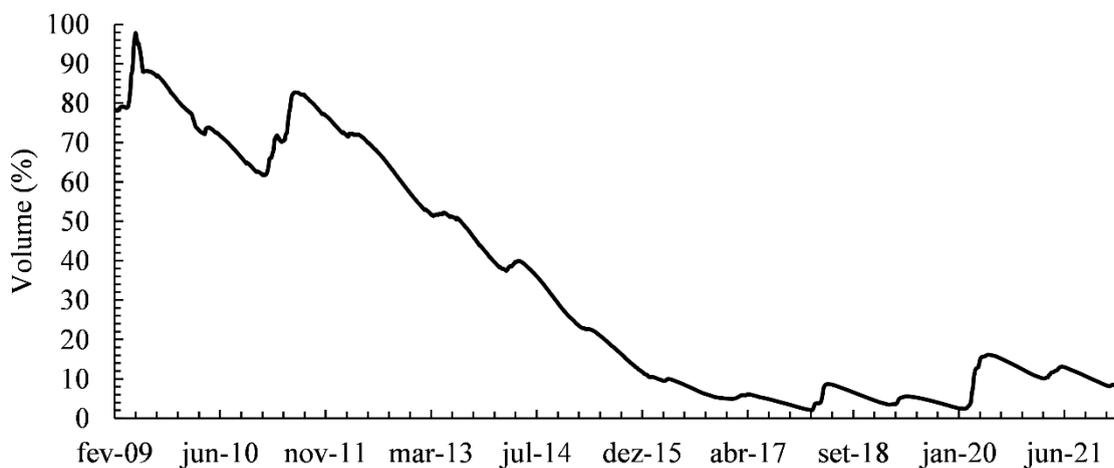
3.2.1 Área de estudo

O reservatório Castanhão está localizado na região do Médio Jaguaribe e apresenta uma área de drenagem de 44.850 km² (ver Figura 1). A capacidade máxima de acumulação da barragem é de 6,7 bilhões de m³, sendo o volume útil de 4,4 bilhões (LACERDA et al., 2018; SANTOS et al., 2017). Em sua cota máxima, o lago do reservatório se estende pelo território de quatro municípios: Jaguaribara, Alto Santo, Jaguaretama e Jaguaribe.

O clima da região é do tipo tropical quente semiárido (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2007), caracterizado por altas temperaturas – com média variando entre 26°C e 28°C – baixas precipitações, sendo a média pluviométrica anual de 745 mm, e altas taxas de evapotranspiração potencial, estimadas em 2100 mm/ano (GONDIM et al., 2012; CAMPOS; SOUZA FILHO; LIMA, 2014; FERNANDES et al., 2017). A estação chuvosa se estende de janeiro a junho, enquanto a estação seca ocorre de julho a dezembro. A vegetação predominante é caatinga degradada arbustiva densa ou aberta. No relacionado à geomorfologia, a bacia do Médio Jaguaribe é composta predominantemente por rochas cristalinas aflorantes e solos geralmente rasos (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2011; MOLISANI et al., 2010).

Entre os anos de 2012 e 2018, a região enfrentou uma das piores secas já registradas, havendo baixíssimas recargas ao longo do período (PONTES FILHO et al., 2020). Esse fato aliado à demanda contínua por abastecimento fez com que o volume armazenado no reservatório Castanhão chegasse à marca de 2%, conforme apresentado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 – Evolução do volume armazenado no reservatório Castanhão desde o último vertimento em 2009



Fonte: Elaborada pela autora.

A barragem do reservatório Castanhão é constituída por dois trechos de terra homogênea nas ombreiras e um trecho central em CCR, totalizando uma extensão de 3450 m e altura máxima de 60 m. Além disso, existe ainda um dique fusível na margem esquerda e nove diques auxiliares na margem direita. O vertedouro é do tipo soleira delgada e conta com um sistema de doze comportas para controle na cota 106 m (DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS, 2004; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

A tomada d'água é do tipo torre, com dois condutos paralelos de 3700 mm de diâmetro passando sob a barragem. O controle da operação é realizado a jusante a partir de quatro válvulas dispersoras com diâmetro de 1500 mm (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016). É importante ressaltar que desde o início da operação apenas uma galeria é utilizada.

3.2.2 Modelagem computacional

Para a realização das simulações de transientes hidráulicos na tomada d'água da barragem foi utilizado o software de cálculo ALLIEVI, desenvolvido pela Universidade Politécnica de Valência, na Espanha, que permite uma modelagem matemática aproximada do sistema hidráulico estudado, a partir da aplicação de método numéricos (UNIVERSIDADE POLITÉCNICA DE VALÊNCIA, 2010).

Diferentes métodos podem ser utilizados em análises computacionais para solucionar numericamente as equações diferenciais parciais hiperbólicas não lineares do momento e da continuidade (Equações 1 e 2).

$$L_1 = \frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} + f \frac{V|V|}{2D} = 0 \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

Onde x e t são variáveis independentes de localização e tempo, respectivamente, e H e V são variáveis dependentes denotando, respectivamente, a carga hidráulica e a velocidade do fluxo. D é o diâmetro do tubo, g é a aceleração da gravidade, f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach e a é a celeridade, ou seja, a velocidade de propagação da onda de pressão no tubo, calculada em função do material utilizado. Ressalta-se que a derivação dessas equações envolve uma série de simplificações, a citar: o fluxo no tubo é unidimensional; o volume de controle é fixo em relação ao tubo; a velocidade e a pressão são uniformes nas seções transversais do tubo; a massa específica do fluido é constante; as paredes do tubo e o fluido são linearmente elásticos; e a temperatura é considerada constante (CHAUDHRY, 2014; WYLIE; STREETER, 1985).

Dentre os métodos utilizados, pode-se citar o Método dos Elementos Finitos, Método das Diferenças Finitas e o Método das Características. Este último se apresenta como um dos mais utilizados nas simulações de processos transientes unidimensionais devido à sua

facilidade de programação e eficiência dos cálculos (CHAUDHRY, 2014; WYLIE; STREETER, 1985), sendo, portanto, a base de cálculo do ALLIEVI.

3.2.2.1. Método das Características

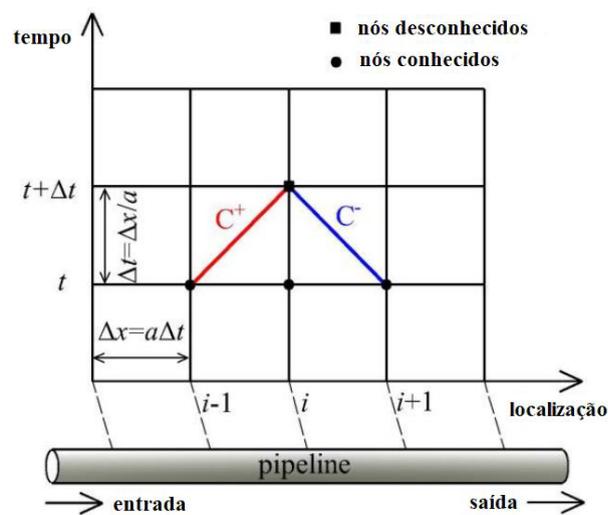
As Equações (1) e (2) não têm uma solução analítica, contudo, podem ser transformadas em equações diferenciais ordinárias, expressando-se na forma de diferenças finitas e, assim, obtendo uma solução numérica a partir da combinação linear destas $L = L_1 + \lambda L_2 = 0$, sendo o multiplicador $\lambda = \pm \frac{1}{a}$. Obtém-se então as Equações (3) e (4) a seguir.

$$\frac{dV}{dt} + \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + f \frac{V|V|}{2D} = 0, \text{ válida para } a = \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{dV}{dt} - \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + f \frac{V|V|}{2D} = 0, \text{ válida para } a = -\frac{dx}{dt} \quad (4)$$

A solução das Equações (3) e (4) pode ser aproximada através de retas num plano x-t, de acordo com a Figura 4. Onde a reta AP, de declividade $\frac{1}{a}$, representa a solução da Equação (3) e a reta BP, de declividade $-\frac{1}{a}$, representa a solução da Equação (4).

Figura 4 – Linhas características no plano x-t



Fonte: Adaptado de Wan; Zhang; Chen (2018).

Considerando uma aproximação de primeira ordem para a solução numérica, temos

as Equações (5) e (6) abaixo.

$$C^+: H_P - H_A + B(Q_P - Q_A) + RQ_A|Q_A| = 0 \quad (5)$$

$$C^-: H_P - H_B - B(Q_P - Q_B) - RQ_B|Q_B| = 0 \quad (6)$$

Sendo $R = \frac{f\Delta x}{2gDA^2}$ e $B = \frac{a}{gA}$. Ressalta-se que a equação característica C^+ aplica-se ao longo da linha AP e a equação característica C^- aplica-se ao longo da linha BP da Figura 4. Os valores de Q e H para os pontos A e B dependem apenas das condições no instante t. Assim, no instante $t + \Delta t$, temos a Equação (7) para H_P :

$$H_P = \frac{(H_A + BQ_A - RQ_A|Q_A|) + (H_B - BQ_B + RQ_B|Q_B|)}{2} \quad (7)$$

Q_P pode ser determinada a partir das Equações (5) ou (6), substituindo o valor de H_P advindo da Equação (7).

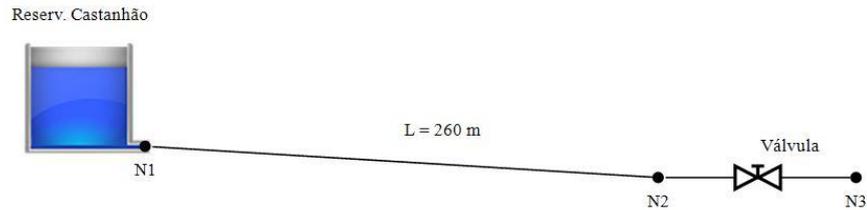
3.2.2.2. Condições de contorno e simulação

As equações características apresentadas acima são válidas apenas para as seções internas do conduto. Assim, para as seções de montante e jusante do tubo, onde apenas uma equação característica é possível de ser utilizada, uma ou mais equações relacionando Q e H com o tempo devem ser fornecidas para solucionar o problema.

Essas condições devem ser expressas por relações matemáticas que representem da maneira mais realista possível o escoamento nessas seções durante o transiente hidráulico. Assim, qualquer equipamento, acessório ou mudança nas características existentes, por exemplo, válvulas, reservatórios, bombas, junções, etc., são condições de contorno potenciais, devendo ser usadas em conjunto com a equação característica respectiva para se determinar o transiente hidráulico.

No caso do sistema hidráulico analisado no presente artigo, o comportamento transitório é causado pelo fechamento da válvula, dessa forma, as condições de contorno são: reservatório de nível constante a montante e válvula a jusante, conforme esquema apresentando da Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Desenho esquemático do sistema hidráulico em estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o reservatório de nível constante a montante, considerando desprezíveis a carga cinética e a perda de carga local na entrada da tubulação, a carga H_P em qualquer instante será constante e igual a carga piezométrica do próprio reservatório, Equação (8):

$$H_P = H_{RES} \quad (8)$$

Onde H_{RES} é o nível de água no reservatório em relação ao plano de referência. Como o reservatório é a montante, deve-se utilizar a equação característica negativa (Equação 6) para o cálculo da vazão, podendo ser escrita na forma da Equação (9):

$$Q_P = \frac{H_{RES} - (H_B - BQ_B + RQ_B | Q_B|)}{B} \quad (9)$$

Já para a condição de contorno da válvula a jusante, o cálculo da carga e da vazão deve ser realizado a partir de uma lei de fechamento/abertura da válvula, que considera o escoamento a partir de um orifício. Assim, a Equação (10) apresenta o cálculo da carga na válvula.

$$Q_P = Q_0 \cdot \alpha \frac{\sqrt{H_P}}{\sqrt{H_0}} \quad (10)$$

Onde Q_0 e H_0 são, respectivamente, a vazão e a carga no estado permanente e α é um coeficiente adimensional, conhecido como lei de fechamento da válvula, $\alpha = \frac{C_d A}{(C_d A)_0}$, sendo C_d o coeficiente de descarga e A a área de abertura da válvula.

Dessa forma, para criar a condição de contorno necessária para solucionar o problema, a equação característica positiva (Equação 5) é resolvida simultaneamente com a Equação (10), resultando em:

$$Q_P = -BC_V + \sqrt{(BC_V)^2 + 2C_V(H_A + BQ_A - RQ_A|Q_A|)} \quad (11)$$

Onde $C_V = \frac{(Q_0\tau)^2}{2H_0}$. H_P pode ser determinada a partir da Equação (5), substituindo o valor de Q_P advindo da Equação (11) ou pela Equação (10).

Os parâmetros do sistema hidráulico simulado estão apresentados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Parâmetros do sistema simulado

Reservatório		Tubulação		Válvula	
H_{RES} (m)	Material	L (m)	D (m)	a (m/s)	D (mm)
40,00	Aço	260,00	3700	1217,68	1500

Fonte: Elaborado pela autora.

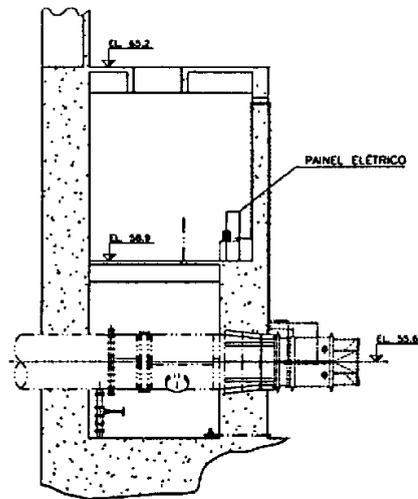
A operação das válvulas de tomada d'água na barragem Castanhão é automatizada, sendo realizada através de um quadro de comando ligado à rede elétrica e localizado no subsolo da casa de válvulas (Figura 6). Dessa forma, foram simulados diferentes tempos de fechamento, de forma a verificar o comportamento das variações de pressão e da onda de retorno de vazão. A Tabela 2 apresenta os cenários simulados. Considerou-se que a vazão na válvula diminui linearmente a partir de 42 m³/s – valor referente a um nível de 40 m no reservatório, que representa a profundidade durante o episódio de mortandade ocorrido em 2016 – até zero, em cada um dos tempos de fechamento simulados. O intervalo de tempo para os cálculos dos regimes permanente e transitório considerado nas simulações foi de 0,05 s.

Tabela 2 – Cenários simulados no ALLIEVI

Cenário	I	II	III	IV	V
Tempo de fechamento (min)	1,00	2,00	5,00	10,00	15,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 6 – Casa de válvulas da barragem Castanhão com indicação do painel elétrico de comando



Fonte: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2004).

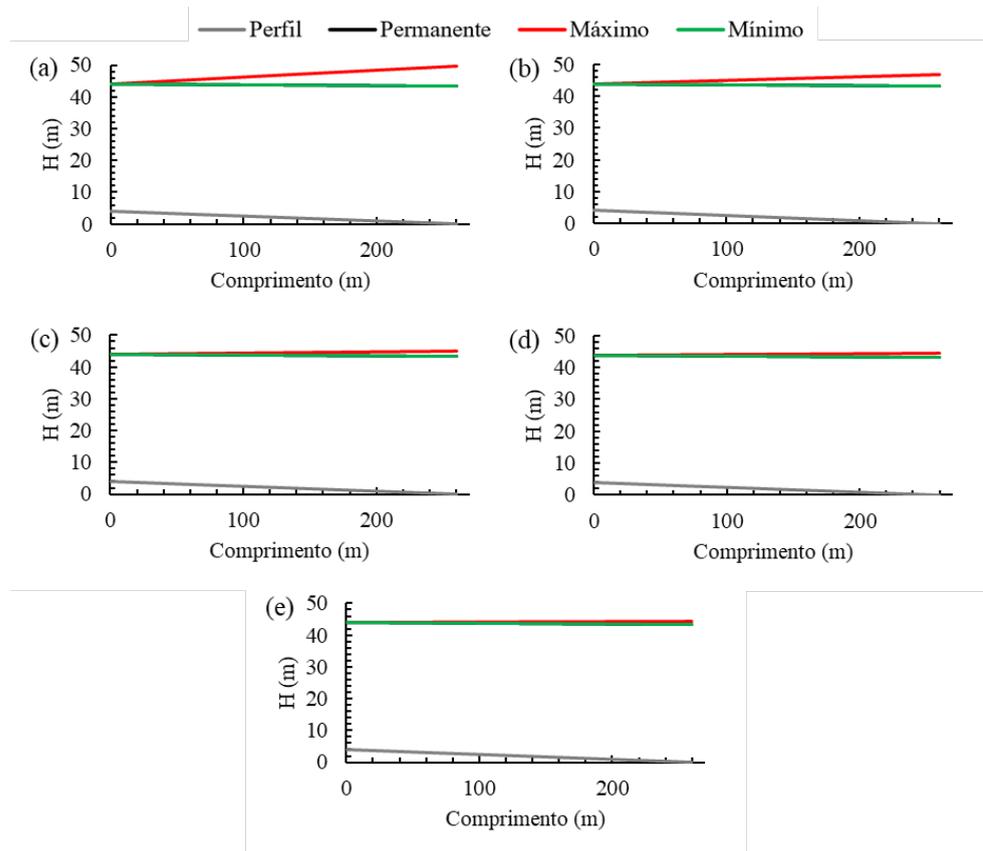
3.3 Resultados e Discussões

Em um fechamento abrupto da válvula, caso em que a vazão através desta é reduzida instantaneamente para zero, ocorre uma conversão da energia cinética do fluido, antes em movimento, para energia potencial (WYLIE; STREETER, 1985). O aumento de pressão máximo é atingido para tempos de fechamento total da válvula menores ou iguais a $\frac{2L}{a}$ (CHAUDHRY, 2014). Para o caso da tubulação analisada, que apresenta um comprimento de 260 m e velocidade da onda de pressão de 1217,68 m/s, temos que $t = 0,43$ s, valor muito menor que os tempos simulados. Assim, a medida em que se aumenta o tempo de fechamento, diminui-se a parcela de conversão de energia e, conseqüentemente, a pressão máxima atingida. Essa estratégia de operação se apresenta como uma das formas de atenuação do golpe de aríete.

As simulações foram realizadas considerando uma altura da coluna d'água no reservatório igual a 40 mca. Nessas condições, a vazão máxima na válvula é de 42,07 m³/s. O valor obtido nas simulações para a vazão na válvula totalmente aberta foi de 42,04 m³/s, sendo o erro percentual de apenas 0,07%. A Figura 7 apresenta os resultados obtidos a partir das simulações para as envoltórias de carga hidráulica máxima e mínima atingidas em cada um dos cenários. Observa-se a atenuação do golpe com o aumento dos tempos simulados, a partir da redução da amplitude de variação de pressões, com as envoltórias aproximando-se da linha permanente.

Segundo o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS (2004), as válvulas dispersoras da barragem Castanhão são acionadas através de dois cilindros operados hidráulicamente. Cada cilindro tem um curso útil de 856 mm e uma velocidade de recolhimento e extensão de 300 mm/min. Assim, tem-se que, de acordo com essas especificações, o tempo mínimo para fechamento total da válvula é de 2,85 min. O cenário II ($t = 2$ min), Figura 7(b), é o que mais se aproxima do comportamento de fechamento total da válvula. Nesse cenário, obteve-se uma variação entre a pressão máxima e mínima de 3,5 m. Tal variação não põe em risco a segurança da tubulação, visto que os materiais normalmente utilizados em obras desse porte são projetados para pressões até 100 mca ou mais.

Figura 7 – Envoltórias de carga hidráulica para os tempos de fechamento da válvula de (a) 1 min; (b) 2 min; (c) 5 min; (d) 10 min e (e) 15 min



Fonte: Elaborado pela autora.

Avaliando a operação realizada à época do episódio de mortandade de peixes em 2016, verificou-se que a operação da válvula foi realizada ao longo de sete horas, com intervalos de 1 hora entre cada manobra e reduzindo a vazão em média $1,64 \text{ m}^3/\text{s}$ (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2016), conforme apresentado na Tabela 3 abaixo.

Essa operação com reduções de vazão pequenas e espaçadas no tempo foi realizada já com o objetivo de atenuar os transientes hidráulicos na tubulação.

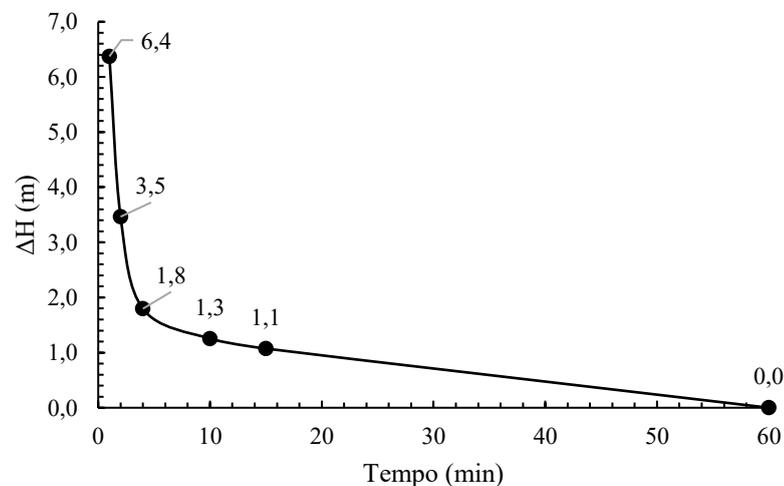
Tabela 3 – Resumo da operação realizada a época do evento de mortandade de peixes em 2016

Manobra	Data e horário	Q _{válvula} (m ³ /s)	ΔQ (m ³ /s)
-	10/05/2016 às 11h00	16.00	-
1	10/05/2016 às 12h00	14.50	1.50
2	10/05/2016 às 13h00	13.00	1.50
3	10/05/2016 às 14h00	11.50	1.50
4	10/05/2016 às 15h00	10.00	1.50
5	10/05/2016 às 16h00	8.50	1.50
6	10/05/2016 às 17h00	5.50	3.00
7	10/05/2016 às 18h00	4.50	1.00
ΔQ médio =			1.64

Fonte: Adaptado de Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (2016).

A Figura 8 apresenta a variação de pressão para diferentes tempos de fechamento. Observa-se que, para o tempo de fechamento de 15 minutos, a variação entre a pressão máxima e mínima foi de 1,1 m. Comparando com a variação de pressão para o menor tempo simulado (1 min), cenário no qual ocorre a maior onda de pressão, houve uma redução de 83%, sendo a variação de pressão para 1 minuto de fechamento de 6,4 m. Para um tempo de manobra de 1 h, intervalo geralmente utilizado na operação do reservatório, não há variação de pressão significativa, até mesmo para um fechamento completo da válvula.

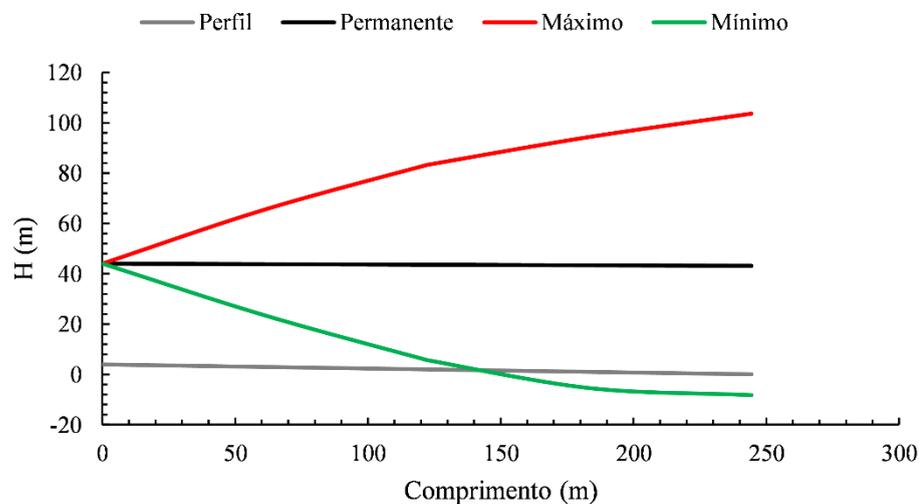
Figura 8 – Variação de pressão com o tempo de fechamento da válvula



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante disso, foram realizadas simulações adicionais com o intuito de determinar o tempo de fechamento a partir do qual o golpe de aríete passa a ser significativo no sistema em questão. Com os resultados, foi obtido com tempo limite de 6 segundos, para o qual as variações de pressão excedem 100 mca, além de serem geradas subpressões na tubulação (Figura 9). Contudo, salienta-se que esse tempo de fechamento (6 segundos) é muito menor que o tempo mínimo de fechamento das válvulas a partir de suas especificações hidromecânicas (DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS, 2004).

Figura 9 – Envoltórias de carga hidráulica para o tempo de fechamento de 6 segundos



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, dois pontos são importantes ressaltar: i) o golpe de aríete não foi significativo em nenhum dos cenários simulados, incluindo o cenário I que apresenta o menor tempo de fechamento; ii) todos os cenários simulados consideraram o fechamento de 100% da válvula, ou seja, $Q_{\text{final}} = 0$, o que representaria situações mais críticas de aumento de pressão na válvula. Com isso, pode-se perceber que a operação realizada em 2016 não representou nenhum risco de golpe de aríete tendo em vista que o fechamento foi gradual e espaçamento no tempo ao longo de horas, reduzindo a vazão em pequenas escalas e não realizando o fechamento total da válvula ($Q_{\text{final}} > 0$).

Além disso, foram avaliadas também as vazões de retorno para os cenários simulados. Os resultados estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que o retorno de vazão para o reservatório é mínimo, sendo próximo a zero na maioria dos cenários. Esses valores são irrisórios frente ao lago da barragem Castanhão, que durante a mortandade, tinha uma

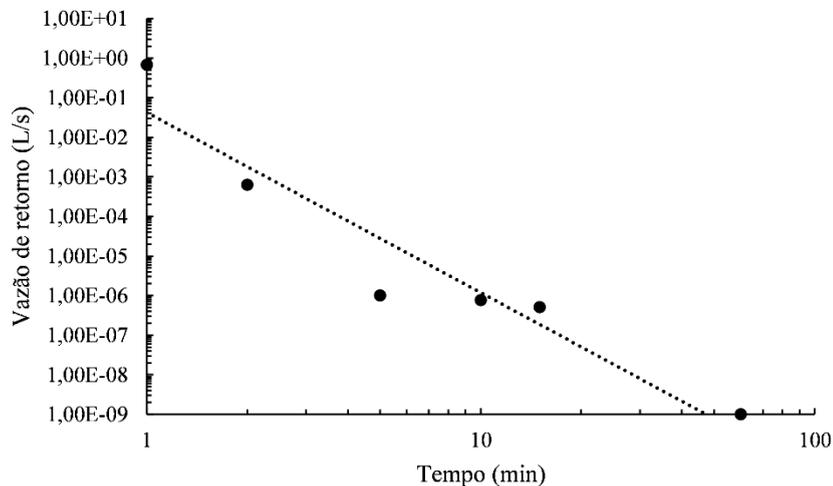
acumulação de 643,71 milhões de m³. A partir da Figura 10 pode se verificar que, à medida que o tempo aumenta, a vazão de retorno segue um comportamento logarítmico, tendendo a zero.

Tabela 4 – Resultados obtidos para a vazão de retorno máxima nos diferentes cenários

Cenário	Tempo de fechamento (min)	Vazão de retorno máxima (L/s)
I	1.00	0.67
II	2.00	6.22E-04
III	5.00	9.95E-07
IV	10.00	7.63E-07
V	15.00	5.08E-07

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 – Variação da vazão de retorno com o tempo de fechamento da válvula



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 Conclusões

No presente artigo, foram realizadas simulações computacionais para buscar avaliar o regime transiente gerado durante a operação da válvula de tomada d'água do reservatório Castanhão. A principal motivação foi compreender a ocorrência do fenômeno dos transitórios hidráulicos no sistema em questão, além de analisar a existência de um possível efeito deste no lago da barragem.

A partir da simulação de diferentes cenários de tempo de fechamento da válvula, foi possível verificar as envoltórias de pressão máxima e mínima atingidas, ficando evidente que o golpe de aríete não é significativo em nenhum dos cenários, ainda que estes tenham considerado um fechamento completo da válvula a jusante. Dessa forma, durante o evento

específico de mortandade dos peixes, em que o fechamento da válvula foi parcial e realizado ao longo de horas, conclui-se que o golpe de aríete também não foi significativo para as condições de operação executadas.

No que concerne à análise das ondas de retorno de vazão – que representam a maior preocupação da comunidade local –, os resultados sugerem que não há impacto relevante destas à produção pesqueira, tendo em vista que seus valores são insignificantes da forma como as operações são realizadas, bem como considerando a magnitude destas frente ao grande volume de acumulação do reservatório.

Diante disso, as análises de pressão e vazão realizadas neste estudo podem auxiliar e apoiar as estratégias de operação do reservatório, subsidiando uma gestão eficaz e garantindo os padrões de segurança.

4 PARTE II: “IMPACTO DA OPERAÇÃO DA VÁLVULA DE TOMADA D’ÁGUA EM PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E NA RESSUSPENSÃO DE SEDIMENTO NO RESERVATÓRIO”

Luísa Ciríaco Silva de Oliveira

Iran Eduardo Lima Neto

RESUMO

Em lagos e reservatórios, os processos envolvendo a ressuspensão de sedimento promovem mecanismos de liberação de nutrientes do fundo que podem gerar uma degradação da qualidade da água e da ecologia do sistema. No caso do reservatório Castanhão, localizado no semiárido brasileiro, a liberação dessas cargas para a coluna d’água a partir de um evento de ressuspensão de sedimento pode interferir na qualidade da água do reservatório e gerar impactos negativos na piscicultura. Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar o impacto da operação da válvula de tomada d’água na hidrodinâmica do reservatório, buscando compreender se o processo de aceleração do escoamento para a tubulação poderia provocar a ressuspensão de sedimento e gerar um possível impacto aos peixes. Para tanto, foram realizadas simulações em fluidodinâmica computacional para determinação do escoamento induzido pela tomada d’água e posterior determinação do transporte de sedimento a partir da aplicação do parâmetro de Shields modificado para lagos. Foram considerados quatro cenários de abertura da válvula e diferentes diâmetros de sedimento, envolvendo as categorias de silte e areia fina. Os resultados obtidos indicaram que o escoamento induzido pela tomada d’água gera turbulência suficiente no fundo do reservatório para ressuspender o sedimento. A região de maior ressuspensão ocorre em torno de 30 metros da entrada da tomada d’água, onde são observados os maiores valores da tensão de cisalhamento turbulenta no leito, devido à contração do fluxo para a tubulação. Contudo, a influência da tomada d’água se limita, aproximadamente, 500 metros, dessa forma, pode-se concluir que não há interferência da ressuspensão induzida pela operação da válvula nas culturas praticadas no reservatório.

Palavras-chave: Fluidodinâmica computacional. Transporte de sedimento. Reservatório. Tomada d’água.

4.1 Introdução

No contexto da prática de engenharia, principalmente entre os profissionais de recursos hídricos, a compreensão dos diferentes processos envolvendo sedimentos – dentre eles, erosão, carreamento, transporte e deposição – tem relevância significativa para evitar ou mitigar problemas que esses processos podem causar. Dentre os problemas envolvendo sedimentos, inclui-se questões relacionadas à qualidade da água, transporte de contaminantes, impactos em habitats naturais e na saúde, que exigem a realização de análises multidisciplinares (GARCÍA, 2008; JAMES et al., 1997; ZHANG et al., 2014).

Em lagos e reservatórios, por exemplo, os processos envolvendo a ressuspensão de sedimento promovem mecanismos de liberação de nutrientes do fundo que podem gerar uma degradação da qualidade da água e da ecologia do sistema, a partir do desencadeamento de eutrofização e da proliferação de algas nocivas (DING et al., 2016; DING et al., 2017; CHAKRABORTI; ATKINSON; KAUR, 2009; BELINSKY et al., 2005; QIN et al., 2004; XU et al., 2010; SIRUNDA et al., 2021). Além disso, ocorre também um aumento da turbidez que afeta a absorção de luz o que também traz consequências à qualidade da água, principalmente em lagos rasos (DAVIES-COLLEY; SMITH, 2001; SØNDERGAARD; BJERRING; JEPPESEN, 2013; HU et al., 2018; CÓZAR et al., 2005).

O reservatório da barragem Castanhão, localizado no semiárido brasileiro, apresenta-se como um reservatório de usos múltiplos, sendo um de seus principais usos a criação de peixes em tanques-rede, que corresponde a 60% da produção do estado do Ceará (LACERDA et al., 2018). Entre os anos de 1991 e 2016, o reservatório apresentou recorrentes episódios de mortalidade da piscicultura, gerando grandes prejuízos aos produtores. As causas dessas perdas na produção, contudo, ainda não foram totalmente compreendidas. Representantes das associações de pescadores atribuem a mortandade ao processo de operação da válvula de tomada d'água do reservatório (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2016).

Sabe-se que o reservatório em questão está sujeito ao recebimento de cargas efluentes externas – advindas das áreas agrícolas localizadas ao redor do lago e dos resíduos urbanos parcialmente tratados dos municípios à montante – e internas, resultantes principalmente da própria piscicultura (SANTOS et al., 2017). A liberação dessas cargas para a coluna d'água a partir de um evento de ressuspensão de sedimento pode interferir na qualidade da água do reservatório e gerar impactos negativos na produção.

A ressuspensão de sedimento ocorre quando as forças hidrodinâmicas na interface sedimento-água excedem um valor crítico, movendo as partículas do leito para a coluna d'água (GARCÍA, 2008; THIBODEAUX; MACKAY, 2011; DEY; PAPANICOLAOU, 2008), e pode ser provocada por diferentes processos, como ondas induzidas pelo vento, flutuações de corrente e turbulência (ZHOU et al., 2018; QIAO et al., 2011; WANG et al., 2015; SUN et al., 2006; LI et al., 2016; WU et al., 2013; HAMILTON; MITCHELL, 1997; YOU et al., 2007; LUO et al., 2006; HÅKANSON, 2005; HAWLEY, 2000; HU et al., 2006).

As questões básicas na mecânica do transporte de sedimento são a definição das condições hidráulicas necessárias para (1) iniciar o movimento de um determinado tamanho de grão de sedimento no leito e (2) levantá-lo em suspensão (GARCÍA, 2008). Os primeiros estudos relacionados a essas questões foram desenvolvidos para rios e regiões costeiras (GARCÍA, 2008; QIN et al., 2004; WU et al., 2013), contudo, nas últimas décadas, também têm sido realizados estudos com o objetivo de analisar a influência da hidrodinâmica na ressuspensão de sedimento em lagos e reservatórios, a partir de diferentes modelos e abordagens.

O estado da arte para estudos de transporte de sedimento são modelos físicos de laboratório, no entanto, estes apresentam limitações principalmente devido aos efeitos de escala (DING et al., 2018; BELINSKY et al., 2005; LIU; HUHE; TAO, 2006; TAMBURRINO; TRASLAVIÑA, 2020). Modelagens numéricas, a partir do uso de fluidodinâmica computacional (CFD), também têm sido utilizadas, tendo em vista a ampla gama de fórmulas de transporte, algoritmos e procedimentos disponíveis nos softwares mais modernos, que possibilitam a modelagem hidrodinâmica e de transporte de sedimento em diferentes ambientes (NASROLLAHI et al., 2019; FISCHER-ANTZE; OLSEN; GUTKNECHT, 2008; RUETHER et al., 2005; POLITANO et al., 2019; LIU; HUANG, 2009; PAPANICOLAOU et al., 2008).

Nesse contexto e diante da necessidade de compreensão das possíveis causas para os episódios de mortandade no reservatório Castanhão, o presente trabalho buscou avaliar o impacto da operação da válvula de tomada d'água na hidrodinâmica do reservatório, a partir de uma análise de ressuspensão de sedimento, procurando compreender se o processo de aceleração do escoamento para a tomada d'água seria capaz de provocar a ressuspensão de sedimento no reservatório e gerar um possível impacto aos peixes.

O estudo geral compreendeu trabalho de campo para coleta de dados do sedimento, modelagem CFD a partir do software ANSYS Fluent e aplicação de modelo simplificado de transporte de sedimento.

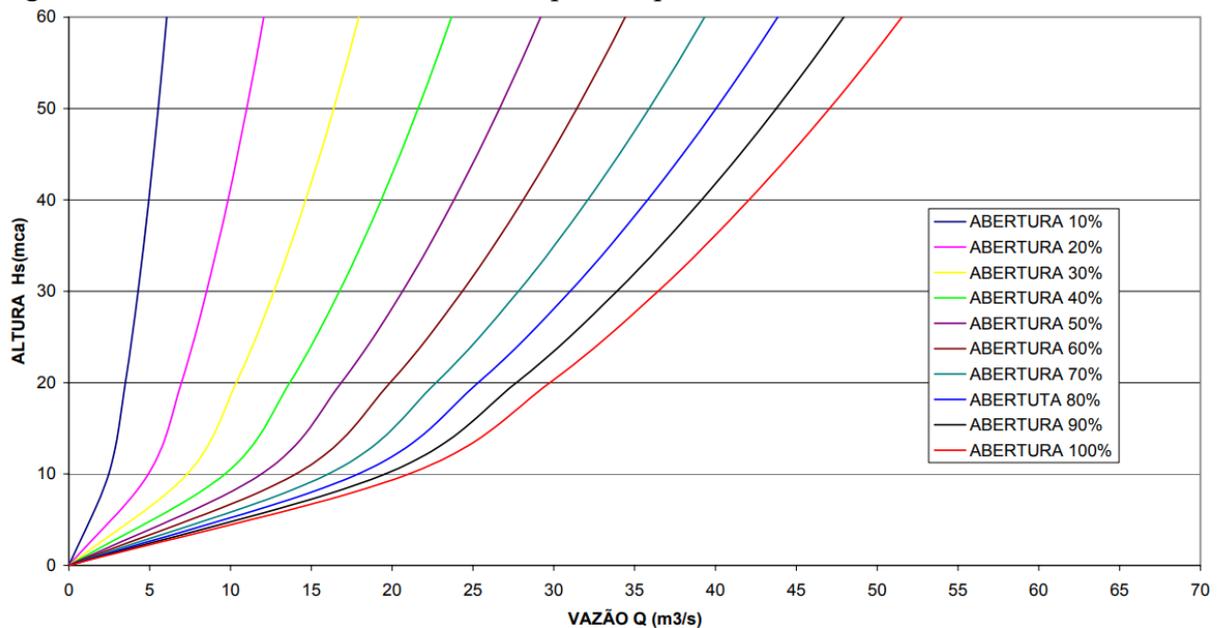
4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Área de estudo

A área de estudo do presente trabalho é o reservatório da barragem Castanhão, que apresenta capacidade de acumulação máxima de 6.700 hm³, área superficial de 325 km² e profundidade máxima de 60 m (LACERDA et al., 2018; SANTOS et al., 2017).

A operação do reservatório é realizada a partir de uma tomada d'água do tipo torre, com dois condutos paralelos de 3.700 mm de diâmetro, controlados à jusante por válvulas dispersoras automatizadas, com diâmetro de 1.500 mm cada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016). É importante ressaltar que desde o início da operação apenas uma galeria é utilizada. A Figura 11 a seguir apresenta as curvas de vazão de saída da válvula por cada altura da coluna d'água no reservatório, para cada porcentagem de abertura.

Figura 11 – Curvas de vazão da válvula dispersora para diferentes aberturas



Fonte: Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (2022).

As características do sedimento do fundo do reservatório foram obtidas a partir de ensaios de laboratório. Para tanto, foram realizadas coletas de amostras nos pontos de monitoramento do reservatório para execução de ensaios de granulometria, densidade real, massa específica e índice de plasticidade (ver Figura 1). A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio de granulometria para o ponto de monitoramento CTN-20,

selecionado como base para realização desse estudo visto que se localiza mais próximo à entrada da tomada d'água.

Tabela 5 – Resultado da análise granulométrica para a amostra coletada no ponto CTN-20

Ponto de coleta	Pedregulho	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Argila
CTN-20	0%	0%	7%	21%	29%	43%

Fonte: Elaborado pela autora.

Os laudos finais do laboratório com os resultados dos demais ensaios realizados estão apresentados no Anexo A.

4.2.2 Equações de turbulência

O escoamento turbulento é causado por pequenas flutuações de velocidade de alta frequência, superpostas ao movimento médio de um escoamento (FOX et al., 2011). As equações do fluxo turbulento são descritas pelos princípios de conservação da massa, do momento e de energia, no entanto, estas equações incluem termos que dificultam o desenvolvimento de uma solução analítica, como os termos de derivação em primeira e segunda ordem e os termos não-lineares das acelerações advectivas (KUNDU et al, 2016). As soluções numéricas, ainda que busquem aproximar os resultados, também enfrentam dificuldades quanto a existência dos termos não-lineares e quanto a condição de incompressibilidade do fluido.

Por esta razão, procedimentos de média devem ser aplicados às equações de Navier-Stokes – principais equações que governam, juntamente com a equação da continuidade, o escoamento de fluidos incompressíveis e transitórios de densidade constante –, para filtrar partes do espectro turbulento (ANSYS, 2013a). O procedimento de média mais amplamente utilizado foi desenvolvido por Osborn Reynolds, no qual todas as estruturas turbulentas são eliminadas do escoamento a partir das chamadas tensões de Reynolds, que representam os processos de flutuação das variáveis médias. A Equação (12) apresenta a equação da continuidade, enquanto a Equação (13) apresenta a equação de Navier-Stokes a partir da simplificação de Reynolds (RANS, em inglês Reynolds-Averaged Navier-Stokes) (BERNARD; WALLACE, 2002).

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (12)$$

$$\rho \left(\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \cdot \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 U_i + \rho g_i - \frac{\partial (\rho \overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} \quad (13)$$

Nas quais U_i é a velocidade média na direção i , x_i é a escala geométrica espacial na direção i , ρ é massa específica do fluido, t é o tempo, P é a pressão média, μ é a viscosidade dinâmica, g é a aceleração da gravidade, ∇^2 o laplaciano, sendo $\nabla^2 \equiv \partial^2 / \partial x_i^2$, e u'_i a flutuação turbulenta da velocidade.

Os modelos de turbulência baseados nas equações de Reynolds (RANS) são os mais usados na prática (WILCOX, 2006; LESCHZINER, 2010), no entanto, a consideração dessas tensões introduz termos desconhecidos adicionais nas equações de transporte, gerando um problema de fechamento, sendo necessários modelos adicionais que proporcionem a solução numérica do sistema de equações posto. Dentre os mais utilizados estão os modelos de fechamento RANS, baseados no conceito de viscosidade turbulenta (hipótese de Boussinesq) e que encerram a hierarquia de equações em um determinado nível e fecham o sistema resultante com equações advindas de análise dimensional e resultados experimentais (KUNDU et al, 2016; DORFMANN, 2017). Exemplos de tais modelos são o k - ϵ e o k - ω em suas diferentes formas (ANSYS, 2013a).

4.2.3 Modelagem CFD

Para a modelagem hidrodinâmica foi utilizado o software ANSYS Fluent, que apresenta recursos avançados para simulações CFD, incluindo modelagem de fluxos laminares e turbulentos, bem como simulações mais complexas, como fluxos multifásicos, reações químicas, radiação e dinâmica de partículas (ÇENGEL; CIMBALA, 2006). Neste artigo utilizou-se a versão estudantil 2021 R2.

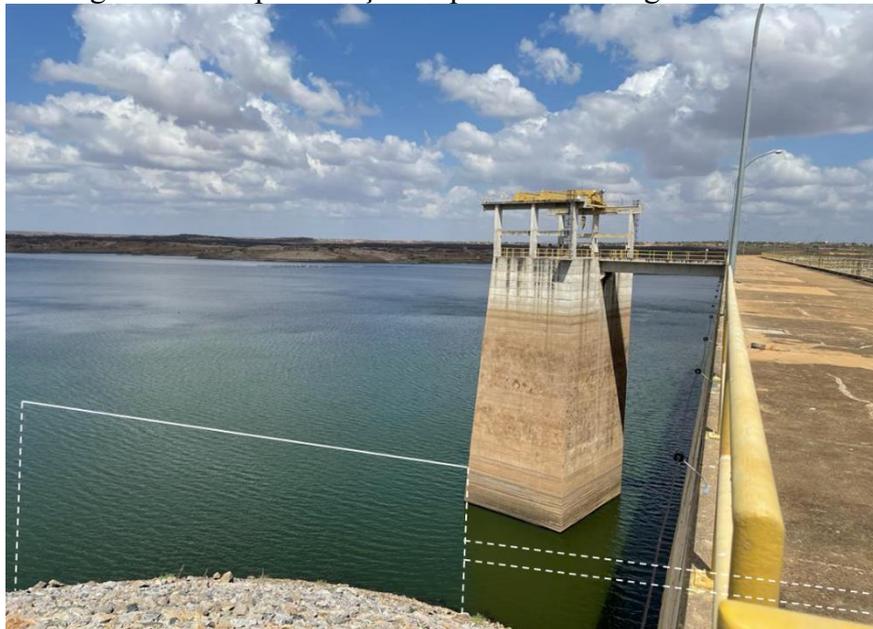
O software ANSYS Fluent resolve as equações de conservação da massa e do momento em duas ou três dimensões, a partir do método dos volumes finitos, com uma formulação centrada em cada célula da malha (ANSYS, 2013b).

O primeiro passo para realização da modelagem é estabelecer o problema físico a ser analisado, inserindo no software a sua geometria. Assim, utilizou-se a plataforma ANSYS Design Modeler para estabelecer a geometria a ser modelada. Diante das grandes dimensões do reservatório Castanhão, seria inviável a consideração do reservatório completo na simulação. Assim, devido às limitações de refinamento da malha da versão estudantil (máximo de 512.000

elementos) e considerando que para lagos grandes e profundos a representação da geometria limite é menos importante do que para lagos rasos (FALCONER; GEORGE; HALL, 1991; ABBASI; ANNOR; VAN DE GIESEN, 2016), optou-se por simular um volume de controle bidimensional ($H = 40$ m; $B = 80$ m) na região próxima à entrada da tomada d'água, a partir de um corte longitudinal (Figura 12), que fosse grande o suficiente para superar a região de influência das linhas de fluxo pela tubulação. Estima-se que a extensão da zona de entrada seja limitada a cerca de metade da profundidade da água da entrada para fluidos homogêneos (SHAMMAA; ZHU, 2010; SHAMMAA; ZHU; RAJARATNAM, 2009). Em relação à profundidade $H = 40$ m, esta foi selecionada por ser, aproximadamente, a profundidade do reservatório durante o evento de mortandade ocorrido em 2016. A tubulação de tomada d'água possui 260 metros de comprimento, dessa forma, decidiu-se inserir um comprimento parcial ($L' = 40$ m), considerando que a análise no presente trabalho será realizada no fundo do reservatório, não importando o que ocorre ao longo da tubulação, e também com o intuito de reduzir a área total, possibilitando um maior refinamento da malha nas regiões de interesse.

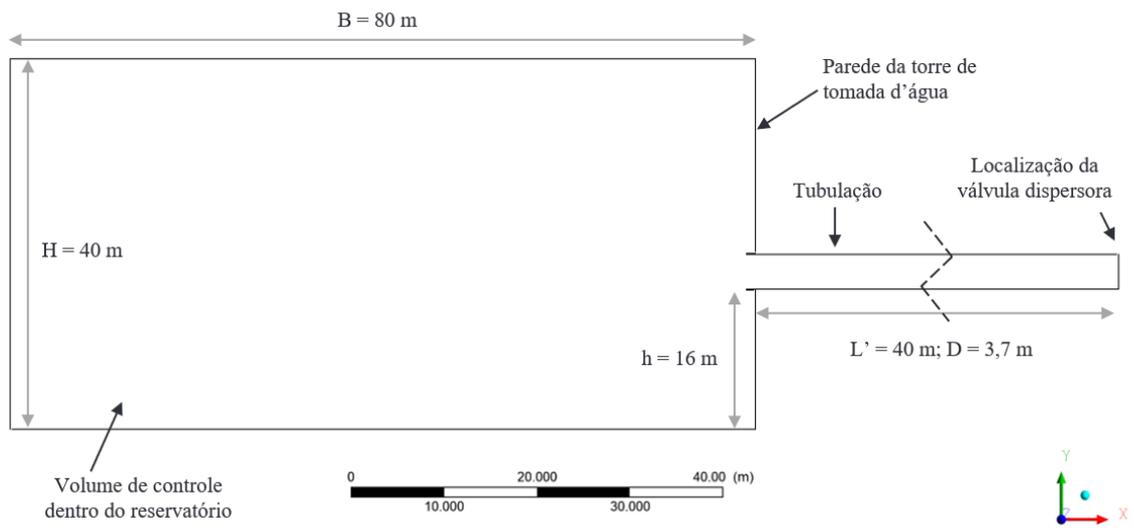
A Figura 13 apresenta a geometria inserida no software referente ao volume de controle do fluido a ser simulado.

Figura 12 – Representação esquemática da região simulada



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 13 – Geometria inserida na plataforma ANSYS Design Modeler



Fonte: Elaborado pela autora.

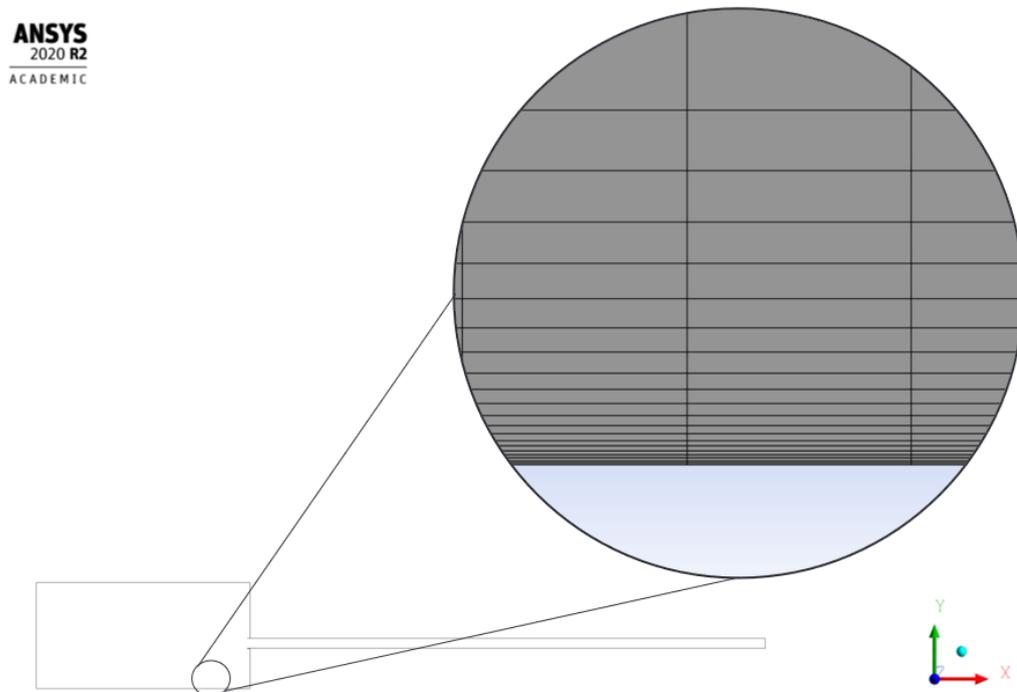
O próximo passo é gerar a malha que possibilitará a realização do cálculo numérico, utilizando a plataforma ANSYS Meshing. Neste trabalho configurou-se a malha para qualidade alta, com tamanho do elemento de 0,1 m, sendo este o refinamento máximo obtido dentro da quantidade máxima de elementos permitida para a versão estudantil. Além disso, tendo em vista que a análise em questão acontece no fundo do reservatório, realizou-se um maior refinamento da malha nesta região a partir da função *inflation*.

A malha gerada possui 349.617 elementos e a Figura 14 apresenta um detalhe desta na região do fundo do reservatório. A análise dos parâmetros de qualidade da malha, principalmente ortogonalidade e distorção, indicaram alta qualidade da malha gerada. Em relação à ortogonalidade obteve-se valores entre 0,77 e 1, sendo o valor de referência $> 0,70$ (ANSYS, 2013a), e em relação à distorção, a grande maioria das células apresentou valores próximos a zero.

Além dos parâmetros de qualidade citados anteriormente, analisou-se também o parâmetro y^+ , que representa a distância adimensional do centroide da célula até a parede mais próxima, com o intuito de garantir que a tensão de cisalhamento no fundo seria calculada corretamente. É importante salientar que, para definir a utilização da malha descrita acima, foi realizado um estudo de independência da malha, com o objetivo de selecionar o refinamento necessário desta, gerando, assim, resultados de CFD mais confiáveis. O método do teste de independência consiste em repetir a simulação para diferentes refinamentos da malha até que se obtenham resultados semelhantes (ÇENGEL; CIMBALA, 2006). Foram realizados

diferentes testes, variando, além do refinamento da malha, condições de contorno permanentes e transientes.

Figura 14 – Malha gerada com destaque para o maior refinamento no fundo do reservatório



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, a hidrodinâmica foi resolvida a partir do modelo de fechamento turbulento $k-\omega$ SST, sendo este o modelo que apresentou a melhor convergência em todas as simulações. A ideia básica desse modelo é manter a formulação robusta e precisa de um modelo $k-\omega$ na região próxima à parede e aproveitar a independência do fluxo livre do modelo $k-\epsilon$ na parte externa da camada limite (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2021; MENTER, 1994). Dessa forma, para assegurar a acurácia do modelo $k-\omega$ SST, buscou-se uma malha com valores pequenos de y^+ , próximos a 1.

Em seguida, com a definição da malha a ser utilizada, prosseguiu-se para a plataforma ANSYS Fluent para realizar a simulação dos cenários de interesse. Para este trabalho, selecionou-se como características gerais uma análise transiente, com influência da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$) e sem mudanças de densidade do fluido (densidade constante = $998,2 \text{ kg/m}^3$ e viscosidade constante = $0,001003 \text{ kg/m-s}$).

O passo seguinte foi definir as condições de contorno, com a inserção das condições de operação da válvula. Tendo em vista que a operação realizada na tomada d'água da barragem

Castanhão é sempre gradual, com manobras lentas e espaçadas no tempo ao longo de horas (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2016) de forma a garantir a proteção da estrutura contra transitórios hidráulicos, conclui-se que entre as manobras se estabelece um regime permanente na tubulação. Nesse contexto, buscando reproduzir mais fielmente o que acontece na realidade, optou-se por simular diferentes cenários de abertura da válvula, a citar: 100%, 75%, 50% e 25% de abertura.

Tendo em vista a impossibilidade de considerar uma condição de contorno de vazão para a válvula em uma simulação bidimensional, inseriu-se uma condição de velocidade, obtida a partir das curvas de vazão da válvula dividindo-se pela área da seção transversal do tubo ($A = 10,75 \text{ m}^2$). A Tabela 6 apresenta as condições de contorno utilizadas nas simulações.

Tabela 6 – Condições de contorno de velocidade na válvula para os diferentes cenários simulados

% de abertura	100%	75%	50%	25%
V (m/s)	3,91	3,17	2,22	1,14

Fonte: Elaborado pela autora.

Posteriormente, realiza-se a inicialização da simulação e se estabelece o intervalo de tempo da simulação e a quantidade de intervalos a serem simulados. Neste trabalho optou-se por um intervalo de tempo de 0,01 segundos e 6.000 intervalos, o que equivale a simulação total de 60 segundos de escoamento. Durante os cálculos, a continuidade foi imposta a partir do algoritmo SIMPLE e foram utilizados esquemas de discretização de segunda ordem para momento e turbulência, devido a maior precisão nos resultados.

Em relação ao tempo de processamento, as simulações realizadas variaram de 4 a 36 horas para serem concluídas, utilizando um computador com processador Intel(R) Core (TM) i7-10510U CPU @ 2.30 com 16 GB de RAM em um sistema operacional de 64 bits. Foram realizadas cerca de 20 simulações teste, alternando entre modelos, métodos e malhas, para obter resultados satisfatórios.

A partir das simulações foram obtidos os valores de energia cinética turbulenta no leito para posterior aplicação do modelo de previsão do transporte de sedimento descrito no tópico seguinte.

4.2.4 Transporte de sedimento

A determinação de uma condição limite para o início do movimento de uma partícula submetida a uma condição de fluxo turbulento é um problema complexo, devido, principalmente, às flutuações aleatórias do regime turbulento que impedem a determinação clara de um limiar para o movimento (GARCÍA, 2008). Alguns estudos propõem uma abordagem probabilística para a determinar tais condições limite, no entanto, um dos métodos mais utilizados foi proposto por Shields (1936), a partir de resultados experimentais e análise dimensional, sendo representado graficamente a partir do diagrama de Shields que relaciona o adimensional da tensão crítica de cisalhamento e do número de Reynolds de cisalhamento (*Shear Reynolds number*).

Esse modelo, contudo, foi desenvolvido para aplicação em rios. Dessa forma, Lyn (1995) desenvolveu uma modificação do parâmetro de Shields para lagos e reservatórios, apresentado na Equação (14), que utiliza em sua formulação a energia cinética turbulenta da corrente. Diferentes estudos mostraram que o início do movimento de sedimento está ligado à passagem de vórtices turbulentos e as flutuações associadas à pressão próxima ao leito, que geram forças de sustentação e arrasto instantâneas suficientes para retirar o sedimento do repouso (ZANKE, 2003; YANG; CHUNG; NEPF, 2016; WAN MOHTAR; MUNRO, 2013).

$$\theta_* = \frac{k}{g \cdot R \cdot D} \quad (14)$$

Sendo k a energia cinética turbulenta, dada por $k = 0,5(u'^2 + v'^2 + w'^2)$, que representa diretamente a intensidade da turbulência e que permite, em uma avaliação do escoamento, determinar as regiões de maior troca de massa. A definição do parâmetro modificado θ_* foi feita com base na proporcionalidade da tensão de cisalhamento crítica do parâmetro de Shields original com a velocidade de atrito ao quadrado, que também é uma medida da energia cinética turbulenta (BELINSKY et al., 2005).

Estudos como Yang; Chung; Nepf (2016), Wan Mohtar et al. (2019) e Sumer et al. (2003) indicam que a intensidade de turbulência próxima ao leito pode ser um controle mais importante do que a tensão de cisalhamento para a análise do início do movimento das partículas, visto que os momentos de flutuação de velocidade de segunda ordem – ou seja, intensidade de turbulência – podem reduzir a ambiguidade na determinação do movimento sedimentar incipiente. Dessa forma, optou-se por utilizar um parâmetro que incluísse a

turbulência como um preditor da condição incipiente do transporte de sedimento, pois acredita-se que utilizando essa variável, um critério de limiar mais preciso seja determinado.

No diagrama de Shields tradicional, os valores críticos são usados para determinar as condições sob as quais as partículas do sedimento do leito são estáveis, mas se encontram no limite de serem arrastadas. Dessa forma, pontos localizados acima da linha crítica se encontram em movimento, enquanto pontos localizados abaixo da linha crítica estarão em repouso. Um estudo experimental realizado por Belinsky et al. (2005) mostrou que os valores críticos para o parâmetro modificado, Θ_c^* , são aproximadamente iguais aos valores críticos do parâmetro de Shields tradicional, τ_c^* . Assim, a linha crítica limitante do movimento foi calculada a partir do ajuste do diagrama de Shields proposto por Mantz (1977) para aplicação em sedimentos finos não coesivos (Equação 15), válida para $0,05 < Re_p < 3,16$.

$$\Theta_c^* = 0,135 \cdot Re_p^{-0,261} \quad (15)$$

Na qual Re_p é o número de Reynolds da partícula, calculado por $Re_p = \frac{\sqrt{g R D^3}}{\nu}$, sendo g a aceleração da gravidade, R é a gravidade específica submersa do sedimento, dada pela relação entre a densidade do sedimento ρ_s e a densidade da água, $(\rho_s - \rho)/\rho$, D é o diâmetro da partícula e ν é a viscosidade cinemática.

4.2.5 Cenários analisados

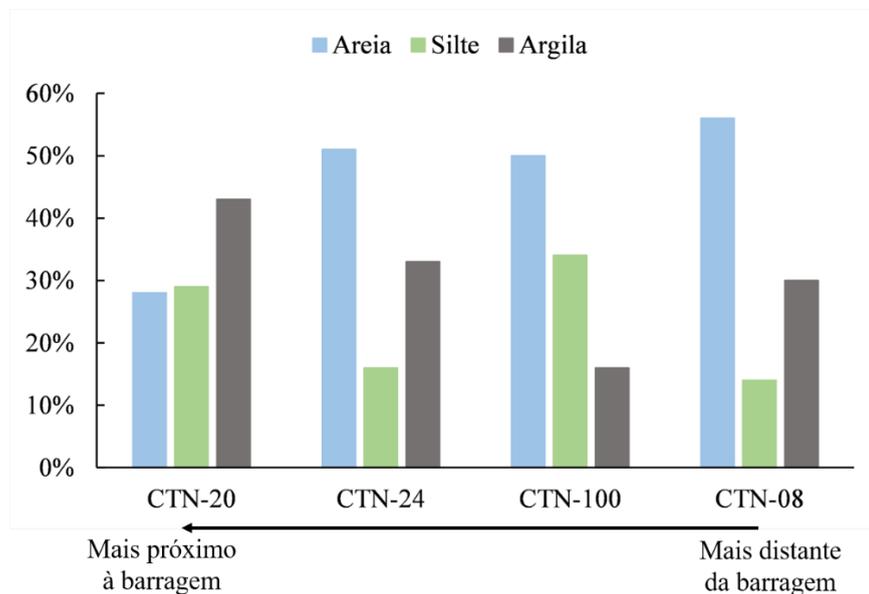
Além das simulações hidrodinâmicas realizadas para diferentes aberturas da válvula, considerou-se um espectro de diâmetros de sedimento para aplicação dos modelos de ressuspensão.

Sabe-se que o transporte das partículas de sedimento está diretamente relacionado à energia do fluxo (LANE, 1955), nesse sentido, espera-se que à medida que se distancia da entrada do rio no reservatório e se aproxima do barramento (ou seja, à medida que velocidades e vazões diminuem), o sedimento depositado no fundo do reservatório apresente granulometria mais fina (ESTIGONI, 2016). Essa tendência foi observada nas amostras coletadas no reservatório Castanhão, como pode ser verificado na Figura 15 a seguir, que apresenta os dados obtidos nos pontos de monitoramento (CTN) localizados no braço do reservatório que possui a maior quantidade de tanques-rede. Os pontos estão organizados do mais próximo à barragem (CTN-20) ao mais distante (CTN-08).

Assim, sabendo que a maior parte do sedimento no ponto mais próximo (CTN-20) é composto por finos (ver Tabela 5) e que existe a tendência de aumento da quantidade de finos próximo à barragem, foram selecionados diâmetros nessa classificação. Além disso, a escolha pela verificação de diferentes diâmetros foi feita considerando que, apesar do ponto CTN-20 ter sido selecionado como base para realização do estudo, este se localiza fora do volume de controle, estando a aproximadamente 270 metros da entrada, assim, entende-se que na região simulada possam existir diâmetros e frequências diferentes da amostra pontuada.

Dessa forma, o primeiro diâmetro a ser selecionado no presente estudo foi calculado a partir da média ponderada dos diâmetros existentes na amostra coletada, sendo 0,012 mm. Depois, selecionou-se um diâmetro mais grosso e outro mais fino que o diâmetro médio, escolhidos a partir dos limites de aplicabilidade da equação de Mantz (1977) e dentro da curva granulométrica da amostra, englobando diâmetros típicos das categorias de silte e areia fina. Assim, optou-se por analisar os diâmetros 0,094 mm e 0,006 mm. A Tabela 7 a seguir apresenta um resumo dos cenários considerados no estudo, organizados em ordem crescente de diâmetro.

Figura 15 – Frequências de areia, silte e argila obtidas nos ensaios de granulometria para as amostras coletadas



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7 – Cenários analisados

		D (mm)		
		D ₁ = 0,006	D ₂ = 0,012	D ₃ = 0,094
Hidrodinâmica	Abertura 100%	I	II	III
	Abertura 75%	IV	V	VI
	Abertura 50%	VII	VIII	IX
	Abertura 25%	X	XI	XII

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 Resultados e Discussões

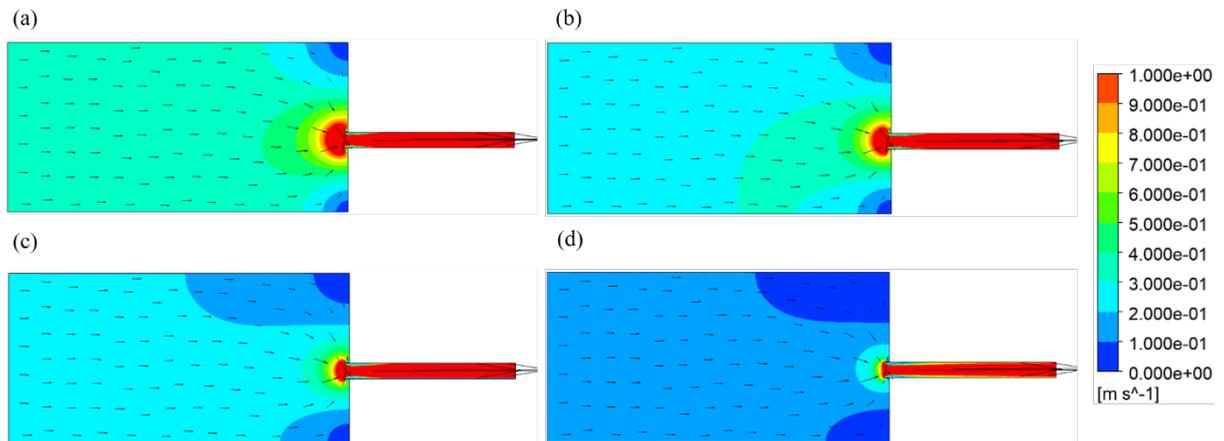
Com as simulações hidrodinâmicas realizadas, foram obtidos os resultados que serão apresentados a seguir para as quatro configurações de abertura da válvula – 100%, 75%, 50% e 25% –, iniciando pela análise do comportamento do fluxo, seguida pela aplicação dos modelos de ressuspensão de sedimento. Ressalta-se que, para todas as simulações numéricas, os resíduos obtidos foram da ordem de 10^{-4} a 10^{-7} , o que representa um resultado satisfatório (ANSYS, 2013a; TU; YEOH; LIU, 2018).

A Figura 16 mostra as velocidades obtidas para cada configuração hidrodinâmica simulada. O padrão de fluxo observado representa o estreitamento do fluido para a tubulação de tomada d'água, onde necessariamente devem ser geradas maiores velocidades, de forma a respeitar a continuidade. É interessante perceber que os vetores de direção do fluxo apresentam um comportamento horizontal na região à esquerda, mais distante da entrada da tubulação, o que indica que as dimensões adotadas para o volume de controle estão grandes o suficiente para representar todo o comportamento das linhas de fluxo diante do estreitamento existente.

Dentro do reservatório, as velocidades de corrente são baixas, da ordem de centímetros por segundo, o que embasa a ideia de corpos lênticos e foi demonstrado por diversos estudos de simulação de lagos e reservatórios (AMORIM et al., 2021). Zhang et al. (2020) aplicaram um modelo hidrodinâmico 3D em um reservatório artificial e verificaram que as velocidades de corrente no reservatório eram da ordem de 1,5 cm/s. Outro estudo foi realizado por Rocha (2022) também com um modelo 3D em reservatório, para o qual obteve velocidades da ordem de 2,0 – 3,0 cm/s. Para o estudo em questão, as velocidades no volume de controle variaram entre 10 cm/s e 40 cm/s, contudo, essas velocidades maiores foram induzidas pela liberação de água a partir de grandes vazões ($12 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 42 \text{ m}^3/\text{s}$). Resultado semelhante foi obtido por Mohammad et al. (2020) a partir da simulação hidrodinâmica de

retirada da maior barragem do Iraque utilizando o modelo HEC-RAS 2D, na qual as velocidades na região próxima à tomada d'água – primeiros 60 metros, ou seja, da mesma magnitude do volume de controle simulado neste trabalho – são da ordem de 30 cm/s.

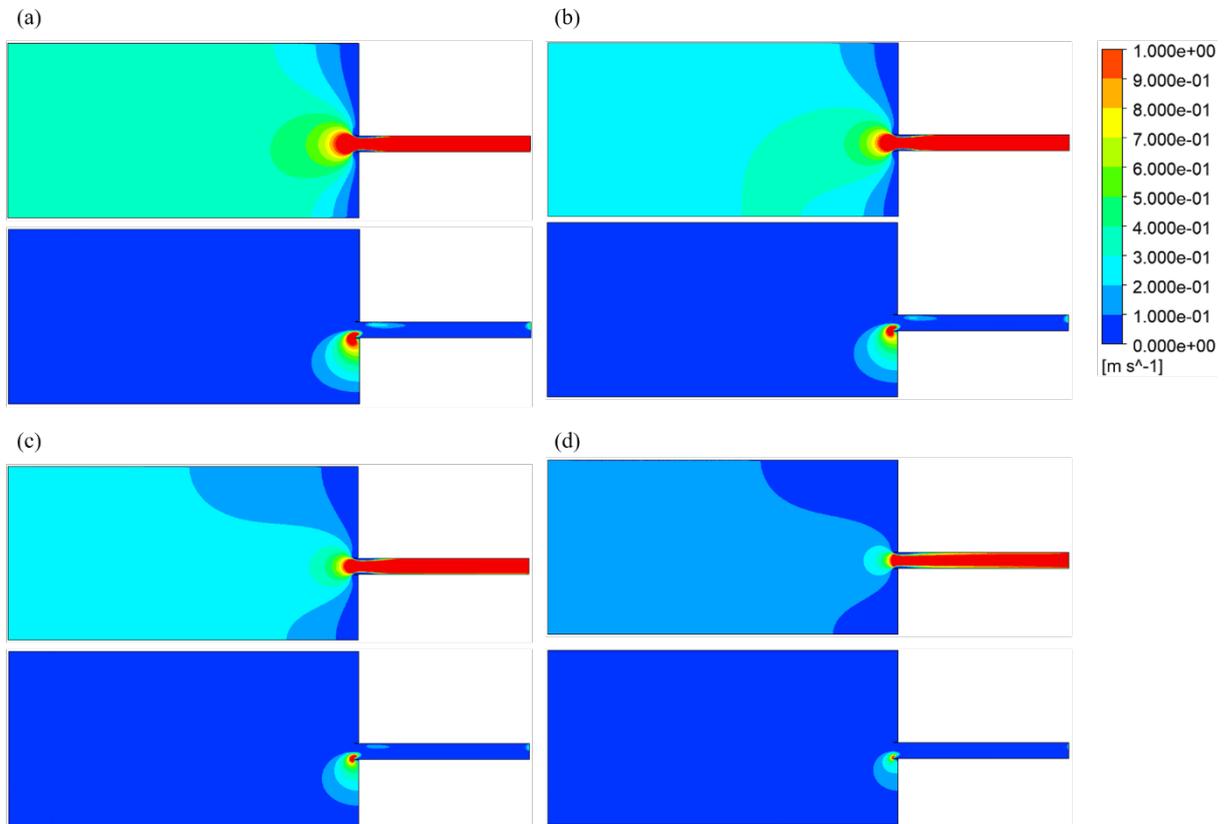
Figura 16 – Velocidades no volume de controle simulado para a condição de (a) 100%, (b) 75%, (c) 50% e (d) 25% de abertura da válvula



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 17 apresenta as velocidades decompostas nas direções u e v para cada condição analisada. Sabe-se que, uma vez que as partículas de sedimento são retiradas do repouso, estas podem ser totalmente ressuspensas na coluna de água ou serem transportadas ao longo do leito como carga de fundo (THIBODEAUX; MACKAY, 2011). Para cargas em suspensão, dominadas por partículas de grãos finos e leves, as partículas são suportadas pelas componentes verticais de velocidade do fluxo turbulento, enquanto são postas em movimento e transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, ou seja, a velocidade de deslocamento da partícula no corpo líquido é diretamente proporcional à velocidade da corrente (PEIXOTO, 2019). Nesse contexto, pode-se inferir que, havendo ressuspensão de sedimento no volume de controle analisado, esse material pode ser transportado para dentro da tubulação de tomada d'água, podendo gerar uma piora da qualidade da água captada e suas consequências, tendo em vista que as velocidades horizontais predominam frente às velocidades verticais nas simulações realizadas.

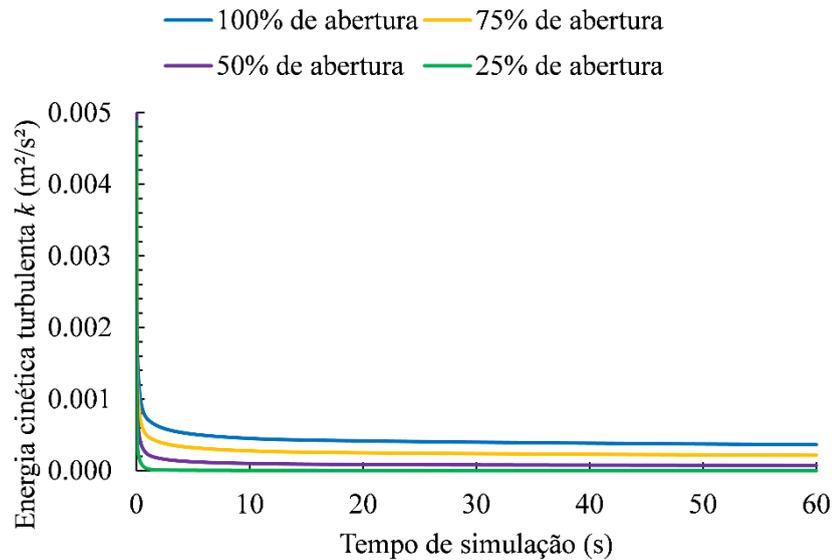
Figura 17 – Decomposição da velocidade nas direções u e v , respectivamente, para a condição de (a) 100%, (b) 75%, (c) 50% e (d) 25% de abertura da válvula



Fonte: Elaborado pela autora.

Com os resultados das modelagens numéricas, obteve-se os valores de energia cinética turbulenta (k) no fundo do reservatório para aplicação do método de transporte de sedimento selecionado, apresentados na Figura 18 para os cenários hidráulicos simulados. Verifica-se que a energia cinética turbulenta diminui com a redução da vazão de saída, o que é coerente com o esperado, tendo em vista que esta é diretamente proporcional à velocidade do fluido e não depende de outras variáveis. Observa-se também que, durante o início das simulações, são calculados valores elevados de k , que diminuem com o tempo até se estabilizar em torno de um valor constante em pouco antes de 10 segundos de simulação. Esse tempo representa o tempo de convergência do modelo.

Figura 18 – Energia cinética turbulenta média no fundo do reservatório



Fonte: Elaborado pela autora.

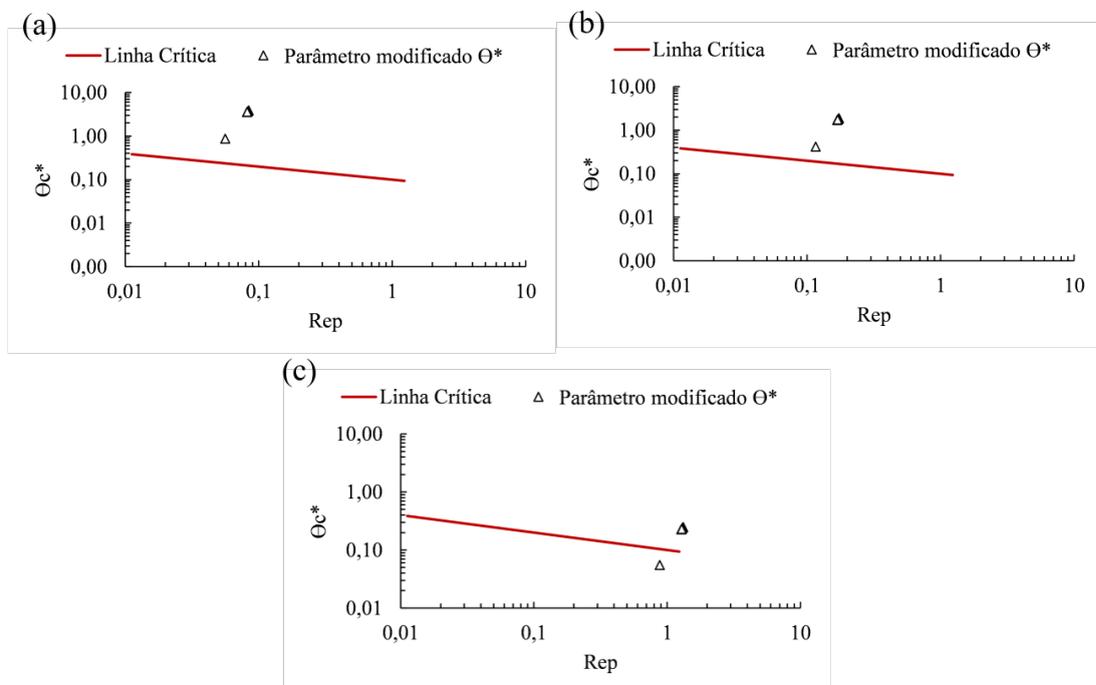
Assim, prosseguindo para a análise do início do transporte de sedimento, utilizou-se o parâmetro de Shields modificado para lagos, proposto por Lyn (1995), calculado a partir da energia cinética turbulenta. As Figuras 19 a 22 a seguir mostram os resultados obtidos para o início do movimento das partículas para os diferentes cenários. Verifica-se que ocorre movimentação das partículas para todos os diâmetros quando se analisa as condições de 100% e 75% de abertura (Figuras 19 e 20). Para a vazão de 50%, o diâmetro mais grosso, D_3 , que representa areia fina, já não é ressuspensionado, Figura 21(c). Enquanto que para 25% de abertura, a ressuspensão é inexistente para todos os tamanhos de sedimento (Figura 22).

Dessa análise, dois pontos podem ser ressaltados. O primeiro é que, para um mesmo diâmetro, a magnitude das movimentações das partículas se intensifica nos momentos de maior liberação de vazão e, conseqüentemente, de maiores velocidades hidrodinâmicas e maior turbulência, comportamento também reportados em outros estudos da literatura (WU et al., 2013; QIN et al., 2004; LI et al., 2016; NASROLLAHI et al., 2019; WAN MOHTAR et al., 2019). Os experimentos de Belinsky et al. (2005) também estão de acordo com o obtido, concluindo que a ressuspensão aumenta com a intensidade da turbulência.

Já o segundo ponto é que, para os dados do presente estudo, quanto menor o diâmetro da partícula, mais susceptível esta estará de ser retirada do repouso. Diferentes diagramas críticos disponíveis na literatura indicam que, para tamanhos de grão maiores, a linha crítica é frequentemente considerada como aumentando à medida que se aumenta do tamanho

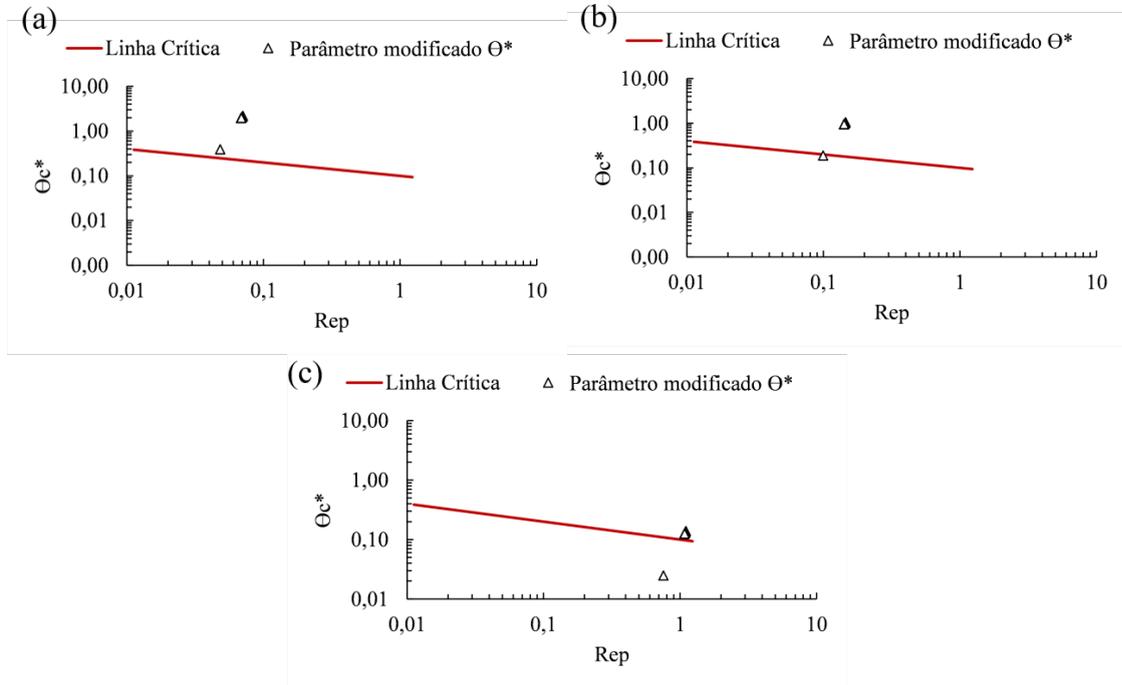
de grão – e conseqüentemente, o número de Reynolds da partícula Re_p –, ou seja, sedimentos mais grossos têm maior dificuldade de ressuspensão devido dentre outros fatores às maiores velocidades de queda. Existe, porém, uma mudança de comportamento da linha crítica quando grãos menores são analisados, a partir da qual esta começa a aumentar à medida que o tamanho do grão diminui (GARCÍA, 2008; THIBODEAUX; MACKAY, 2011), como pode ser verificado na linha crítica calculada pela equação de Mantz (1977), que se aplica exatamente a sedimentos finos. No entanto, é importante ressaltar que o parâmetro calculado para cada um dos sedimentos em análise, Θ^* , é inversamente proporcional ao diâmetro, D . Assim, apesar da mudança de comportamento da linha crítica para sedimentos mais finos, os valores obtidos para Θ^* para D_1 conseguiram superar os valores críticos e indicaram uma maior ressuspensão nesse diâmetro, quando comparado com os outros dois. Wu et al. (2013) e Zhu et al. (2017) também defendem que a ressuspensão de sedimento em lagos, consiste, em grande parte, de partículas finas.

Figura 19 – Análise do início do transporte de sedimento para 100% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário I), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário II) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário III)



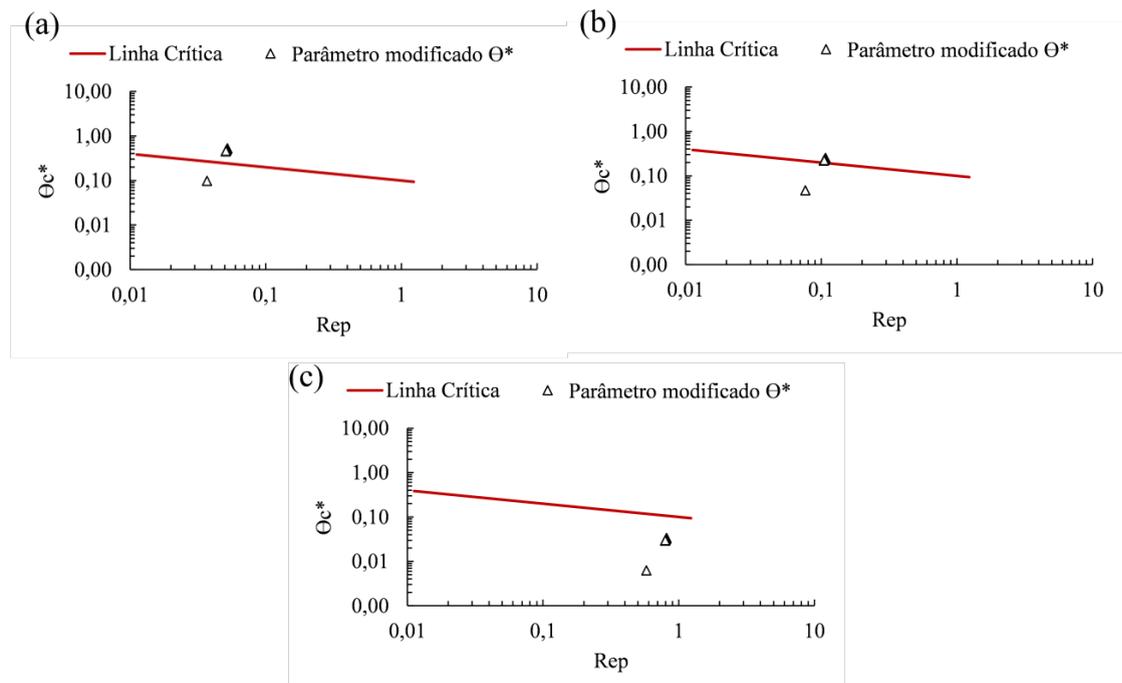
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20 – Análise do início do transporte de sedimento para 75% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário IV), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário V) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário VI)



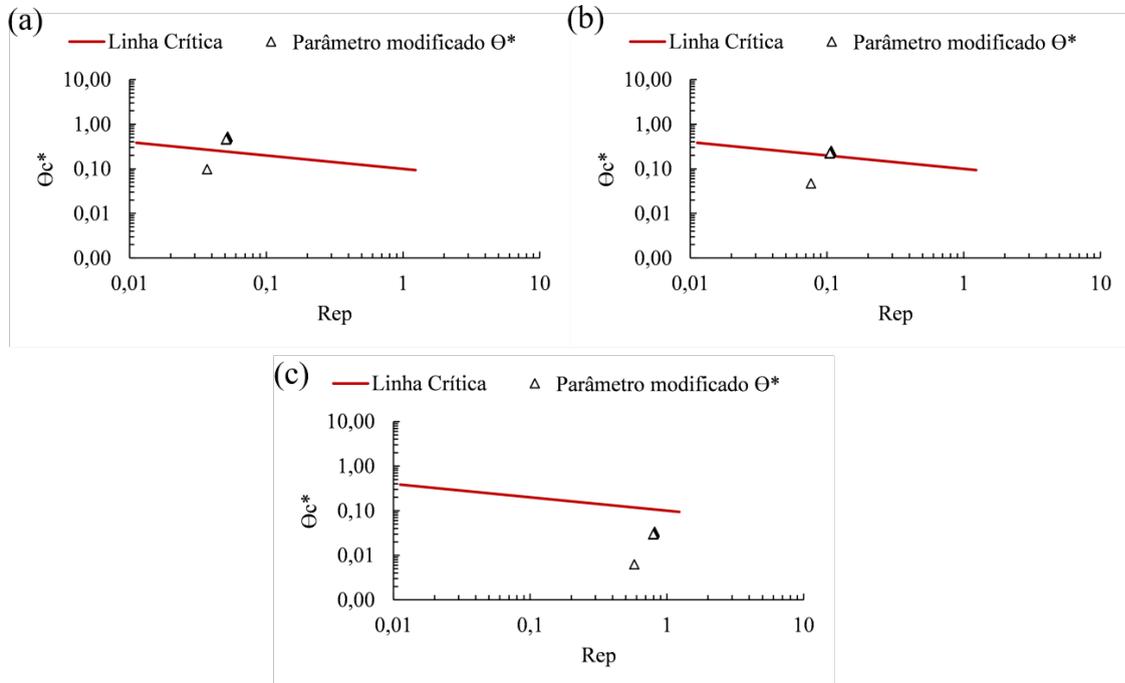
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21 – Análise do início do transporte de sedimento para 50% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário VII), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário VIII) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário IX)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 22 – Análise do início do transporte de sedimento para 25% de abertura da válvula para os diâmetros (a) $D_1 = 0,006$ mm (Cenário X), (b) $D_2 = 0,012$ mm (Cenário XI) e (c) $D_3 = 0,094$ mm (Cenário XII)



Fonte: Elaborado pela autora.

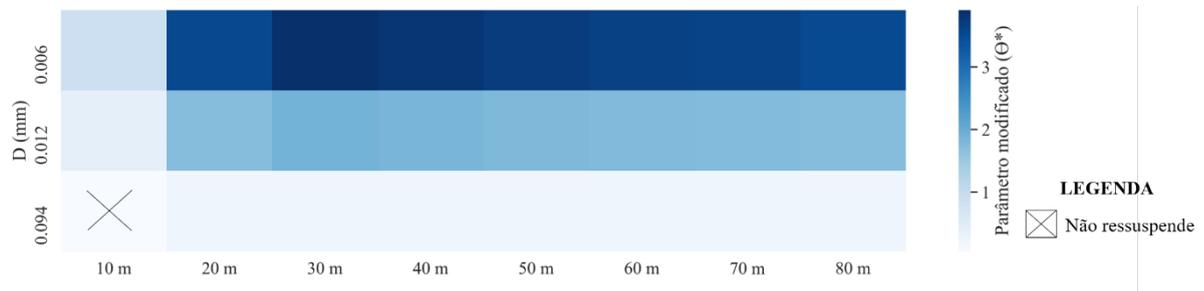
Dessa forma, sabendo que há ressuspensão em algumas situações, realizou-se uma espacialização desta, por meio de gráficos do tipo mapa de calor, com o intuito de verificar sua disposição ao longo do volume de controle. Para tanto, foram analisados pontos a cada dez metros. As Figuras 23 a 26 apresentam a análise espacial da ressuspensão durante as diferentes configurações hidráulicas de abertura da válvula – 100%, 75%, 50% e 25%, respectivamente, para cada D_1 , D_2 e D_3 . As células marcadas com “X” marcam as regiões onde não há ressuspensão ao longo dos 80 metros simulados dentro do reservatório.

Um aspecto interessante a se observar é que, próximo à entrada da tomada d’água (entre 10 e 20 m), a magnitude de ressuspensão é menor e que o local de maior magnitude ocorre a 30 metros de distância da entrada (célula mais escura). Isso acontece devido ao estreitamento do escoamento para a tomada d’água.

Pode-se dizer que o padrão de escoamento a partir de estruturas hidráulicas de controle e descarga numa tomada d’água de barragem apresenta o mesmo fundamento teórico do escoamento através de orifícios e bocais (PORTO, 2006; AZEVEDO NETTO et al., 1998, SHAMMAA; ZHU; RAJARATNAM, 2005). Assim, durante o escoamento, as partículas do fluido movem-se para a tubulação a partir de todas as direções, em trajetórias convergentes,

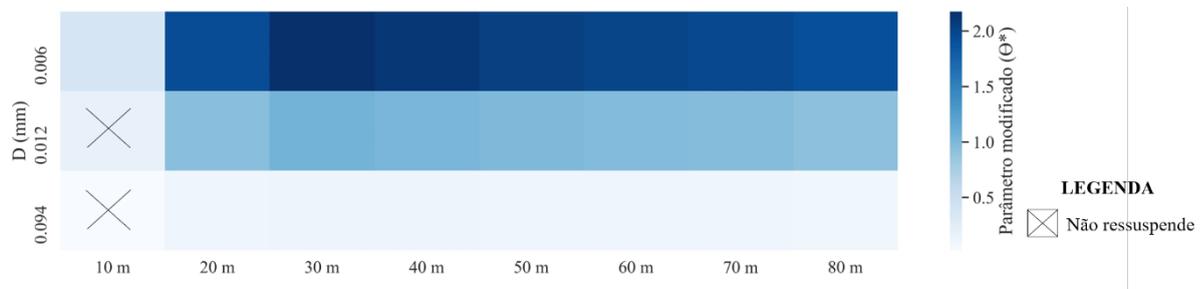
contudo, devido à inércia, as partículas não podem mudar de direção de forma brusca ao se aproximarem do tubo, logo, continuam se movendo em trajetórias curvilíneas, obrigando o fluxo a se contrair um pouco antes da borda interna da abertura do tubo (PORTO, 2006). Dessa forma, entende-se que o local de maior ressuspensão ($x = 30$ m) se dá exatamente onde ocorre a contração descrita. Nessa região, além das componentes horizontais predominantes no escoamento em questão, as componentes verticais de velocidade e turbulência passam a exercer um papel mais significativo no escoamento, induzidas pela contração advinda da tomada d'água, e aumentando à medida que se aproximam desta (ver Figura 17). No entanto, nas proximidades da entrada do tubo, essas componentes verticais, apesar de maiores, já se distanciaram no fundo do reservatório, fazendo com que os parâmetros de ressuspensão caíam nessas áreas. Esse comportamento pode ser observado a partir da Figura 27, que apresenta a tensão de cisalhamento turbulenta, representada pelas tensões de Reynolds ($\tau_{turb} = -\overline{\rho u'v'}$) ao longo do volume de controle.

Figura 23 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 100% de abertura da válvula



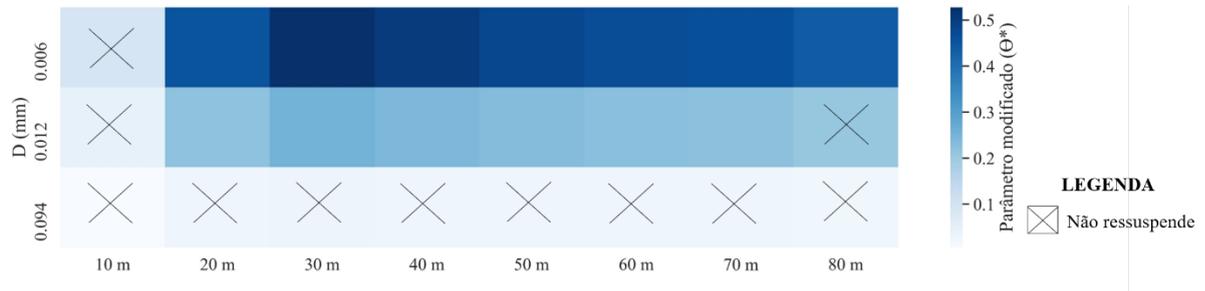
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 24 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 75% de abertura da válvula



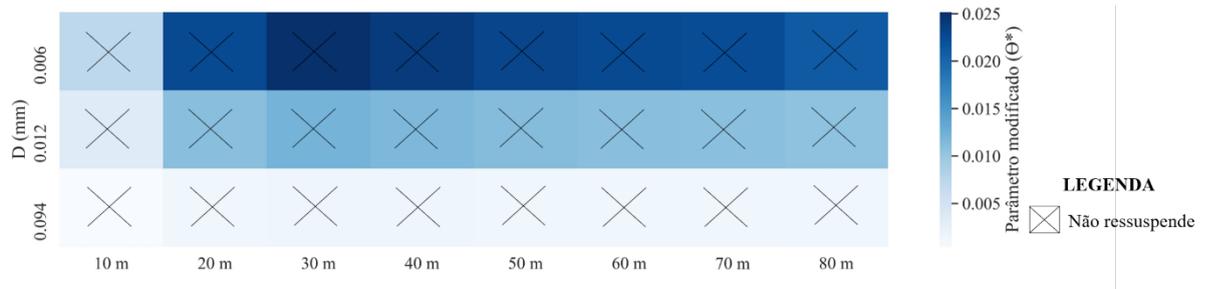
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 25 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 50% de abertura da válvula



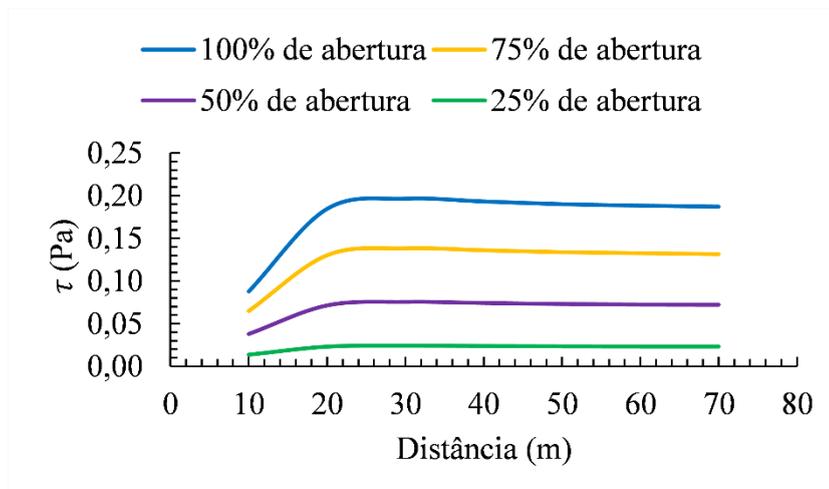
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26 – Espacialização da ressuspensão de sedimento por diâmetro durante a condição de 25% de abertura da válvula



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27 – Tensão de cisalhamento turbulenta no fundo do reservatório para os diferentes cenários de abertura da válvula



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da análise espacial é possível verificar também que, para $x = 80$ m, ou seja, para o limite máximo simulado dentro do reservatório, a movimentação das partículas ainda é considerável, apesar de apresentar uma inclinação à redução. Dessa forma, fez-se uma regressão linear com o intuito de determinar a que distância não haverá mais interferência da tomada d'água na ressuspensão do sedimento, verificando se a ressuspensão poderia, de alguma forma, chegar às criações de peixe. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 8 a seguir.

Um mapeamento dos tanques-rede existentes no reservatório Castanhão foi realizado pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (SRH-CE) em 2018, indicando que a piscicultura mais próxima ao barramento se encontra a, aproximadamente, 1.500 metros (ver Figura 1), enquanto que a influência da tomada d'água na ressuspensão de sedimento se estende a, no máximo, 536 metros, já em condições limites de movimentação, conforme Tabela 8. Diâmetros maiores ou menores aos analisados resultariam em ressuspensões ainda menores, uma vez que se incluíam em classificação de areia média/grossa, com maior dificuldade de ressuspensão devido aos maiores diâmetros e maiores velocidade de queda, ou de argilas, que envolveriam forças de coesão. Além disso, à medida que se distancia da barragem dentro do reservatório, onde a influência da tomada d'água no escoamento se torna menor, o sedimento encontrado no fundo do reservatório tende a apresentar granulometria mais grossa, conforme discutido anteriormente na Figura 15.

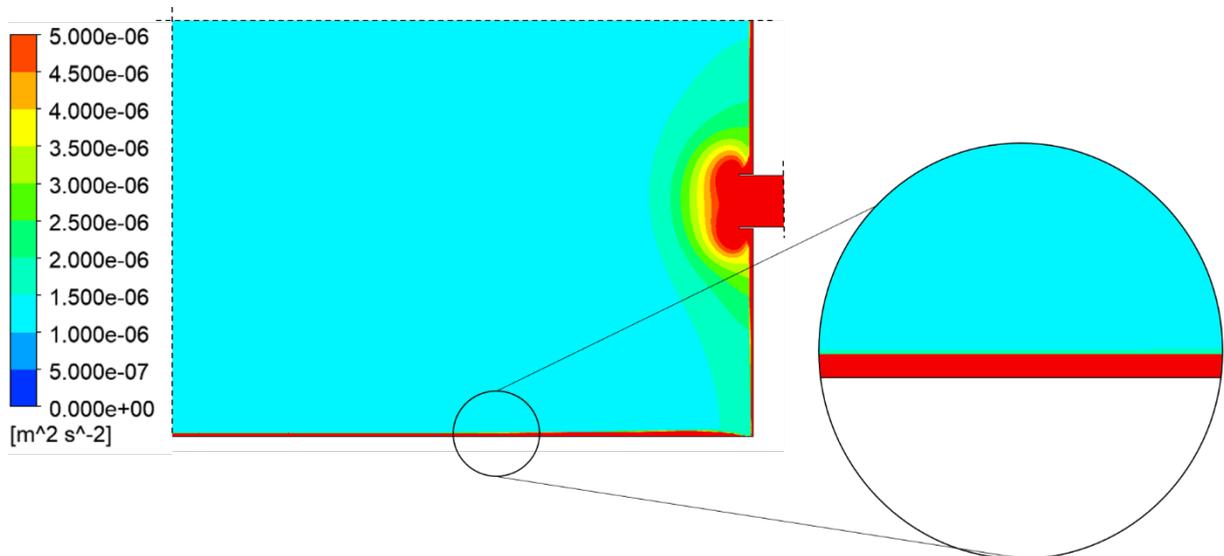
Tabela 8 – Resultados obtidos a partir da análise de regressão linear

Condição hidrodinâmica	Diâmetro (mm)	Correlação	R²	Limite da ressuspensão (m)
Abertura 100%	D ₁ = 0,006	$y = -0.0071x + 4.09$	0.96	536.00
	D ₂ = 0,012	$y = -0.0034x + 1.98$		520.00
	D ₃ = 0,094	$y = -0.0005x + 0.26$		324.00
Abertura 75%	D ₁	$y = -0.0049x + 2.31$	0.97	412.00
	D ₂	$y = -0.0024x + 1.12$		375.00
	D ₃	$y = -0.0003x + 0.15$		159.00
Abertura 50%	D ₁	$y = -0.0016x + 0.57$	0.93	172.00
	D ₂	-	-	Ressuspensão dentro do limite simulado
	D ₃	-	-	Não ressuspende
Abertura 25%	D ₁	-	-	Não ressuspende
	D ₂	-	-	Não ressuspende
	D ₃	-	-	Não ressuspende

Fonte: elaborada pela autora.

Soma-se a isso, o fato de que os tanques-rede são flutuantes e que, em reservatórios profundos, concentrações significativas de partículas ressuspensas estarão presentes apenas em uma pequena porção da coluna de água próxima ao leito (BELINSKY et al., 2005; GARCÍA, 2008), conforme pode ser observado na Figura 28, que apresenta a variação vertical da energia cinética turbulenta, e na qual verifica-se que a ressuspensão ocorre apenas em uma camada de 25 centímetros próxima ao fundo.

Figura 28 – Energia cinética turbulenta na vertical, com destaque para a região próxima ao leito



Fonte: elaborada pela autora.

Analisando o ocorrido em 2016, a manobra à qual foi atribuída relação com a morte de peixes, reduziu a vazão da válvula de $16 m^3/s$ para $4,5 m^3/s$ (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2016), ou seja, reduziu a abertura da válvula de 30% para 10%, aproximadamente. Essa manobra foi realizada ao longo de sete horas, reduzindo a vazão gradualmente em intervalos de 1h em 1h. Nesse sentido, os cenários analisados para a simulação com abertura de 25% são os mais próximos do ocorrido, indicando que a ressuspensão causada pela válvula durante o evento em questão foi mínima ou inexistente.

Diante disso, pode-se concluir que não há indícios de interferência da ressuspensão induzida pela operação da válvula de tomada d'água nas culturas praticadas no reservatório. É válido ressaltar que, além da turbulência, outros fatores também podem interferir na ressuspensão de sedimentos, principalmente, considerando seus efeitos combinados, contudo,

a partir das simulações descritas entende-se que o efeito isolado da válvula não gerou ressuspensão significativa.

4.4 Conclusões

O modelo hidrodinâmico ANSYS Fluent foi aplicado com o intuito de simular o impacto da operação da válvula de tomada d'água da barragem Castanhão na hidrodinâmica do reservatório. Com essas simulações e considerando os resultados obtidos a partir dos ensaios de laboratório para caracterização do sedimento, foi realizada uma análise de transporte de sedimento a partir do parâmetro de Shields modificado para lagos, que determina a movimentação das partículas com base na energia cinética turbulenta da corrente. O objetivo foi melhor compreender os processos hidrodinâmicos e sedimentares gerados pela operação da válvula e buscar analisar se tais processos poderiam interferir nas culturas de pescado. Nesse contexto, foram simulados quatro cenários de abertura da válvula (100%, 75%, 50% e 25% de abertura), além de verificados diferentes diâmetros dentro da curva granulométrica da amostra coletada, englobando diâmetros típicos das categorias de silte e areia fina.

Os resultados obtidos indicaram que o escoamento induzido pela tomada d'água gera turbulência suficiente no fundo do reservatório para ressuspender o sedimento. Essa ressuspensão é mais significativa quanto maior a vazão de retirada e menor o diâmetro verificado, indicando que partículas finas não coesivas (silte) podem representar grande parte da ressuspensão no lago. Uma vazão de retirada de 25% de abertura da válvula já não gera ressuspensão de sedimento.

Além disso, verificou-se que a região de maior ressuspensão ocorre em torno de 30 metros da entrada da tomada d'água, local onde ocorre o início da contração do escoamento para aceleração das linhas de fluxo em direção à tubulação, onde são observados os maiores valores da tensão de cisalhamento turbulenta. A análise de regressão linear realizada mostrou que a ressuspensão nas condições consideradas se encerra totalmente a uma distância de, aproximadamente, 1 km da piscicultura mais próxima da barragem, assim, pode-se concluir que não ocorre repercussão da ressuspensão de sedimento gerada pela válvula nas culturas.

Ressalta-se que estudos posteriores podem ser realizados de forma a aprofundar a compreensão da relação entre os processos hidrodinâmicos e sedimentares gerados pela operação. Sugere-se a realização de modelagens 3D e bifásicas, incluindo a fase granular no modelo numérico, o que possibilitaria a investigação de alterações morfológicas no leito, além da verificação de entrada de sedimento na tubulação de tomada d'água. Além disso, sugere-se

consideração de níveis mais baixos do reservatório, que podem ser mais susceptíveis a um maior impacto do sedimento na coluna d'água.

5 PARTE III: “VARIABILIDADE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NO AÇUDE CASTANHÃO E O IMPACTO DA TOMADA D'ÁGUA NA QUALIDADE DO FLUXO DE SAÍDA”

Luísa Ciríaco Silva de Oliveira

Iran Eduardo Lima Neto

RESUMO

As operações de barragens podem gerar impactos significativos na hidrodinâmica do reservatório, influenciando, dentre outros aspectos, a qualidade da água captada. No caso do reservatório Castanhão, localizado no semiárido brasileiro, o conhecimento da qualidade da água retirada pela tomada d'água se apresenta como um fator essencial na gestão do reservatório, tendo em vista que esta influencia os diversos usos a jusante, principalmente no que diz respeito aos gastos com tratamento. Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar o impacto da captação na qualidade da água de saída, a partir da compreensão do comportamento das linhas de fluxo e do campo de velocidade gerado pela tomada d'água nas diferentes camadas do reservatório. Para tanto, foram realizadas simulações em fluidodinâmica computacional para definição dos percentuais de fluxo e posterior determinação da qualidade da água a partir de uma ponderação entre o fluxo e os parâmetros de qualidade analisados. Foram considerados três cenários de abertura da válvula e diferentes gradientes de temperatura na coluna d'água. As análises da qualidade envolveram perfilagens em escalas nictemerais realizadas durante as estações seca e chuvosa e incluíram os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, fósforo e nitrogênio totais e densidade de cianobactérias. Os resultados obtidos indicaram que a consideração da ponderação pelo fluxo gerou melhores índices de qualidade, quando comparadas com uma situação de desconhecimento do escoamento. Para determinadas configurações, as diferenças resultantes da ponderação pelo fluxo geraram mudança na classe de qualidade da água captada.

Palavras-chave: Modelagem hidrodinâmica. Reservatório. Tomada d'água. Qualidade da água.

5.1 Introdução

Em regiões semiáridas, como o nordeste brasileiro, diversas cidades e atividades agrícolas e industriais dependem do abastecimento realizado por reservatórios artificiais, dessa forma, é imprescindível um constante monitoramento e gerenciamento quantitativo e qualitativo desses sistemas (BRAGA et al., 2015; COSTA et al., 2021; CAMPOS, 2015; SACRAMENTO et al., 2015; ARAÚJO; MAMEDE; LIMA, 2018; ZOUABI-ALOUI; ADELANA; GUEDDARI, 2015).

Devido às características climáticas, com baixos índices pluviométricos e altas temperaturas ao longo de todo o ano, e à constante exploração dos recursos hídricos, os reservatórios superficiais do semiárido estão sujeitos a uma alta variabilidade de nível, o que afeta diretamente suas condições físico-químicas, biológicas e de qualidade da água (BRAGA et al., 2015). Além disso, as modificações na estrutura termal as quais estão submetidos também influenciam a qualidade da água, visto que afetam a transferência de oxigênio e, conseqüentemente, a mortalidade de plantas e animais, dentre outros impactos (SOUZA FILHO; MARTINS; PORTO, 2006; YANG et al., 2021; ZHANG et al., 2015; ELÇI, 2008).

Essas condições, juntamente com a poluição por nutrientes advinda de cargas internas e externas, como esgotos domésticos e industriais, partículas residuais provenientes da agricultura e da pecuária e intensiva exploração de piscicultura nos lagos, têm agravado os processos de eutrofização dos corpos d'água (SILVA et al., 2016; SANTOS et al., 2017; FREIRE; CALIJURI; SANTAELLA, 2009; OLIVEIRA et al., 2015), comprometendo cada vez mais a qualidade da água acumulada. De acordo com o último relatório de qualidade da água realizado pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), dos 143 sistemas analisados, 85% se encontravam em estado eutrófico ou hipereutrófico (COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2022a). Essa conjuntura pode tornar inviável a utilização dos mananciais, aumentando a insegurança hídrica, e vem se tornando uma preocupação crescente para muitos gestores de serviços de água (XU et al., 2010; SIRUNDA et al., 2021; KUCHINSKI; GASTALDINI, 2018). Dessa forma, o processo de avaliação da qualidade deve levar em conta todos os processos diretos de gestão que influenciam o corpo hídrico (CARR et al., 2019; LEMOS, 2015).

Nesse contexto e perante o cenário de mudanças climáticas que pode intensificar essa problemática levando a sérias consequências ambientais, econômicas e sociais, é de suma importância, para um planejamento eficaz do uso dos recursos hídricos, conhecer, além dos padrões internos de qualidade, a qualidade da água que é retirada dos reservatórios a partir das

tomadas d'água (AZADI; ASHOFTEH; CHU, 2020; OLDEN; NAIMAN, 2010; SAADATPOUR et al., 2021; MARQUES; GUNKEL; SOBRAL, 2019; RAULINO; SILVEIRA; LIMA NETO, 2021), visto que esta influencia fortemente os gastos com tratamento, quando utilizada para abastecimento (CASTRO, 2020; FAN et al., 2013; HE et al, 2016, OLIVER; RIBEIRO, 2014; MOURA et al., 2019), e a ecologia do rio a jusante, quando liberada para fins ambientais (KEDRA; WIEJACZKA, 2017; KIM; CHOI, 2020; POLITANO; HAQUE; WEBER, 2008; DUKA; SHINTANI; YOKOYAMA, 2021). Para a determinação da qualidade do fluxo de saída, é necessária uma compreensão do campo de velocidade induzido no reservatório pela retirada (SHAMMAA; ZHU, 2010; DEHBALAEI; JAVAN, 2018), que pode mobilizar diferentes camadas horizontais de água a depender da vazão e dos gradientes térmicos e de densidade da barragem, por exemplo (ZOUABI-ALLOUI; ADELANA; GUEDDARI, 2015).

A maioria dos estudos existentes para o Nordeste brasileiro é destinada às questões de disponibilidade hídrica em seu aspecto quantitativo, por exemplo, a partir da previsão do comportamento das variáveis hidrológicas (MARENGO et al., 2005; ALVES et al., 2007; LIMA; ALVES, 2009; LIMA NETO, 2019). No entanto, nos últimos anos têm sido desenvolvidos estudos visando à previsão dos padrões de qualidade da água nos reservatórios (WIEGAND et al., 2021; RAULINO; SILVEIRA; LIMA NETO, 2021; NASCIMENTO FILHO et al., 2019; ROCHA; LIMA NETO, 2021a; ROCHA; LIMA NETO, 2021b; LORENZI et al., 2018; FRAGA; ROCHA; LIMA NETO, 2020; CARVALHO; LIMA NETO; SOUZA FILHO, 2022), envolvendo, dentre outros enfoques, a hidrodinâmica do lago e como os padrões internos de circulação influenciam as variáveis de qualidade (LEMOS, 2015; MESQUITA et al., 2020; PACHECO; LIMA NETO, 2017). Trabalhos envolvendo análises relacionadas à retirada seletiva (“*selective withdrawal*”) e sua influência na hidrodinâmica interna e na qualidade da água dos reservatórios têm sido desenvolvidos para outras regiões (ÇALISKAN; ELÇI, 2009; CARR et al., 2019; CASAMITJANA et al., 2003; DEHBALAEI; JAVAN, 2018; LIU; CHEN, 2013; MI et al., 2022; RIGOSI; RUEDA, 2012; MA et al., 2008; MI et al., 2019; FELDBAUER et al., 2020), alguns destes com foco também na determinação dos parâmetros da água de saída, como temperatura (KUNZ et al., 2013; ZHENG et al., 2017; WEBER et al., 2017; DENG et al., 2011; SHERMAN et al., 2007; YANG et al., 2021).

No estado do Ceará, essa infraestrutura de operação é inexistente até o momento, contudo, surge a hipótese de que, diante de um cenário de qualidade estabelecido para o reservatório, com seu monitoramento e entendimento dos padrões existentes, uma operação consciente da tomada d'água pode auxiliar na captação de uma água de melhor qualidade (BOHAN; GRACE, 1973).

O reservatório da barragem Castanhão, maior reservatório de usos múltiplos da América Latina, apresenta um papel fundamental no gerenciamento dos recursos hídricos do Ceará, estando inserido em um sistema robusto de transferência de água entre bacias. Dessa forma, o entendimento dessa dinâmica de qualidade na liberação de água é primordial em sua operação. Assim, o objetivo do presente trabalho foi modelar a hidrodinâmica do reservatório Castanhão, de forma a compreender o comportamento das linhas de fluxo e do campo de velocidade nas proximidades da tomada d'água e determinar a qualidade da água que é liberada para os diversos usos. Os resultados deste estudo irão aprimorar o conhecimento do fluxo induzido pela tomada d'água e seu impacto na qualidade da água retirada, podendo fornecer aos tomadores de decisão ferramentas potenciais para uma operação e gestão da água mais precisa e eficaz de acordo com cada objetivo.

5.2 Materiais e Métodos

5.2.1 Área de estudo

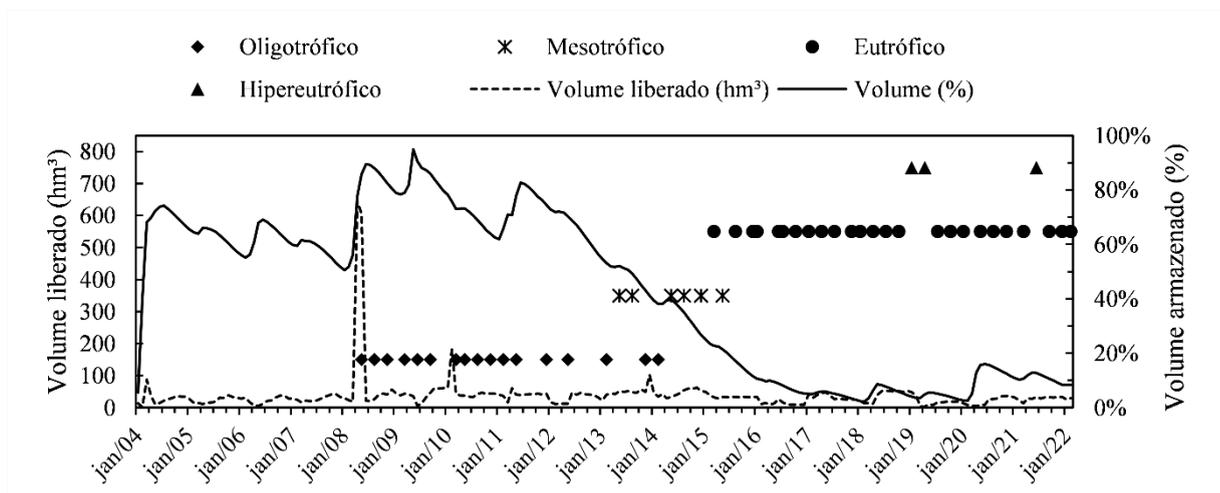
Construído no leito do rio Jaguaribe, o reservatório Castanhão está em operação desde 2003, sendo a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) a responsável por sua operação e monitoramento quantitativo e qualitativo. O reservatório pode armazenar até 6.700 hm³, com uma capacidade operacional de 4.500 hm³ (MOLISANI et al., 2013).

A rede de monitoramento de qualidade de água da COGERH realiza campanhas periódicas, com dados desde 2008, nas quais são coletadas amostras da água para análises laboratoriais de diferentes parâmetros (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2022a). Além disso, a partir de 2016 foram iniciadas campanhas de medição mensais com sonda multiparamétrica, levantando os perfis verticais de parâmetros físico-químicos, como oxigênio dissolvido, salinidade, potencial hidrogeniônico, sólidos dissolvidos e temperatura. Uma outra iniciativa em relação ao monitoramento qualitativo do Castanhão é a realização de campanhas de medição nictemerais iniciado em 2021 e utilizadas no presente estudo.

A vazão liberada pelo reservatório Castanhão é determinada segundo a rotina de operação, que considera o volume armazenado no período chuvoso e as demandas existentes e é definida a partir de um processo descentralizado e participativo de alocação negociada (ARAÚJO, 2017; MOLISANI et al., 2010). Uma porcentagem da água de saída é liberada para a perenização do Rio Jaguaribe, enquanto o restante é destinado, majoritariamente, ao abastecimento e irrigação.

A Figura 29 apresenta a evolução do volume armazenado e liberado pela tomada d'água no reservatório e de seu estado trófico, na qual observa-se uma clara piora da qualidade com a redução do volume nos últimos anos, chegando, em alguns meses, à classe hipereutrófica.

Figura 29 – Evolução do estado trófico, do percentual de volume armazenado no reservatório



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.2 Modelagem hidrodinâmica

Para realização das simulações hidrodinâmicas utilizou-se o código comercial ANSYS Fluent, na versão estudantil 2021 R2, que emprega o método dos volumes finitos para resolver as equações de conservação da massa, do momento e de energia (ANSYS, 2013a). Dessa forma, o campo de fluxo foi resolvido com as equações de Navier-Stokes com média de Reynolds (RANS) (Equações 16 e 17) usando a hipótese de Boussinesq, enquanto a temperatura foi calculada a partir da equação de conservação de energia (Equação 18). O modelo k- ω SST foi usado para o fechamento da turbulência, por apresentar os melhores resultados de convergência entre as simulações realizadas.

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (16)$$

$$\rho \left(\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \cdot \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 U_i + \rho g_i [1 + \beta(T - T_0)] - \frac{\partial(\rho \overline{u_i u_j})}{\partial x_j} \quad (17)$$

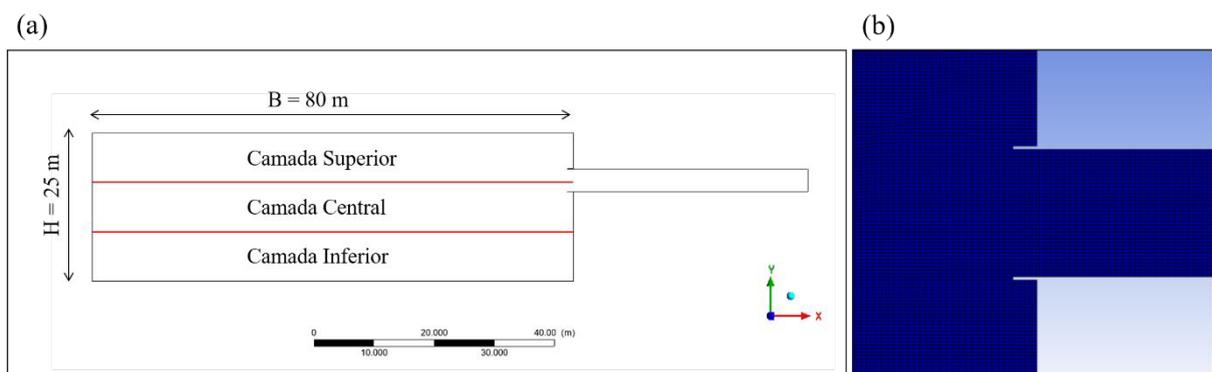
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla[v(\rho E + P)] = \nabla(k_e \cdot \nabla T) + S_h \quad (18)$$

Nas quais U_i é a velocidade média na direção i , x_i é a escala geométrica espacial na direção i , ρ é massa específica do fluido, t é o tempo, P é a pressão média, μ é a viscosidade dinâmica, g é a aceleração da gravidade, T é a temperatura média, β é o coeficiente de expansão térmica e u'_i a flutuação turbulenta da velocidade.

Para a Equação (18), E é a energia, ν é a viscosidade cinemática, k_e é a condutividade térmica efetiva, sendo definida por $(k + k_t)$, onde k é a condutividade térmica do material e k_t é a condutividade térmica turbulenta, definida de acordo com o modelo de turbulência que está sendo usado. O primeiro termo do lado direito da equação representa a transferência de energia devido à condução, enquanto o termo S_h contém as contribuições de radiação, por exemplo, bem como quaisquer outras fontes de calor volumétricas (ANSYS, 2013b).

A Figura 30 apresenta o domínio do modelo CFD, que representa um volume de controle bidimensional dentro do reservatório de dimensões 25 x 80 m (H x L), além da tubulação de saída da tomada d'água. A altura de 25 metros do volume de controle foi definida a partir das profundidades do reservatório durante as medições nictemerais realizadas. A malha gerada para o cálculo numérico possui 229.509 elementos e apresenta alta qualidade, com os parâmetros de ortogonalidade e distorção dentro dos valores de referência.

Figura 30 – (a) Geometria simulada e (b) detalhe da malha gerada na região de entrada da tomada d'água



Fonte: Elaborado pela autora.

Para este trabalho selecionou-se como características gerais uma análise transiente, com influência da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$). As condições de contorno de operação da válvula foram consideradas a partir de diferentes cenários de abertura – sendo i) vazão máxima de saída (válvula 100% aberta), ii) 50% da vazão máxima e iii) 10% da vazão máxima – assumindo uma

velocidade uniforme na saída do orifício. As velocidades utilizadas foram obtidas a partir das curvas de vazão da válvula, sendo, respectivamente, 3,91 m/s, 2,22 m/s e 0,46 m/s. Assumiu-se, conforme estudos anteriores, que o campo de velocidade do reservatório é induzido apenas pela retirada, sendo as afluências tranquilas e distantes o suficiente da saída (SHAMMAA; ZHU, 2010).

Em relação às condições de contorno de temperatura, realizou-se, primeiramente, uma análise da série de medições mensais realizadas pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos, no ponto de monitoramento CTN-20 (mais próximo ao corpo da barragem, ver Figura 1) desde 2016, de forma a verificar o padrão de temperatura do reservatório naquele ponto em específico. Durante os últimos seis anos, observou-se que a temperatura média no ponto próximo à tomada d'água oscilou em torno de 28 °C, enquanto que a diferença de temperatura entre a superfície e o fundo apenas superou 2 °C em uma única medição (Figura 31). Diante disso, optou-se por considerar três cenários de temperatura durante as simulações, sendo eles: (I) Superfície: 30 °C – Fundo: 28 °C, $\Delta T = 2$ °C; (II) Superfície: 29 °C – Fundo: 28 °C, $\Delta T = 1$ °C; e (III) Superfície: 28 °C – Fundo: 28 °C, $\Delta T = 0$ °C. Os gradientes de temperatura foram inseridos como um perfil de variação linear, a partir de uma função $f(T, H)$.

Assim, além de inserir como condição de contorno as funções de temperatura pela profundidade, adicionou-se, nas configurações do fluido simulado, uma função empírica para determinação de densidade a partir da temperatura (Equação 19) (DINGMAN, 2015), de forma a incorporar o efeito desta no escoamento.

$$\rho = 1000 - 0,019549 \cdot |T - 3,98|^{1,68} \quad (19)$$

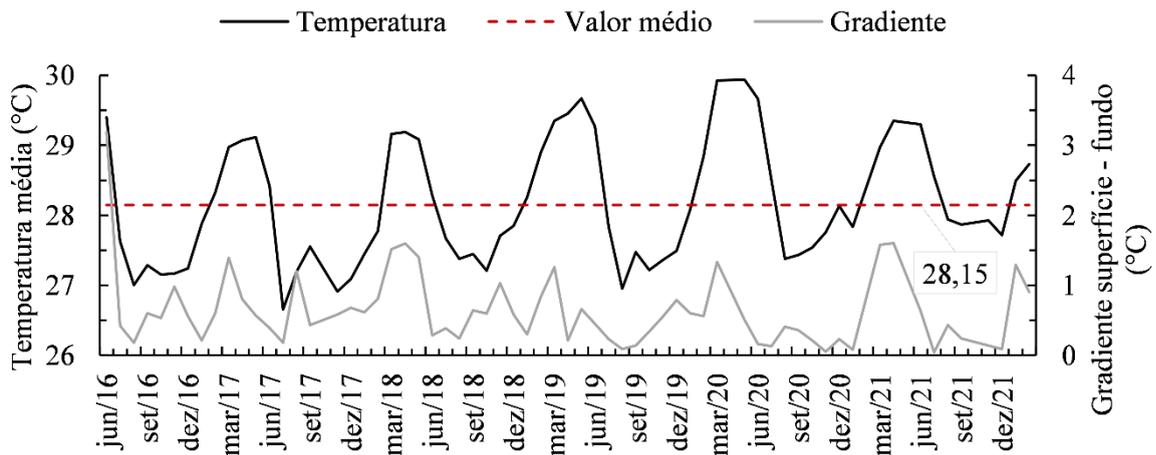
Sendo ρ a densidade da água em kg/m³ e T a temperatura em °C.

Dessa forma, a Tabela 9 abaixo apresenta o conjunto de configurações do sistema simulado em cenários. As simulações dos cenários foram feitas para 60 segundos, considerando um intervalo de tempo de 1/100 segundo. Durante os cálculos, a continuidade foi imposta a partir do algoritmo SIMPLE e foram utilizados esquemas de discretização de segunda ordem para momento e turbulência, devido a maior precisão nos resultados. O tempo total de cada simulação variou de 6 a 8 horas, utilizando um computador com processador Intel(R) Core (TM) i7-10510U CPU @ 2.30 com 16 GB de RAM em um sistema operacional de 64 bits.

Em seguida, com os resultados obtidos pelas simulações hidrodinâmicas, dividiu-se a coluna d'água igualmente em três camadas, representando de forma esquemática epilímnio, termoclina e hipolímnio, tendo em vista a não estacionariedade dessas configurações. Para cada

camada considerada, determinou-se a porcentagem de fluxo proveniente com o objetivo de determinar diferentes parâmetros de qualidade da água captada a partir de uma média ponderada, sendo eles oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total e densidade de cianobactérias.

Figura 31 – Série de medições mensais para temperatura média da água e gradiente térmico entre a superfície e o fundo



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 – Configurações de temperatura e vazão simuladas

		ΔT (°C)		
		2 °C	1 °C	0 °C
Hidrodinâmica	1 Q = 42 m ³ /s	Cenário 1	Cenário 4	Cenário 7
	0,5 Q = 21 m ³ /s	Cenário 2	Cenário 5	Cenário 8
	0,1 Q = 4,2 m ³ /s	Cenário 3	Cenário 6	Cenário 9

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.3 Medições nictemerais

Os dados utilizados para as análises do presente artigo foram coletados em duas medições em escala nictemeral realizadas no reservatório da barragem Castanhão, uma no período seco (outubro de 2021) e outra no período chuvoso (março de 2022), ao longo de 24 horas. Essas medições fazem parte do projeto “Capacidade de suporte do Açude Castanhão”, uma parceria entre a Universidade Federal do Ceará e a COGERH.

As medições de perfilagem foram realizadas, a cada quatro horas, com o auxílio de uma sonda multiparamétrica (YSI, 6600 V2), sendo a primeira leitura realizada a 30 cm da superfície, seguindo a cada 0,5 m até atingir 8 m de profundidade, a partir de onde prosseguiu-

se com medições espaçadas em 1 metro até 0,5 m acima do fundo do reservatório (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2022b, 2022c). Além da perfilagem com sonda, foram feitas coletas de água a cada seis horas, para posterior análise laboratorial de parâmetro de qualidade, como nitrogênio e fósforo totais, e a cada três horas para análise da concentração de cianobactérias e cianotoxinas. Os resultados dessas coletas estão reunidos no Anexo B.

5.3 Resultados e Discussões

Com base nas simulações hidrodinâmicas realizadas, foram obtidos os resultados que serão apresentados a seguir para as diferentes combinações entre os gradientes de temperatura e as vazões de liberação pela tomada d'água. Será apresentada uma análise do comportamento do escoamento, seguida da determinação dos percentuais de fluxo para três camadas horizontais de igual espessura delimitadas no volume de controle. Porém, anteriormente, foi realizada uma discussão acerca dos padrões de qualidade do Castanhão, com o objetivo de contextualizar as análises realizadas. Por fim, serão apresentados os resultados obtidos para a qualidade da água interceptada e suas implicações.

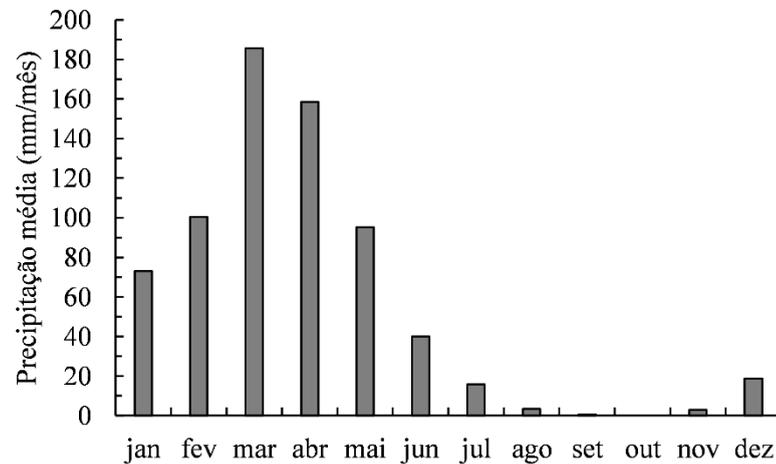
5.3.1 Caracterização dos padrões de qualidade

A Figura 32 abaixo apresenta uma das características mais fortes do clima semiárido – no qual está inserido o reservatório em estudo –, a alta variabilidade sazonal da precipitação. Pode-se perceber claramente uma maior concentração dos eventos de chuva nos primeiros meses do ano, mais especificamente entre os meses de fevereiro e maio, período definido como a quadra chuvosa da região, havendo uma clara definição de período seco e período chuvoso.

Locais sujeitos a essa variabilidade climática estão mais susceptíveis a riscos de extremos hidrológicos, sendo comuns eventos plurianuais de seca no semiárido nordestino (CARVALHO; LIMA NETO; SOUZ FILHO, 2022; CAMPOS, 2015; PONTES FILHO et al., 2020). A Figura 33 apresenta a série de precipitações e volumes afluente ao reservatório desde o início de sua operação, há 19 anos. A partir da série histórica pode-se perceber uma queda significativa na precipitação e, mais claramente observada, no volume afluente, entre os anos de 2012 a 2018, período no qual ocorreu um evento de seca no estado do Ceará relacionado a um forte episódio de El Niño (SANTOS et al., 2017; WIEGAND et al., 2021) e que reduziu o

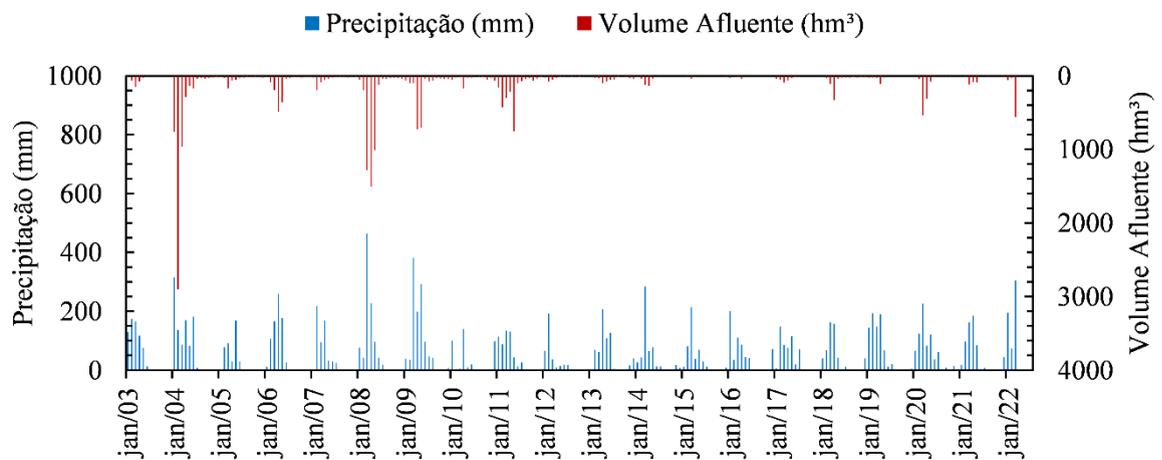
volume acumulado nos reservatórios a níveis críticos. Durante esse evento, o reservatório Castanhão chegou a registrar anos seguidos com volumes armazenados inferiores a 10%.

Figura 32 – Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 33 – Série histórica de precipitação e volume afluente ao reservatório Castanhão



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à qualidade da água, o reservatório Castanhão tem experimentado uma piora de seus parâmetros, devido, principalmente à essa redução drástica no volume armazenado, levando a um aumento na concentração de nutrientes (WIEGAND et al., 2021; LACERDA et al., 2018; BRAGA et al., 2015; SOARES et al., 2019). A seguir serão apresentados alguns parâmetros físico-químicos levantados para o reservatório no ponto CTN-20, mais especificamente, oxigênio dissolvido (O.D.), temperatura, fósforo total (P), nitrogênio

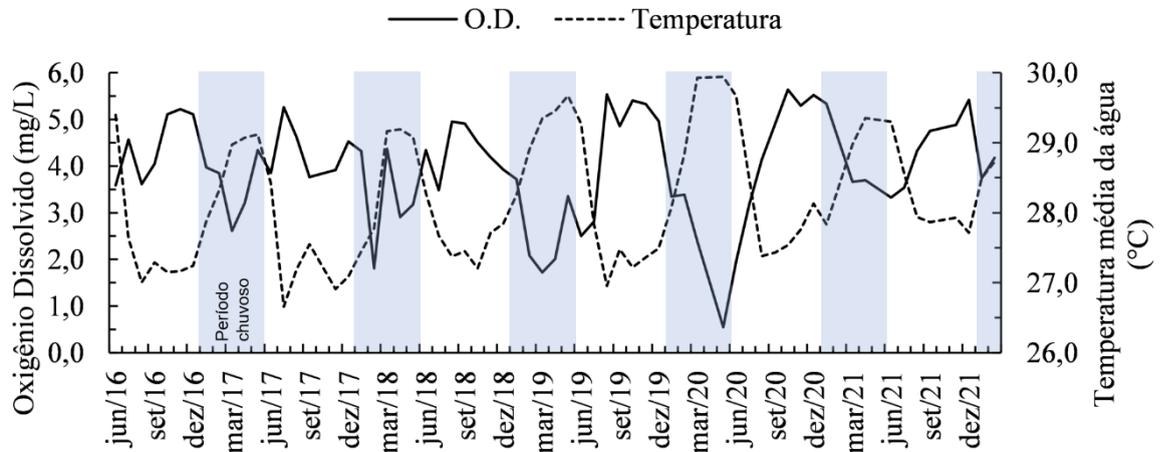
total (N) e densidade de cianobactérias, de forma a caracterizar o padrão de qualidade existente.

Conforme apresentado anteriormente na Figura 31, os gradientes de temperatura da água entre a superfície e o fundo são baixos, com uma média de 0,6 °C, padrão observado em reservatórios localizados em baixas latitudes (SOUZA FILHO; PASSOS; MARTINS, 2006; LEMOS, 2015). A partir da Figura 34 abaixo, pode-se identificar uma variação sazonal na temperatura média da água e na concentração de oxigênio dissolvido, parâmetros diretamente relacionados, haja vista a diminuição da solubilidade do oxigênio com o aumento da temperatura (PERELLO et al., 2017).

No período chuvoso, devido, dentre outros fatores, à menor evaporação e menor velocidade dos ventos, o calor fica retido na coluna d'água, apresentando uma temperatura média maior que no período seco, apesar da maior temperatura do ar e radiação solar neste último (MESQUITA et al., 2020; FREIRE; CALIJURI; SANTAELLA, 2009). Esses fatores, aliados aos maiores níveis d'água atingidos na estação chuvosa, proporcionam uma maior tendência à estratificação (FREIRE; CALIJURI; SANTAELLA, 2009). Vale ressaltar, contudo, que, além dos fatores climatológicos, fatores inerentes ao sistema, como a morfologia, também possuem um papel importante nos padrões de estratificação da coluna d'água (LIU; CHEN, 2013; BUTCHER et al., 2015).

Para reservatórios localizados no semiárido, outro aspecto que deve ser analisado em conjunto com os padrões sazonais, é a ocorrência de ciclos de estratificação e desestratificação na escala diária. A Figura 35 apresenta os perfis de temperatura e oxigênio dissolvido levantados durante as campanhas nictemerais. Para a medição realizada durante a época sem chuvas, Figura 35(a), pode-se observar a ausência de gradientes de temperatura durante a noite, juntamente com uma reoxigenação do hipolímnio, indicando a ocorrência do ciclo diurno (SOUZA FILHO; PASSOS; MARTINS, 2006; MESQUITA et al., 2020). É interessante verificar, contudo, que na nictemeral para a estação chuvosa, Figura 35(b), a ocorrência desse ciclo diurno é menos pronunciada, não sendo constatado um horário no qual o reservatório apresentasse a completa mistura da coluna d'água, mantendo uma certa estabilidade da estratificação ao longo do dia inteiro. Isso pode ser explicado devido ao maior nível do reservatório, que tende a aumentar a estabilidade entre as camadas (KRAEMER et al., 2015; BUTCHER et al., 2015). Comportamento semelhante foi observado por Ferreira e Cunha (2013) para reservatório em clima subtropical, no qual o ciclo de estratificação diária foi detectado somente no período seco.

Figura 34 – Série de medições mensais médias para oxigênio dissolvido e temperatura da água no ponto CTN-20

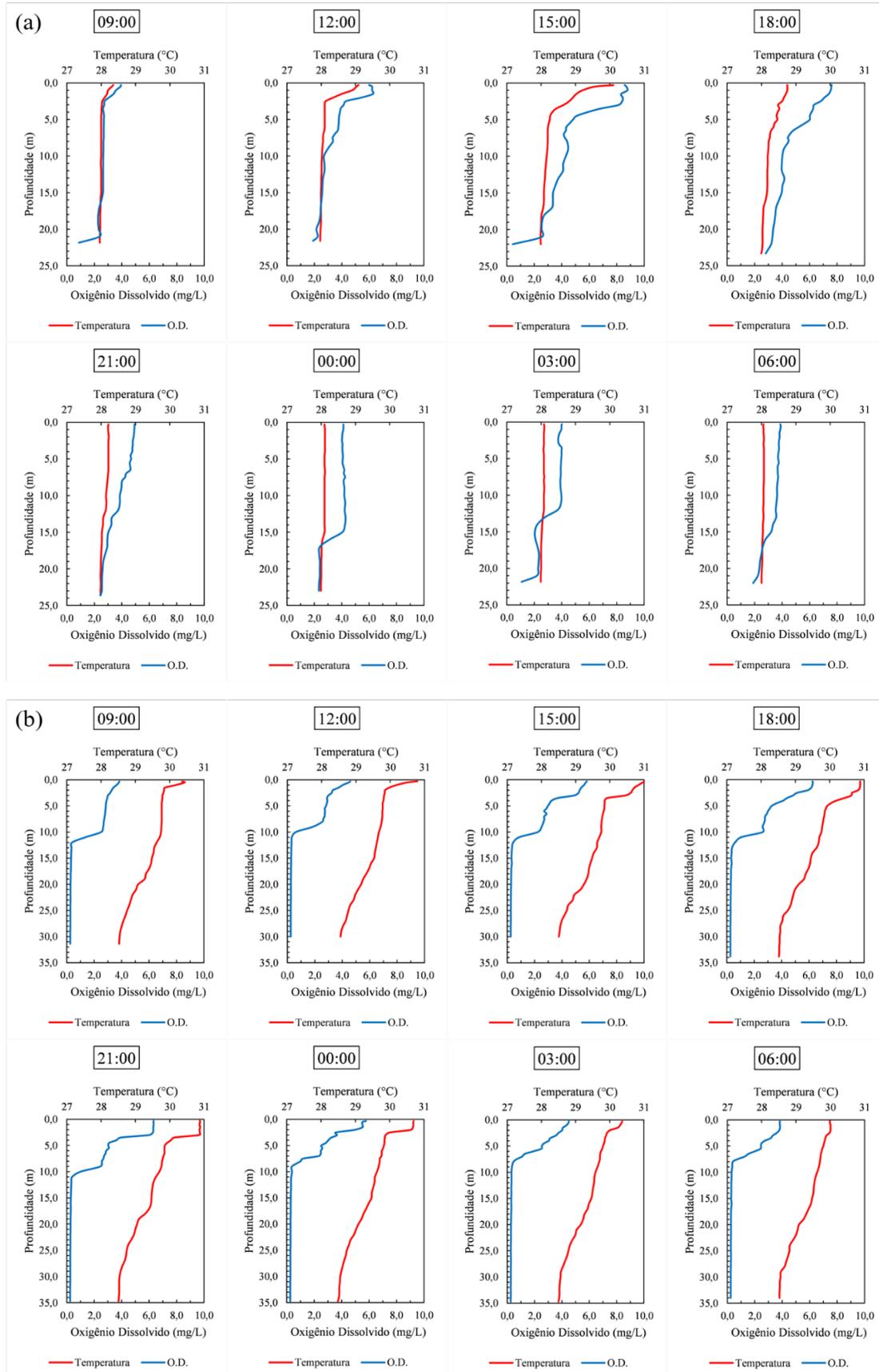


Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar disso, é possível visualizar, para as duas estações, a resposta da temperatura da água às flutuações da radiação solar na escala diária, principalmente nas camadas superiores, sendo as maiores temperaturas de superfície obtidas no período da tarde.

Em reservatórios estratificados, a termoclina, camada entre o epilímnio (mais quente) e o hipolímnio (mais frio), se comporta como uma barreira entre a camada superior e a inferior e inibe a mistura destas, impedindo a troca de oxigênio entre elas e tornando o hipolímnio vulnerável ao desenvolvimento de hipóxia (PERELLO et al., 2017; ÇALISKAN; ELÇI, 2009; LACERDA et al., 2018) devido à rápida degradação da matéria orgânica no fundo (SNORTHEIN et al., 2017). Essa propensão é claramente verificada nos perfis verticais da Figura 35, na qual os menores níveis de oxigênio dissolvido foram medidos durante o período chuvoso (SANTOS et al., 2016). Para a medição realizada, o Castanhão apresentou mais de 2/3 da coluna d'água com níveis anóxicos de O.D. (< 1 mg/L), o que torna o ambiente intolerável para a maioria dos organismos aquáticos, podendo levar a episódios de mortandade de peixes, por exemplo (PERELLO et al., 2017; MI et al., 2019). Entretanto, é válido ressaltar que a medição analisada se trata de um dado pontual amostrado próximo à barragem (ponto CTN-20), dessa forma, pode haver variação espacial do oxigênio dissolvido ao longo do reservatório, principalmente devido às suas grandes dimensões (MARQUES; GUNKEL; SOBRAL, 2019). Tal observação também é válida para os outros parâmetros analisados no presente estudo.

Figura 35 – Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido em escala nictemeral para os períodos (a) seco e (b) chuvoso

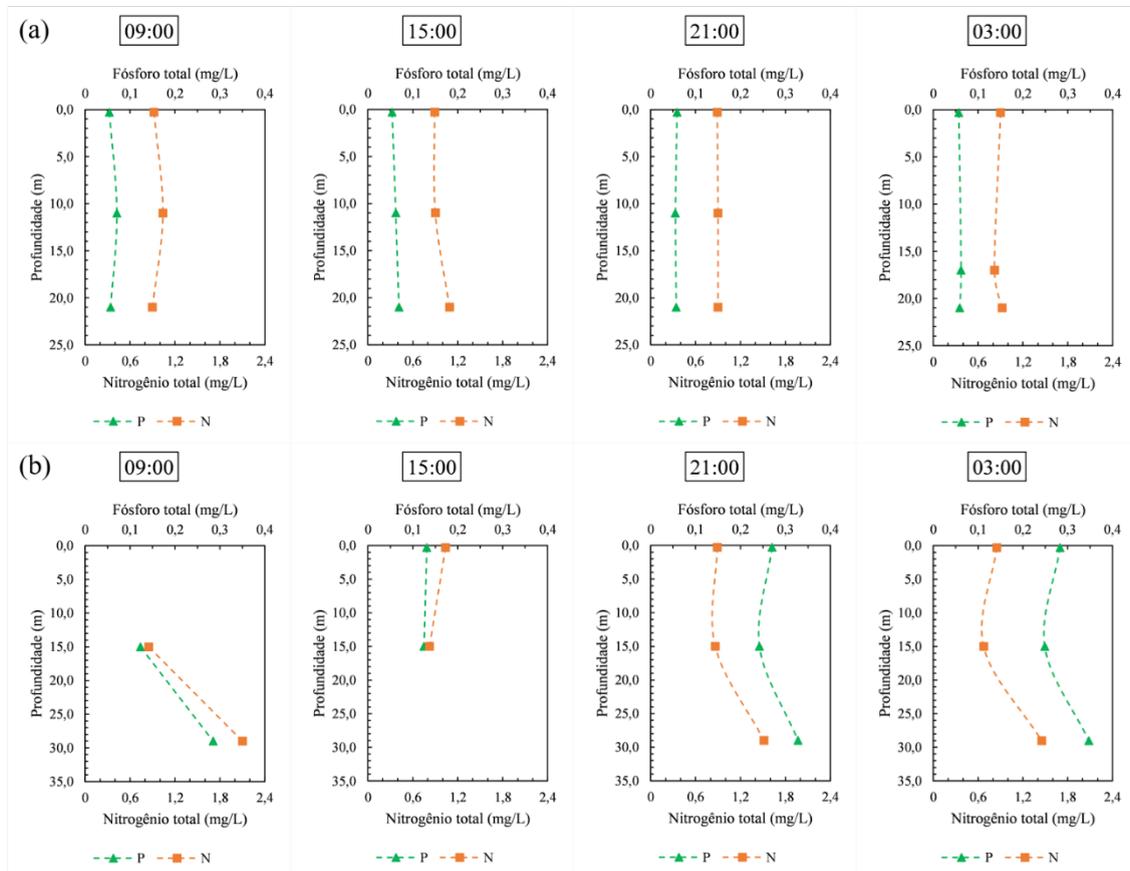


Fonte: Elaborado pela autora.

Os baixos teores de oxigênio dissolvido nas águas de fundo permitem a liberação acelerada de poluentes como nitrogênio e fósforo dos sedimentos para a coluna d'água (SANTOS et al., 2016; KRAEMER et al., 2015; BUTCHER et al., 2015; MOURA et al., 2019), sendo estes nutrientes críticos na produção de matéria orgânica (OLIVER; RIBEIRO, 2014; TONÉ; LIMA NETO, 2020; LORENZI et al., 2018; DANTAS; MOURA; BITTENCOURT-OLIVEIRA, 2011; BITTENCOURT-OLIVEIRA et al., 2011; ROCHA; MESQUITA; LIMA NETO, 2019; BAI; GAO; ZHANG, 2020).

A Figura 36 a seguir exibe os perfis nictemerais medidos de nitrogênio e fósforo totais. No tocante às perfilagens de nitrogênio total, observa-se tendência constante de distribuição vertical, exceto durante o período chuvoso, no qual há um ligeiro aumento do nitrogênio no hipolímnio, o que indica a liberação deste advinda da hipóxia discutida previamente. Zhong et al. (2022), analisando um reservatório profundo ($h = 15$ metros) em clima temperado, também não identificou diferenças significativas de nitrogênio total entre as águas de superfície e de fundo.

Figura 36 – Perfis de fósforo e nitrogênio totais em escala nictemeral para os períodos (a) seco e (b) chuvoso



Fonte: Elaborado pela autora.

Já a análise dos perfis de fósforo total, apesar de também apresentar comportamento semelhante ao nitrogênio na estação seca, com pequenas variações verticais e horárias, manifestou um aumento significativo na concentração deste nutriente durante o período úmido, com medição de valores em média 300% maiores. Um estudo realizado por Rocha e Lima Neto (2021b), considerando 18 reservatórios no semiárido brasileiro, incluindo, inclusive, o Castanhão, demonstrou que a concentração média de fósforo total para as duas estações é muito semelhante. Contudo, é importante atentar para o fato de que, nos meses úmidos, principalmente em regiões semiáridas, os aportes de fósforo advindos de cargas externas são significativos, haja vista o aumento da vazão afluyente que carrega consigo nutrientes provenientes do esgoto não tratado, práticas agrícolas e pecuária (ROCHA; LIMA NETO, 2021a; RAULINO; SILVEIRA; LIMA NETO, 2021; FREIRE; CALIJURI; SANTAELLA, 2009; LI et al., 2020). Esse fator, juntamente com as cargas internas liberadas pelo sedimento em condições de baixa oxigenação, contribuem para uma carga total de fósforo maior nesse período (MOURA et al., 2019; ROCHA; LIMA NETO, 2021b).

Além disso, para o caso específico do reservatório Castanhão, que possui como um de seus usos preponderantes a piscicultura, é importante também salientar essa fonte de carga interna com contribuições significativas de nutrientes (LACERDA et al., 2018).

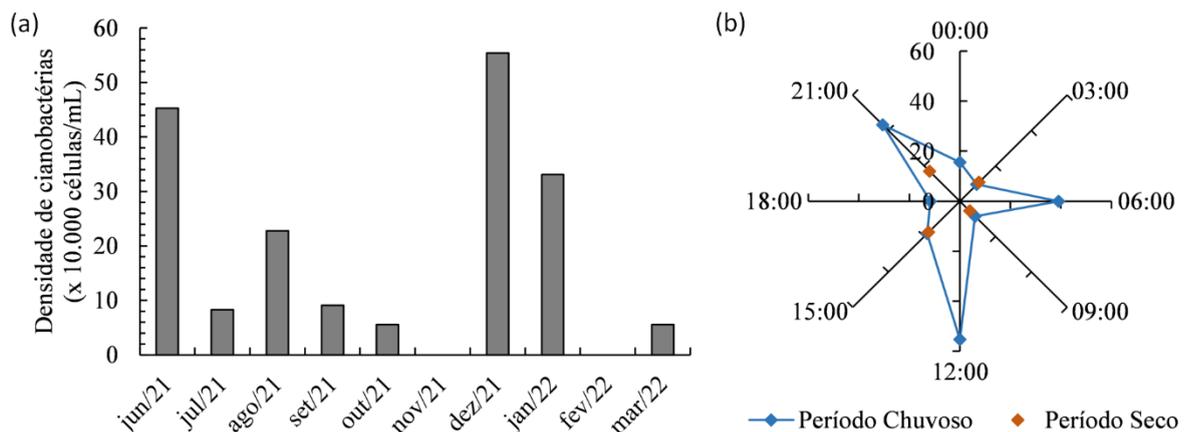
À parte das diferenças de concentração medidas entre as estações, a variação vertical do fósforo total também apresentou valores semelhantes entre a superfície e o fundo, com um aumento apenas no hipolímnio durante a fase mais estratificada, Figura 36(b), observação condizente com outros estudos realizados no Castanhão (LACERDA et al., 2018; ROCHA; LIMA NETO, 2021b).

Como consequência do processo de eutrofização gerado pelo aumento de nutrientes e matéria orgânica, ocorre um aumento significativo de florações de cianobactérias em intensidade e frequência (RAULINO; SILVEIRA; LIMA NETO, 2021; MEDEIROS et al., 2015; BITTENCOURT-OLIVEIRA et al., 2011; NASCIMENTO FILHO et al., 2019) – situação já observada nos reservatórios do Ceará –, o que aumenta as chances de liberação de toxinas nocivas que são perigosas para a saúde pública e dos animais (LORENZI et al., 2018; CASTRO, 2020; SILVA et al., 2016; BARROS et al., 2019; DINIZ et al., 2022), quando ingeridas, em contato com a pele ou até mesmo inaladas (LIU; ZHENG; YOUNG, 2017).

Os padrões de ocorrência das florações de cianobactérias são bastante complexos, visto que dependem de muitas variáveis, inclusive biológicas (HUISMAN et al., 2018). No entanto, pesquisadores apontam alguns fatores que melhor explicam a ocorrência dessas florações, como ampla disponibilidade de nutrientes, aumento da temperatura, estratificação,

aumento do tempo de residência e salinização (DANTAS; MOURA; BITTENCOURT-OLIVEIRA, 2011; LIMA NETO, 2019; TONÉ; PACHECO; LIMA NETO, 2017; PACHECO; LIMA NETO, 2017; BITTENCOURT-OLIVEIRA et al., 2011; COSTA; ATTAYDE; BECKER, 2015; CARVALHO; LIMA NETO; SOUZA FILHO, 2022; VISSER et al., 2015). Para o reservatório Castanhão, tais fatores são mais presentes nos meses chuvosos, conforme discutido previamente, indicando uma tendência ao maior desenvolvimento de cianobactérias nesse período, conforme pode ser verificado na Figura 37, que mostra a densidade de cianobactérias medida na superfície do lago (0,30 m) na série mensal e nictemeral. Valores indicativos de zero nos gráficos apontam medições ausentes.

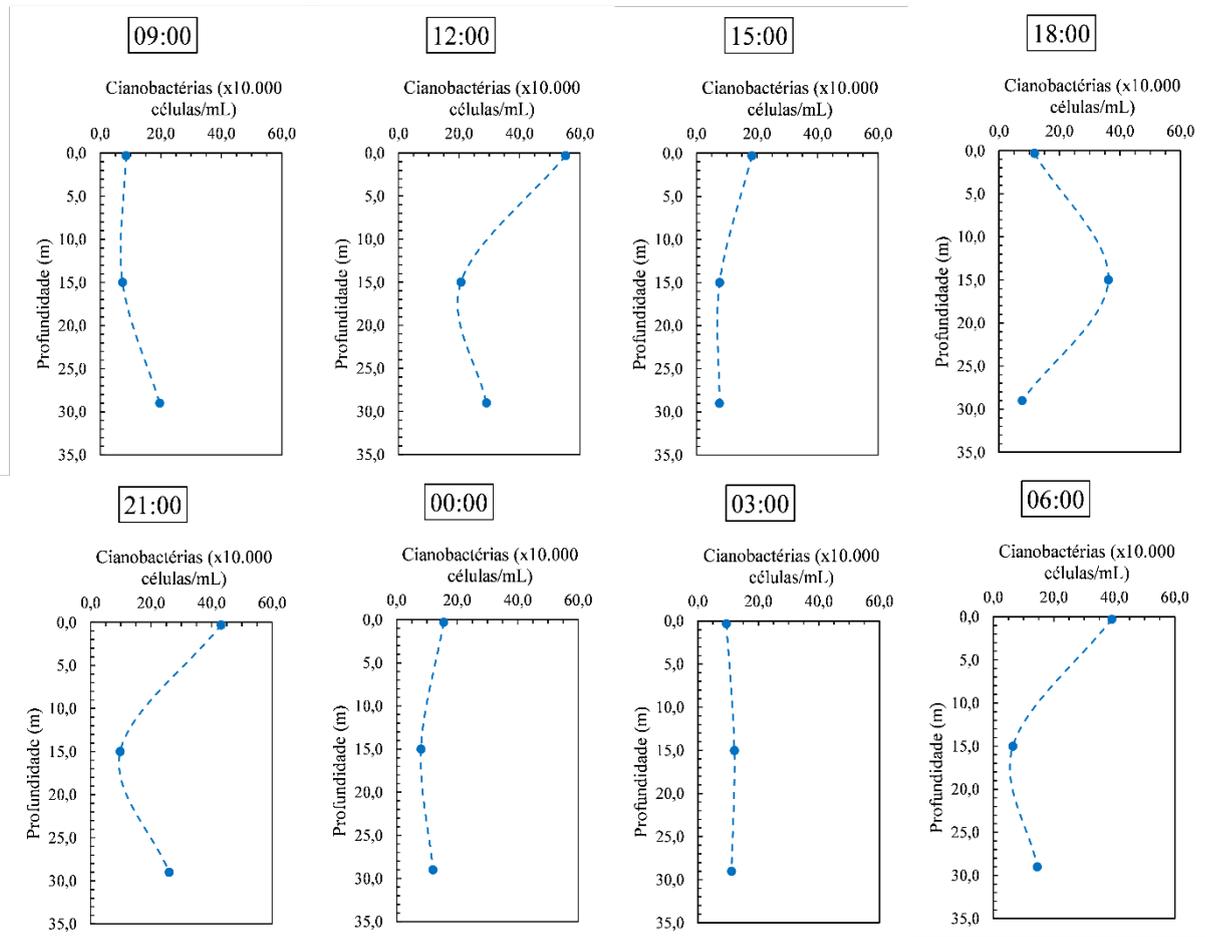
Figura 37 – Densidade de cianobactérias ($\times 10.000$ células/mL) medida na superfície (a) na série temporal e (b) na nictemeral



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 38 mostra os perfis verticais de densidade de cianobactérias durante o período de 24 horas medido na estação chuvosa. Estudos indicam que o crescimento máximo de cianobactérias se dá a 0,30 metros da superfície, diminuindo em função da profundidade da coluna d'água (SIRUNDA et al., 2021; LIU; ZHENG; YOUNG, 2017), porém, esses microrganismos são capazes de se mover verticalmente na coluna por sua própria mobilidade, independente da velocidade da água (OVERMAN; WELLS, 2022; DA SILVA et al., 2009; VISSER et al., 2015; MEDEIROS et al., 2015), o que é evidenciado na maior contagem de cianobactérias profundas em alguns horários.

Figura 38 – Perfis de densidade de cianobactérias ($\times 10.000$ células/mL) em escala nictemeral para o período chuvoso



Fonte: Elaborado pela autora.

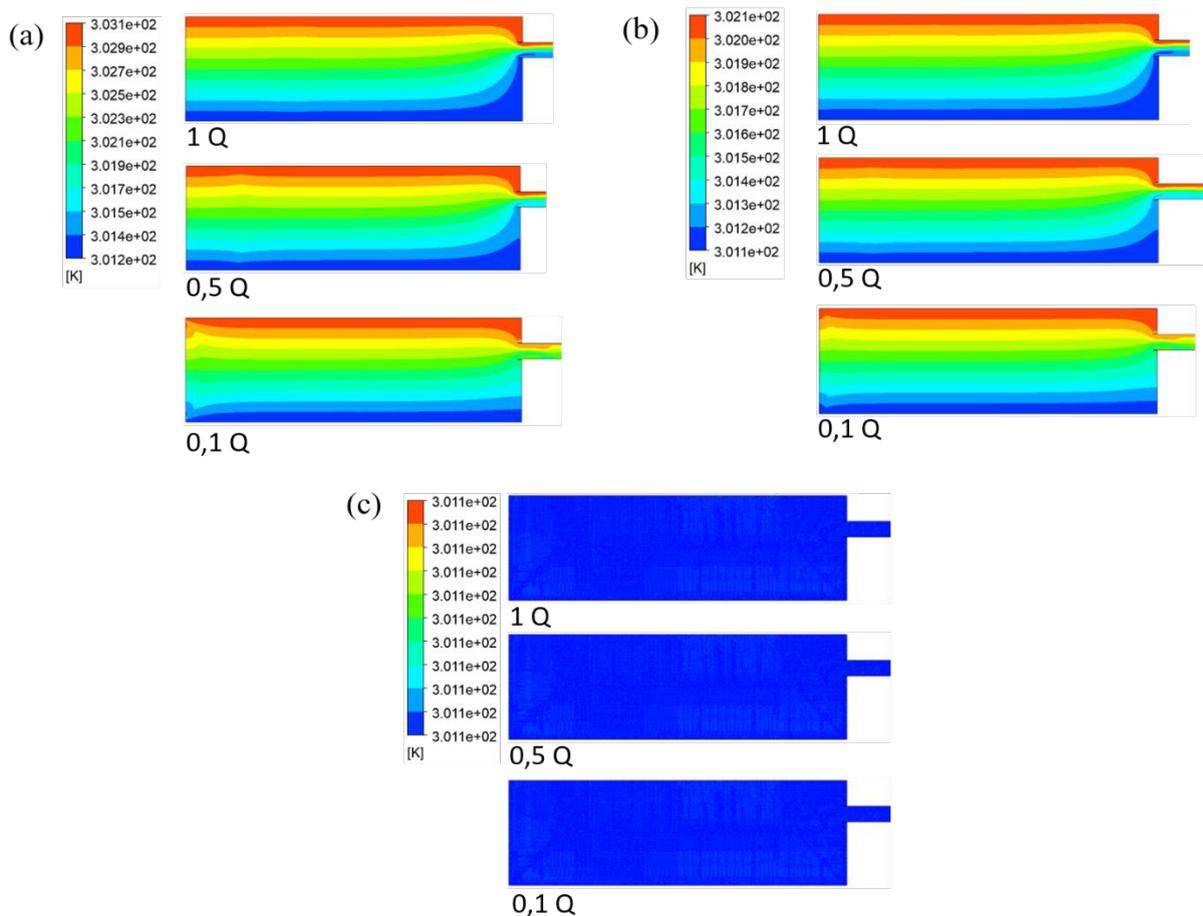
5.3.2 Resultados das simulações e impacto do fluxo na qualidade da água de saída

Baseado na simulação dos cenários, foi possível identificar o comportamento do escoamento no volume de controle. A Figura 39 mostra a indicação do fluxo, apresentado a partir do gradiente de temperatura da coluna, em um instante de escoamento completamente desenvolvido na tubulação de tomada d'água, indicando estabilidade do fluxo induzido nas camadas. As porcentagens de fluxo advindo de cada uma das três camadas consideradas estão apresentadas na Figura 40.

É importante ressaltar que todas as simulações realizadas assumiram taxas de vazão constantes (escoamento permanente), assim, nos momentos de acionamento da válvula, nos quais a vazão é variável, os resultados podem ser influenciados (RIGOSI; RUEDA, 2012).

Um aspecto interessante a ser observado, é que em condições normais de armazenamento, o reservatório Castanhão possui uma captação hipolimética, ou seja, a posição da entrada da tomada d'água é mais próxima ao fundo do reservatório. Entretanto, devido à redução significativa de seu volume armazenado nos últimos anos, tem-se um comportamento de captação epilimética. No que diz respeito à hidrodinâmica interna do reservatório, esse tipo de captação mais superficial geralmente diminui a temperatura da coluna, tendo em vista a retirada direta da água aquecida, resultando na preservação da água hipolimética, que é mais fria e densa. Em contraste, a captação do fundo resulta em uma expansão da camada do epilimnio, mais quente devido à radiação solar (CASAMITJANA et al., 2003; MI et al., 2022; RIGOSI; RUEDA, 2012; MA et al., 2008; ZHANG et al., 2013; NURNBERG, 2019; DUKA; SHINTANI; YOKOYAMA, 2021; YANG et al., 2021).

Figura 39 – Contorno de temperatura induzido no volume de controle para cada configuração simulada

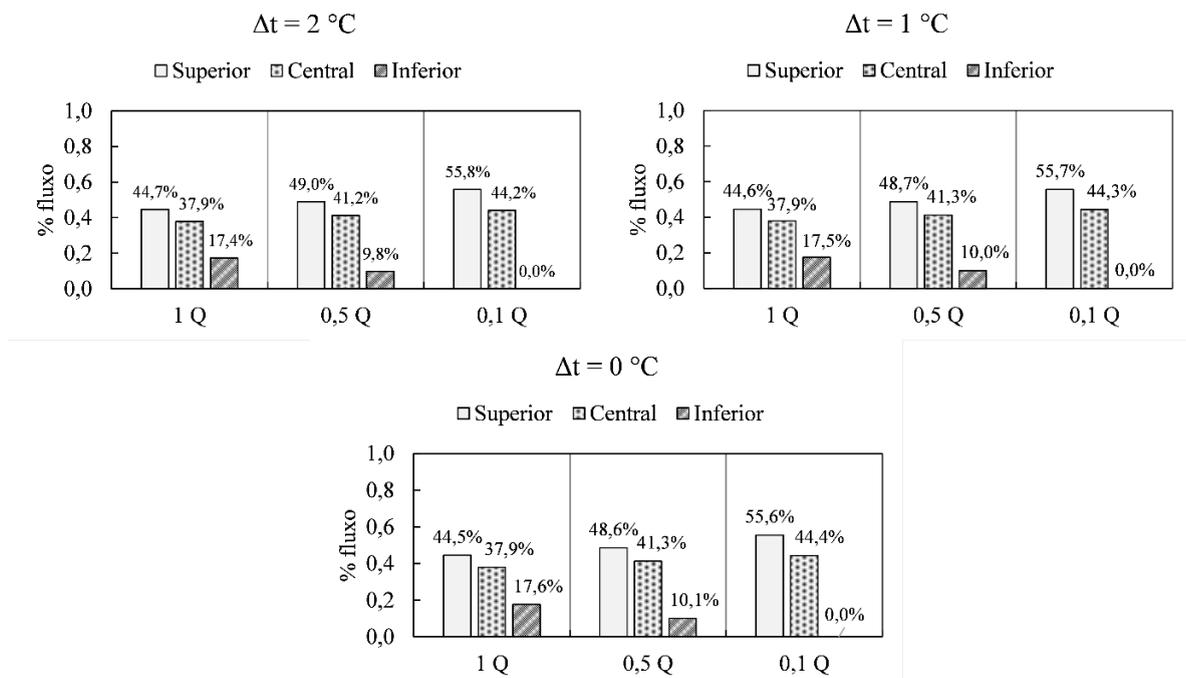


Fonte: Elaborada pela autora.

Pela análise das porcentagens de saída, pode-se perceber que não há diferença expressiva de fluxo entre os diferentes cenários de temperatura considerados, o que indica que a diferença de densidade gerada pelo gradiente de temperatura, no caso do Castanhão que apresenta gradientes pequenos, não interfere no escoamento induzido pela tomada d'água. Esse resultado está de acordo com estudos realizados em análises de retirada seletiva, que, em sua maioria, consideram que o efeito das forças viscosas no fluxo é insignificante (SHAMMAA; ZHU; RAJARATNAM, 2005; ÇALISKAN; ELÇI, 2009).

Porém, quando se analisa os resultados com base na vazão de saída, nota-se que existe uma clara diferenciação do escoamento, no qual maiores descargas induzem o arraste das águas da camada inferior, o que também pode ser verificado visualmente na Figura 39. Casamitjana et al. (2003) discutiram que se a água for retirada em pequenas vazões, o gradiente de densidade vertical pode produzir forças de empuxo suficientemente fortes para proibir movimentos verticais extensos, de modo que a água retirada venha de uma fina camada horizontal no nível da entrada, discussão semelhante a realizada por Zouabi-Aloui, Adelana e Gueddari (2015). Tais análises condizem com os resultados obtidos na modelagem deste trabalho. Assim, a medida em que se aumenta as vazões de retirada, pode-se atingir uma taxa de “fluxo crítico” a partir do qual a água flui de outras camadas (SHAMMAA; ZHU, 2010).

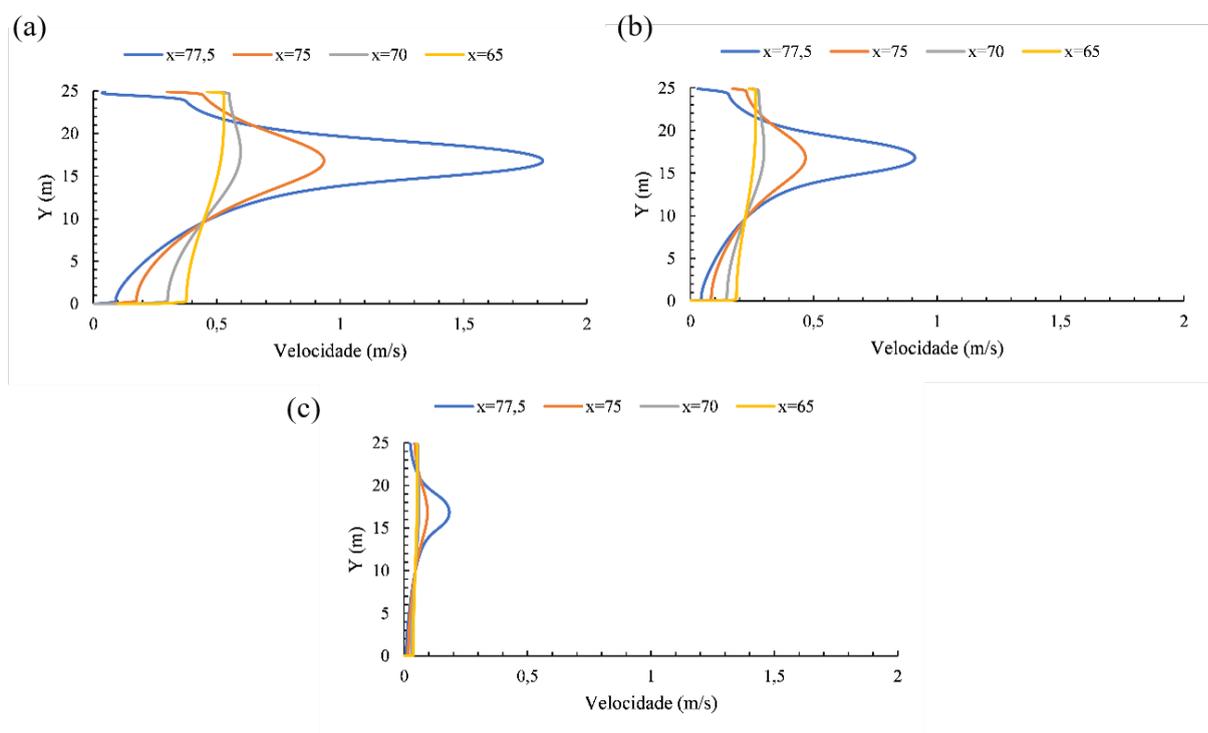
Figura 40 – Percentual de fluxo proveniente de cada camada para os cenários simulados



Fonte: elaborada pela autora.

A Figura 41 apresenta os perfis de velocidades gerado para cada vazão simulada à medida que o escoamento se aproxima da entrada da tubulação, localizada na posição $x = 80$ m. Observa-se que para menores vazões, o alcance da influência dentro do volume de controle do campo produzido é consideravelmente reduzido. Toma-se como exemplo as velocidades para a posição $x = 65$ m, localizada a 15 metros da entrada da tubulação, que tendem a apresentar um perfil mais vertical a medida em que se reduz a vazão captada. Além disso, pode-se observar que as velocidades na camada inferior diminuem linearmente quando se aproximam da entrada, o que é gerado, dentre outros motivos, pela captação descentralizada na coluna (metade superior) (SHAMMAA; ZHU, 2010). Com isso, a aceleração da camada mais ao fundo, que já apresenta uma tendência a redução devido à posição da retirada, tenderá a zero com a redução da vazão.

Figura 41 – Perfis de velocidade em diferentes posições do volume de controle para (a) $Q = 100\%$, (b) $Q = 50\%$ e (c) $Q = 10\%$ de abertura da válvula



Fonte: Elaborada pela autora.

Com base nesses resultados, foi possível realizar as análises de qualidade da água liberada apresentadas a seguir.

Primeiramente, diante das condições regionais descritas, um dos pontos de interesse foi verificar se as cianobactérias existentes no lago poderiam ser arrastadas por uma zona de alta velocidade, gerando implicações principalmente relacionadas ao tratamento (MOURA et al., 2019; SHAMMAA; ZHU, 2010; RIGOSI; RUEDA, 2012; SIRUNDA et al., 2021; PESTANA et al., 2019). Sabe-se que diferentes espécies de cianobactérias, possuem diferentes velocidades de migração vertical (VISSER et al., 2015; VISSER; PASSARGE; MUR, 1997; OVERMAN; WELLS, 2022), conseqüentemente a intensidade do escoamento para arrastá-las também é variável. Todavia, no presente estudo, as velocidades induzidas nas proximidades da entrada da tomada d'água foram da ordem de cm/s, muito superiores às velocidades de migração das cianobactérias, que são da ordem de mm/s, conforme Toné, Pacheco e Lima Neto (2017).

Assim, apesar da capacidade desses organismos de regular sua posição na coluna d'água, estas serão afetadas pelas mudanças hidráulicas induzidas, podendo ser facilmente carreadas. Semelhante ao descrito por Zhang et al. (2013), a retirada epilimética, situação atual do Castanhão, é capaz de remover grandes quantidades de fitoplâncton e zooplâncton dos corpos d'água a depender das taxas de vazão.

Dando prosseguimento às análises, como não houve diferença significativa no fluxo entre os diferentes gradientes de temperatura simulados, serão apresentados a seguir os resultados referentes à qualidade da água captada utilizando percentuais obtidos para $\Delta T = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os dados das medições nictemerais. Assim, ao longo das discussões, será feita referência às perfilagens apresentadas no item anterior.

As Figuras 42, 43, 44 e 45 apresentam os resultados para oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total e densidade de cianobactérias, respectivamente. Foram plotados, juntamente com os valores de cada parâmetro advindos da média ponderada pelo fluxo entre as camadas, os valores médios da coluna d'água, de forma a representar uma condição de desconhecimento quanto ao escoamento induzido, além da diferença percentual entre essas duas medidas.

Na Figura 42(a), que indica os valores para O.D. na estação seca, verifica-se que a maior diferença entre os métodos ocorre por volta de 21:00 h e 00:00 h. Já na análise para a temporada de chuvas, Figura 42(b), observa-se que as maiores diferenças entre os métodos ocorrem entre 21:00h e 00:00 h para as vazões menores e entre 12:00 h e 15:00h para a vazão de 100%. Estudando o gradiente de temperatura ao longo do dia (Figura 35), pode-se ver que este tende a aumentar pela manhã, havendo, a partir de meio-dia, maior estratificação térmica, o que leva a um crescimento da estratificação química (O.D.) sequencialmente, com diminuição

do O.D. no fundo (LACERDA et al., 2018; POLITANO; HAQUE; WEBER, 2008). Já à noite, a partir das 21:00 h, o reservatório inicia um processo de resfriamento, diminuindo o gradiente térmico e gerando uma tendência à oxigenação das águas em seguida (SOUZA FILHO; MARTINS; PORTO, 2006; MESQUITA et al., 2020), indicativo do ciclo diurno discutido previamente. Percebe-se, então, que as discrepâncias produzidas pelos métodos de verificação da água de saída, coincidem com os horários de inversão dos processos no lago – estratificação (seco) ou fortalecimento da estratificação (chuvoso), às 12:00 h, e desestratificação (seco) ou enfraquecimento da estratificação (chuvoso), às 21:00 h.

Desse modo, para O.D. (Seco), a maior diferença entre os métodos às 00:00 h, corresponde ao horário com menor diferença comparativa entre o O.D. do fundo em relação à superfície, sendo esse o horário seguinte à desestratificação completa do reservatório (Figura 35(a)). Com isso, a consideração da média ponderada, por atribuir um menor peso (percentual de fluxo) à camada inferior – que mesmo com o reservatório misturado ainda possui menor O.D. –, consegue indicar a captação de uma água mais oxigenada do que quando não há o conhecimento acerca do padrão de escoamento induzido.

Paralelamente, a análise do O.D. (Chuvoso) é um pouco mais complexa, tendo em vista a estratificação permanente da coluna. Durante à noite, antes do enfraquecimento da estratificação térmica, ocorre o pico da estratificação química (21:00 h), com maior diferença entre O.D. superfície/fundo (Figura 35(b)), assim, a captação em menores vazões, por diminuir o escoamento advindo da camada inferior, apresenta grande diferença quando comparada com a captação pela média da coluna, que irá considerar fortemente o efeito do hipolímnio.

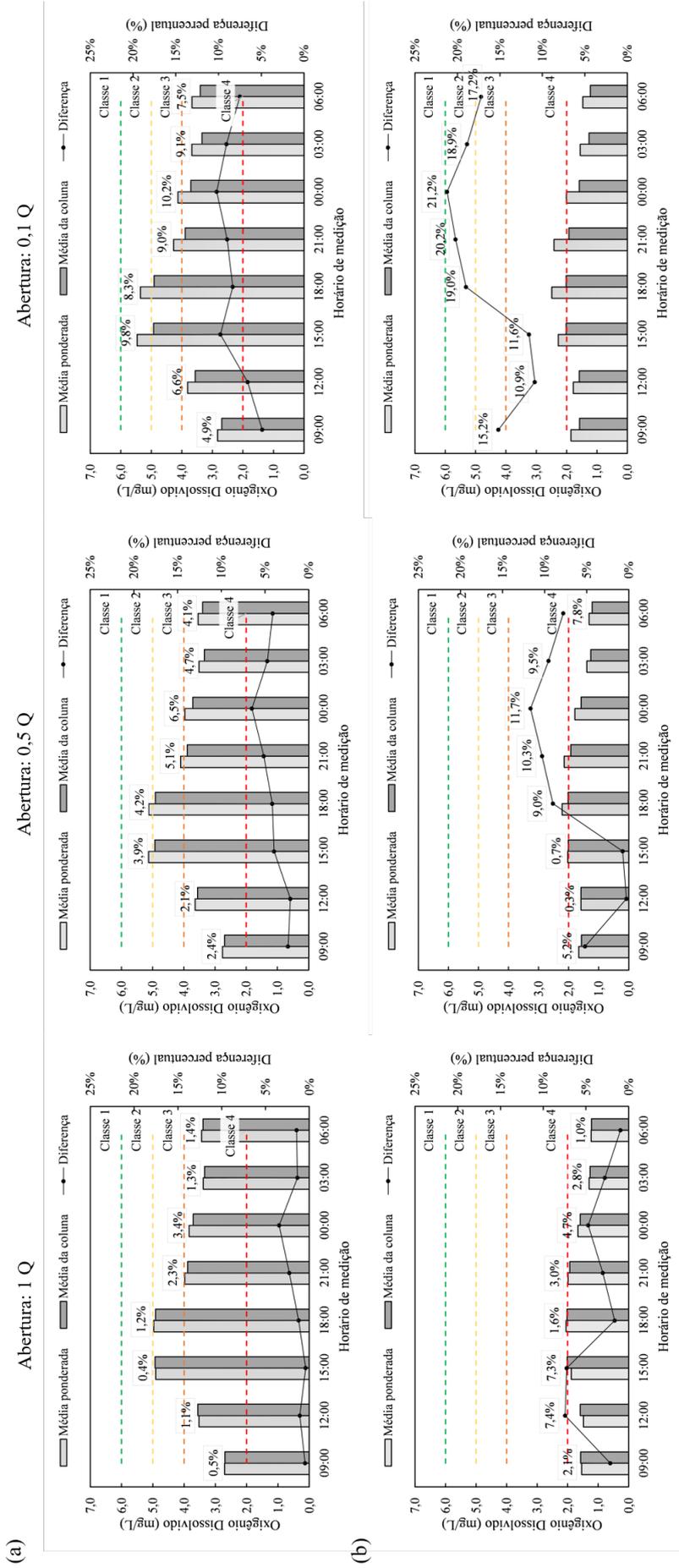
Já pela manhã, durante o fortalecimento da estratificação térmica (12:00 h), tem-se no reservatório as menores estratificações químicas, porém com valores muito baixos de O.D. como um todo – consequência da estratificação permanente –, assim, a captação de 17% da camada inferior para a 100% abertura da válvula (Figura 40), representa uma contribuição muito pequena para interferir na qualidade da água de saída, o que faz com que haja uma distância ligeiramente superior em relação ao valor da média aritmética.

As Figura 43(a) e 44(a) mostram os resultados para as concentrações de nutrientes (fósforo total e nitrogênio total) na água captada para a estação seca. Não foram identificadas diferenças expressivas entre os métodos, já que a distribuição dos nutrientes nesse período não varia muito verticalmente e ao longo do dia, conforme discutido anteriormente. Nota-se, contudo, que, a diferença máxima ocorre às 15:00 h, para os dois nutrientes, que coincide com o horário de maior gradiente de concentração entre superfície e fundo (Figura 36(a)).

As Figuras 43(b) e 44(b) correspondem à época de chuvas. Importante explicar que, devido a falhas na medição para algumas profundidades, não foi possível aplicar as médias de captação para todos os horários no período chuvoso, o que limita a análise. Porém, diante dos dados disponíveis, a maior diferença é verificada às 03:00 h.

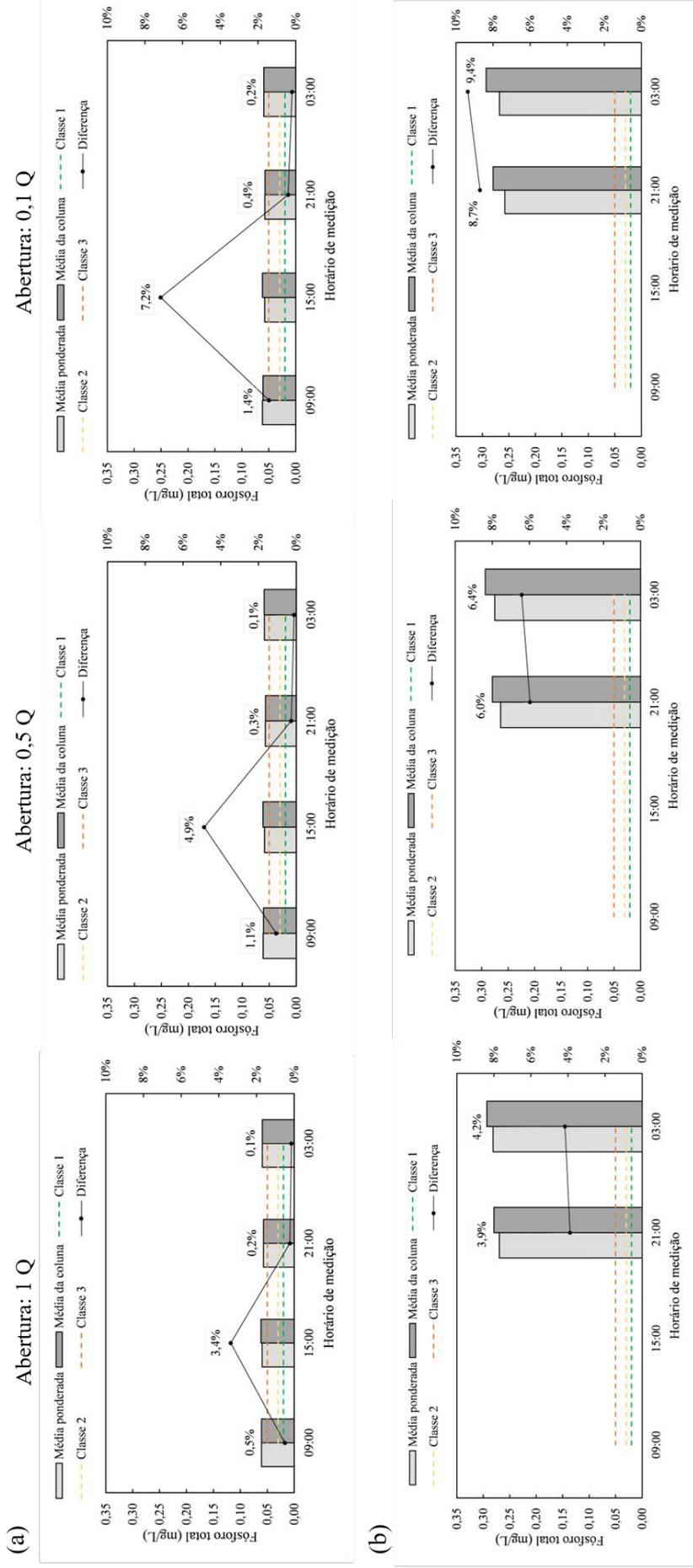
Para a densidade de cianobactérias, Figura 45, apresenta-se a determinação da captação apenas para a estação chuvosa, pois não foram obtidas as contagens desses microrganismos em diferentes profundidades (apenas na superfície) para o período seguinte. Percebe-se que a maior distinção entre os métodos acontece às 9:00 h, horário no qual as camadas superficiais apresentaram a máxima diferença de densidade (células/mL) quando comparadas ao fundo (Figura 38). Com isso, diante do maior peso atribuído às camadas superficiais na média ponderada, explica-se o comportamento evidenciado.

Figura 42 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função do oxigênio dissolvido nos períodos (a) seco e (b) chuvoso



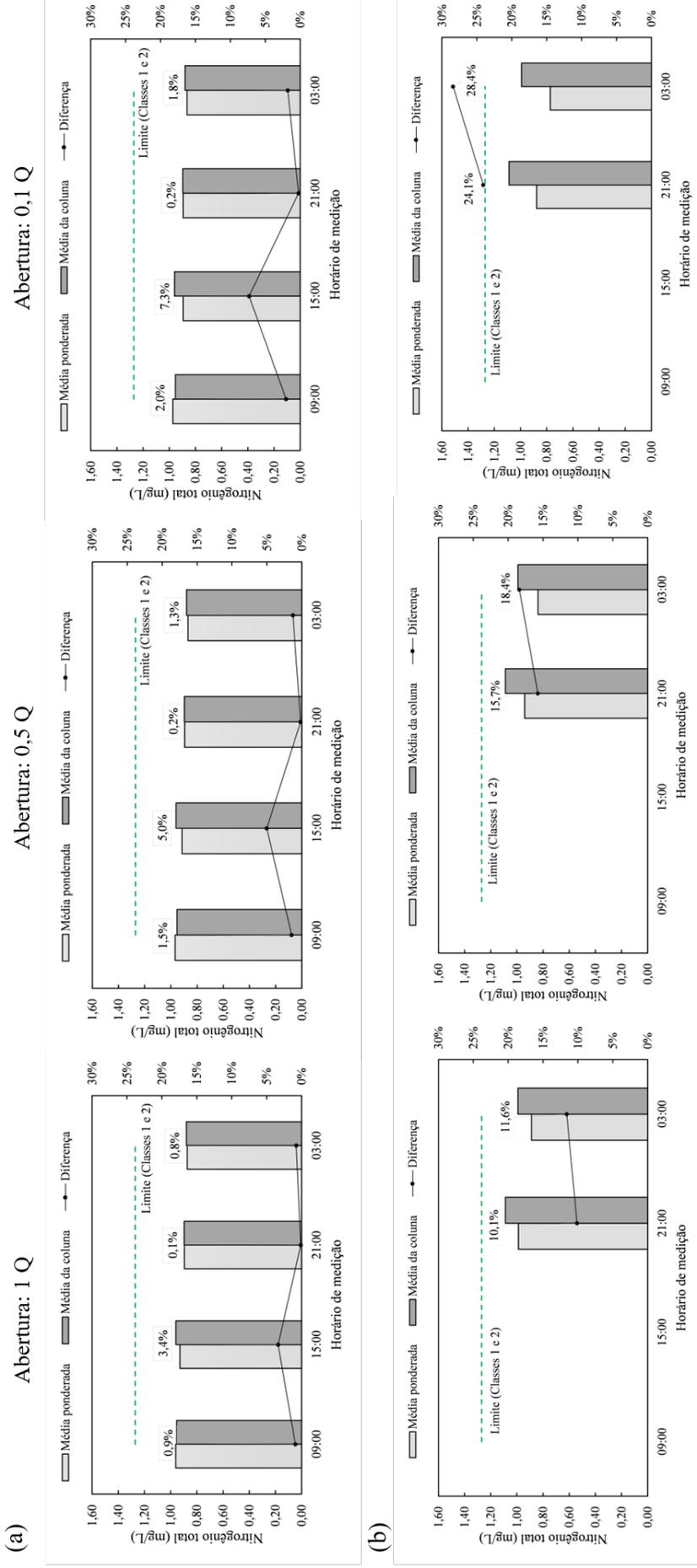
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função do fósforo total nos períodos (a) seco e (b) chuvoso



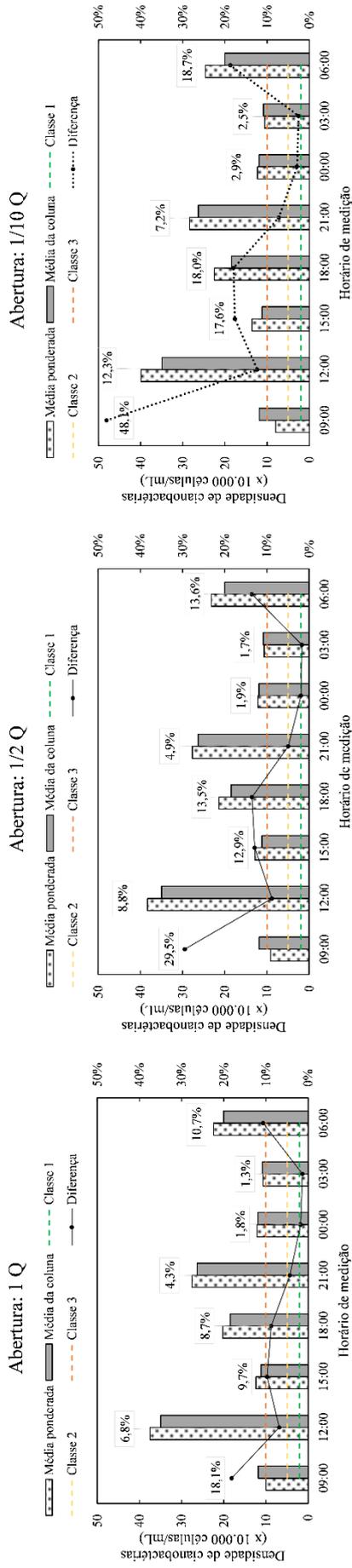
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 44 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função do nitrogênio total nos períodos (a) seco e (b) chuvoso



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45 – Resultados obtidos para qualidade da água captada em função da densidade de cianobactérias no período chuvoso



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante da crescente preocupação com os efeitos das atividades humanas na qualidade das águas, a legislação brasileira, com o objetivo de garantir o amplo atendimento às demandas em conjunto com a preservação dos corpos hídricos, estabeleceu uma série de instrumentos de gestão que pudessem regulamentar os usos e auxiliar no planejamento (COUTO et al., 2021). Dentre esses instrumentos, o enquadramento dos corpos hídricos, estabelecido pela Resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, é um recurso de gestão que visa assegurar que a qualidade das águas seja compatível com os usos pretendidos ou existentes.

À vista disso, são estabelecidas classes de qualidade da água a ser mantida ou alcançada em um determinado corpo hídrico. O Castanhão, diante de seus usos predominantes, deve objetivar um enquadramento em classe 2 (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2022c), que representa águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à irrigação de contato direto, à aquicultura e atividade de pesca, dentre outros (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005). No entanto, dentre os parâmetros estudados no presente trabalho, apenas a concentração de nitrogênio total se encontra dentro dos limites determinados para essa classe, devendo ser tomadas providências para melhoria da qualidade da água no reservatório.

É relevante considerar, contudo, conforme apresentado nas Figuras 42 a 45 acima, que também indicam os limites de cada classe de enquadramento, que as duas formas utilizadas para determinação da qualidade da água captada – a citar, média ponderada pelo fluxo e média da coluna completa – podem indicar classes diferentes a depender das condições consideradas. Tal fato comprova a importância de se buscarem regras de operação do reservatório mais eficientes, considerando os efeitos do escoamento induzido pela tomada d'água.

Os parâmetros operacionais associados ao controle do reservatório e, por conseguinte, da qualidade da água liberada são: a taxa de retirada, o cronograma de retirada e a profundidade de retirada (FELDBAUER et al., 2020; DEHBALAEI; JAVAN, 2018; ZHENG et al., 2017). Destes, o único parâmetro fixo para o reservatório Castanhão é a altura de captação da tomada d'água, com isso, pode-se desenvolver regras operacionais otimizadas variando as vazões liberadas e os horários de abertura para cada estação (ÇALISKAN; ELÇI, 2009; KUNZ et al., 2013; AGHASIAN et al., 2019). Carr et al. (2019), por exemplo, simulando a operação de um reservatório no Canadá, concluíram que retiradas em profundidades médias são ideais para equilibrar a temperatura do reservatório e da água captada, além de parâmetros como oxigênio dissolvido e concentração de nutrientes.

No que diz respeito aos níveis de oxigênio dissolvido, verifica-se que os melhores horários de captação, para o período seco, se dão entre 15:00 h e 18:00 h e que a liberação em vazões inferiores a 50% de abertura da válvula possibilitou a captação de uma água com a qualidade pretendida (classe 2). Já no período chuvoso, apesar das baixíssimas concentrações de O.D., a melhor captação é obtida nos horários entre 18:00 e 21:00 h, nos quais é possibilitada a captação de uma água fora dos limites de hipóxia, mas ainda em classe 4, também para vazões de retirada inferiores a 50% de abertura.

Analisando os resultados para as concentrações de nutrientes, disponibilizados para o período seco, os melhores horários foram 21:00 horas para o fósforo total e 03:00 horas da manhã para o nitrogênio total. Salienta-se, contudo, que não houve diferença significativa em função do horário de captação ou da vazão liberada diante da distribuição mais uniforme dos nutrientes nesse período. Assim, esse critério não sofre mudanças em função das regras de captação possíveis no Castanhão para o período seco.

Para a estação chuvosa, devido à falta de dados, foi possível analisar apenas o comportamento noturno. Assim, diante da disponibilidade de informações dada, os melhores horários de captação em relação ao fósforo e nitrogênio totais, foram os mesmos para o período seco. Esse resultado pode ser considerado válido a partir da inferência de que, devido à menor estratificação do reservatório durante a noite/madrugada, também serão encontradas as menores concentrações de nutrientes nesses turnos (Figura 36(b)) (MOURA et al., 2019). Com isso, a captação durante a noite deve apresentar uma tendência positiva em relação a esses parâmetros.

Em relação às classes de qualidade, ao contrário do nitrogênio total, que se encontra dentro dos limites da classe 2, as concentrações de fósforo total foram muito superiores ao permitido, passando dos limites para classe 3 em todas as configurações.

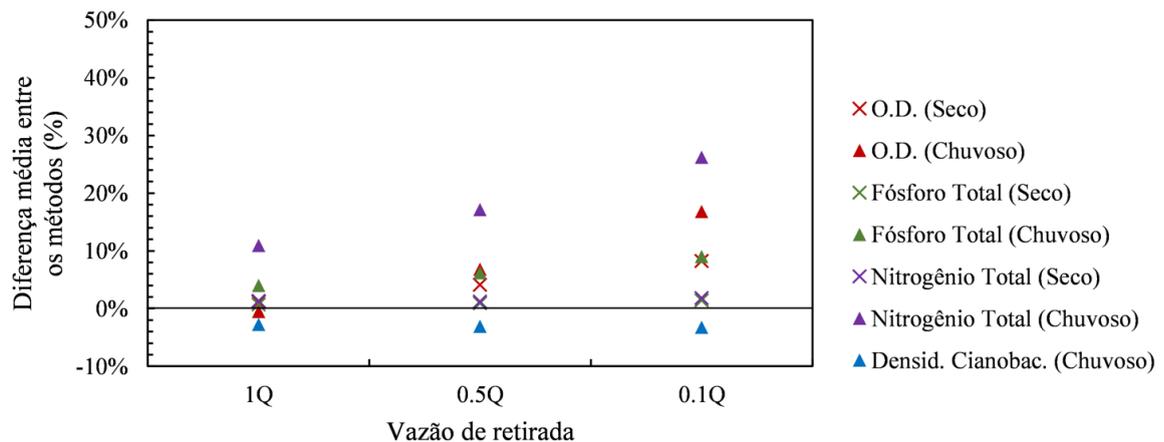
Por fim, no que concerne à contagem de cianobactérias, é verificado que a densidade de microrganismos existente excede o limite de classe 3 em todas as composições de horário e vazão estudadas. A única exceção é a captação às 9:00 h com vazão de 50% ou menor, que viabiliza a captação de uma água classe 3.

A Figura 46 mostra a diferença média obtida para cada um dos parâmetros considerando a saída ponderada pelo fluxo induzido – situação em que se espera resultados mais próximos à realidade –, e a média aritmética da coluna. Valores percentuais positivos indicam que a água de saída determinada pelo escoamento possui, em geral, qualidade superior quando comparada à qualidade determinada a partir de uma influência igualitária das camadas. Enquanto que valores negativos representam piora geral nos parâmetros.

Dessa forma, observa-se que, para a maioria dos critérios estudados, diante da configuração de qualidade dada, a ponderação do fluxo resulta em uma qualidade superior para a água captada. A única exceção é em relação às cianobactérias, para as quais a consideração dos percentuais de fluxo indica a captação de uma água mais poluída por esses organismos. Esse resultado, contudo, está de acordo com o esperado, tendo em vista a atual posição da tomada d'água em relação ao nível do reservatório.

Outra observação relevante é que, quanto menor a vazão de liberação na válvula, melhor os índices de qualidade da água de saída, já que se reduz o escoamento advindo da camada inferior do reservatório, que geralmente possui pior qualidade (KIM; CHOI, 2020; KEDRA; WIEJACZKA, 2017). Tais informações podem ser de grande valia para a gestão do reservatório e planejamento dos recursos hídricos.

Figura 46 – Diferença média obtida entre a ponderação pelo fluxo e a média aritmética da coluna



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante do exposto, os resultados do presente estudo, indicam que o desenvolvimento de regras operacionais otimizadas, variando as vazões liberadas e os horários de abertura, podem, de fato, melhorar a qualidade da água de saída e reduzir, por exemplo, os gastos com tratamento. No entanto, em concordância com a discussão feita por Sirunda et al. (2021), reforça-se que é de suma importância o conhecimento das dinâmicas verticais e temporais do reservatório quando se objetiva a captação de uma água bruta de boa qualidade para o abastecimento. No caso do reservatório Castanhão, essas dinâmicas ainda estão em processo de compreensão pelos pesquisadores, visto a limitação de dados de qualidade da água,

principalmente na escala nictemeral. Assim, são necessários estudos mais aprofundados dos padrões internos do lago para que possam ser definidas, em conjunto com os resultados do escoamento induzido, as regras operacionais que melhor atendem aos objetivos de gestão. Um exemplo disso é o trabalho realizado por Saadatpour et al. (2021) que estudaram a otimização da operação em uma hidrelétrica a partir da consideração de quanti-qualitativos.

É válido ressaltar que tais regras devem levar abranger os diferentes usos da água, já que a operação também pode ser utilizada como uma ferramenta para influenciar nos padrões internos de qualidade (RIGOSI; RUEDA, 2012; MI et al., 2022; DEHBALAEI; JAVAN, 2018; CARR et al., 2019). Assim, é possível que ocorram conflitos entre os parâmetros pretendidos para diferentes usos (KIM; CHOI, 2020; LIU; CHEN, 2013), situação que deve ser contornada pela gestão a partir de um equilíbrio na operação, atendendo, da melhor forma, todas as demandas.

5.4 Conclusões

O presente trabalho buscou simular o efeito de diferentes configurações de vazão nos parâmetros de qualidade da água liberada pelo reservatório Castanhão. Para tanto, foram feitas simulações CFD com o auxílio do modelo hidrodinâmico ANSYS Fluent, de forma a determinar as porcentagens de fluxo advindas de diferentes camadas horizontais no reservatório, a depender dos gradientes de densidade e vazão de saída. Com essas simulações e considerando os dados de duas medições nictemerais realizadas no reservatório nas estações seca e chuvosa, foi realizada uma análise da qualidade obtida para a água captada, a partir de uma ponderação entre fluxo e concentrações. O objetivo foi melhorar a compreensão do comportamento do escoamento induzido nas proximidades da tomada d'água e verificar o seu impacto nos padrões de qualidade da água liberada.

Nesse contexto, foram simulados nove cenários a partir da combinação entre gradientes de temperatura da água ($\Delta T = 2\text{ °C}$, 1 °C e 0 °C) e vazões de liberação pela válvula (100%, 50% e 10% de abertura). Os resultados obtidos nas simulações mostraram que os gradientes de densidade gerados pela temperatura da água não interferem no escoamento induzido, sendo o padrão de fluxo regido majoritariamente pela vazão de retirada. Além disso, verificou-se que o reservatório Castanhão, projetado para uma captação localizada próxima ao fundo, se encontra, devido a drástica redução do nível nos últimos anos, operando com uma captação epilimética, que é ainda mais significativa quanto menor a vazão de retirada, reduzindo a influência da camada inferior.

Em relação à qualidade da água captada, verificou-se que a consideração dos diferentes percentuais de fluxo entre as camadas, indicou a captação de uma água, em geral, de melhor qualidade quando comparada a determinação considerando escoamento igualitário entre estas (situação que representa o desconhecimento do escoamento induzido), podendo gerar, inclusive, mudanças entre as classes estabelecidas pela Resolução CONAMA N° 357/2005. Observou-se também que a qualidade da água de saída pode ser melhorada a partir da liberação em vazões mais baixas.

Os resultados deste estudo podem ser usados em combinação com a qualidade da água coleta em campo e informações adicionais para apoiar decisões e aliviar impactos na água liberada na barragem Castanhão. Contudo, ressalta-se que, para identificar as melhores estratégias de operação combinadas à gestão de qualidade, o comportamento das dinâmicas de qualidade da água do reservatório deve ser melhor compreendido.

Como estudos posteriores, sugere-se a realização de modelagens considerando, além das mudanças na vazão, a variação nas alturas de captação, verificando a possibilidade e os possíveis ganhos de uma adaptação da tomada d'água existente, e para diferentes níveis do reservatório. Além disso, sugere-se a realização de modelagens integradas que envolvam os processos hidrodinâmicos e de qualidade da água, de forma a avaliar também os impactos gerados pela captação internamente ao reservatório.

6 CONCLUSÃO GERAL

Diante da problemática enfrentada pelo reservatório Castanhão, no que diz respeito aos expressivos episódios de mortandade ocorridos em 2016, e tendo em vista sua importância estratégica para o gerenciamento dos recursos hídricos do estado do Ceará, o presente trabalho buscou realizar um estudo acerca do impacto da operação das válvulas de tomada d'água no reservatório, subdividindo a análise em três partes principais, a citar: estudo de transitórios hidráulicos, análise do escoamento induzido envolvendo transporte de sedimento e envolvendo qualidade da água.

O primeiro trabalho teve como objetivo principal verificar a ocorrência de transitórios hidráulicos significativos na tomada d'água e compreender a extensão de uma possível influência destes no reservatório. Para tanto, foram realizadas modelagens computacionais, considerando diferentes tempos de operação da válvula, de forma a avaliar as envoltórias de pressão e a magnitude das vazões de retorno. Os cenários simulados incluíram tempos pequenos de manobra e fechamento completo da válvula, de forma a abranger situações críticas de operação. A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que, mesmo para condições de fechamento rápido – sendo o menor tempo simulado igual a 1 minuto –, as variações de pressão geradas são pequenas para causar danos ao sistema em questão. Em relação à onda de vazão de retorno gerada, o valor máximo obtido foi de 0,67 L/s, resultado também insignificante dadas as dimensões do reservatório Castanhão. Além disso, verificou-se que pequenos aumentos nos tempos de manobra representam reduções significativas nas vazões de retorno, tornando-a irrisória, com valores próximos a zero. Dessa forma, a rotina de operação do Castanhão, que realiza manobras com fechamento lento das válvulas não gera impactos na região interna do reservatório no que diz respeito aos transitórios hidráulicos.

Com isso, o segundo trabalho buscou analisar o escoamento gerado no reservatório durante as liberações pela tomada d'água. O intuito foi verificar se a aceleração das linhas de fluxo em direção à tubulação de saída poderia impactar no reservatório a partir de uma ressuspensão de sedimento. Para tal propósito, foram feitas simulações em fluidodinâmica computacional que possibilitaram a geração dos campos de escoamento em diferentes cenários de abertura da válvula (100%, 75%, 50% e 25%). Assim, com os resultados obtidos, aplicou-se um modelo simplificado para determinação do início do transporte do sedimento no fundo do reservatório. As análises indicaram que o escoamento induzido pela tomada d'água gera turbulência suficiente no fundo do reservatório para ressuspender o sedimento, sendo esta maior para maiores vazões de retirada e menores diâmetros do sedimento estudados. Apesar disso, a

análise de regressão linear realizada mostrou que a ressuspensão é restrita à região próxima à entrada do tubo, com sua influência limitada a, aproximadamente, 500 metros.

Por fim, diante da verificação do impacto da operação no sedimento, o terceiro trabalho buscou amplificar as análises, abordando os aspectos de qualidade da água. Dessa forma, o objetivo deste último estudo foi avaliar o impacto do escoamento gerado pela tomada d'água na determinação da qualidade da água captada. O estudo teve início a partir de simulações CFD do escoamento induzido agora avaliando, além das vazões de retirada, diferentes gradientes de temperatura da coluna d'água. A partir dos resultados das simulações, determinou-se o percentual de fluxo advindo de múltiplas camadas do reservatório, com os quais foram realizadas ponderações dos parâmetros de qualidade da água, determinando a qualidade da água de saída em escala nictemeral para as estações seca e chuvosa. Com isso, foi possível verificar que a consideração dos diferentes percentuais de fluxo entre as camadas, indicou a captação de uma água, em geral, de melhor qualidade quando comparada a determinação considerando escoamento igualitário entre estas (situação que representa o desconhecimento do escoamento induzido), podendo gerar, inclusive, mudanças entre as classes estabelecidas pela Resolução CONAMA N° 357/2005. Observou-se também que a qualidade da água de saída pode ser melhorada a partir da liberação em vazões mais baixas.

A combinação dos estudos realizados fornece uma compreensão ampla dos impactos gerados pela operação da tomada d'água no reservatório Castanhão, ficando evidente a importância de se considerar tais impactos nas estratégias de gerenciamento do reservatório. Os resultados gerados podem servir de base para os gestores de água, auxiliando no desenvolvimento de aplicações inovativas para a gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, A., ANNOR, F. O., VAN DE GIESEN, N. "Investigation of temperature dynamics in small and shallow reservoirs, Case Study: Lake Binaba, Upper East Region of Ghana", **Water**, [S.L.], v. 8, n. 3, 2016. MDPI AG. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w8030084>.
- ADAMKOWSKI, A., LEWANDOWSKI, M. "Investigation of Hydraulic Transients in a Pipeline with Column Separation", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 138, n. 11, p. 935–944, 2012. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000596](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000596).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (comp.). **Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação**. Brasília: Engecorps Engenharia S.A, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Evaporação líquida de reservatórios artificiais no Brasil**. Brasília, 2021.
- AGHASIAN, K., MORIDI, A., MIRBAGHERI, A., *et al.* "Selective withdrawal optimization in a multipurpose water use reservoir", **International Journal of Environmental Science and Technology**, [S.L.], v. 16, n. 10, p. 5559–5568, 2019. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02363-x>.
- ALVALÁ, R. C. D. S., CUNHA, A. P. M. A., BRITO, S. S. B., *et al.* "Drought monitoring in the Brazilian semiarid region", **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 91, p. 1–15, 2017. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>.
- ALVES, J. M. B., COSTA, A. A., SOMBRA, S. S., *et al.* "Um estudo inter-comparativo de previsão sazonal estatística-dinâmica de precipitação no nordeste do Brasil", **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 354–372, 2007. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-77862007000300009>.
- AMORIM, L. F., MARTINS, J. R. S., NOGUEIRA, F. F., *et al.* "Hydrodynamic and ecological 3D modeling in tropical lakes", **SN Applied Sciences**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 1–14, 2021. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04272-6>.
- ANSYS Inc. **ANSYS Fluent User's Guide**. Canonsburg. 2013a.
- ANSYS Inc. **ANSYS Fluent Theory Guide**. Canonsburg. 2013b.
- APOLLONIO, C., BALACCO, G., FONTANA, N., *et al.* "Hydraulic transients caused by air expulsion during rapid filling of undulating pipelines", **Water**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1–12, 2016. MPDI AG. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w8010025>.
- ARAÚJO, I. C. S. **Perda de solo e aporte de nutrientes e metais em reservatório do semiárido brasileiro**. 2017. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciência do Solo, Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- ARAÚJO, J. C., MAMEDE, G. L., DE LIMA, B. P. "Hydrological guidelines for reservoir

operation to enhance water governance: Application to the Brazilian Semiarid region", **Water**, [S.L.], v. 10, n. 11, 2018. MPDI AG. DOI: 10.3390/w10111628.

AZADI, F., ASHOFTEH, P. S., CHU, X. "Evaluation of the effects of climate change on thermal stratification of reservoirs", **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 66, p. 102531, 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102531>.

AZEVEDO NETTO, J. M., *et al.* **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

BAI, Y., GAO, J., ZHANG, Y. "Research on wind-induced nutrient release in Yangshapao Reservoir, China", **Water Science and Technology: Water Supply**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 469–477, 2020. IWA Publishing. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/ws.2019.180>.

BARBOSA, J. E. de L., MEDEIROS, E. S. F., BRASIL, J., *et al.* "Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management", **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 103–118, 2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000030>.

BARROS, M. U. G., WILSON, A. E., LEITÃO, J. I. R., *et al.* "Environmental factors associated with toxic cyanobacterial blooms across 20 drinking water reservoirs in a semi-arid region of Brazil", **Harmful Algae**, [S.L.], v. 86, p. 128–137, 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.05.006>.

BELINSKY, M., RUBIN, H., AGNON, Y., *et al.* "Characteristics of resuspension, settling and diffusion of particulate matter in a water column", **Environmental Fluid Mechanics**, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 415–441, 2005. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10652-004-7302-3>.

BERNARD, P. P., WALLACE, J. M. **Turbulent flow: Analysis, Measurement and Prediction**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

BERTAGLIA, G., IORIATTI, M., VALIANI, A., *et al.* "Numerical methods for hydraulic transients in visco-elastic pipes", **Journal of Fluids and Structures**, [S.L.], v. 81, p. 230–254, 2018. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2018.05.004>.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. do C., MOURA, A. do N., HEREMAN, T. C., *et al.* "Increase in Straight and Coiled *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) Populations under Conditions of Thermal De-Stratification in a Shallow Tropical Reservoir", **Journal of Water Resource and Protection**, [S.L.], v. 03, n. 04, p. 245–252, 2011. Scientific Research Publishing. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2011.34031>.

BOHAN, J. P., GRACE, J. L. **Selective withdrawal from man-made lakes**. Technical Report. Vicksburg: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1973.

BRAGA, G. G., BECKER, V., OLIVEIRA, J. N. P. de, *et al.* "Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region", **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 15–23, 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x2214>.

BUCUR, D. M., DUNCA, G., CERVANTES, M. J., *et al.* "Simultaneous transient operation

of a high head hydro power plant and a storage pumping station in the same hydraulic scheme", **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 22, 2014. IOP Publishing. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/22/4/042015>.

BUTCHER, J. B., NOVER, D., JOHNSON, T. E., *et al.* "Sensitivity of lake thermal and mixing dynamics to climate change", **Climatic Change**, [S.L.], v. 129, n. 1–2, p. 295–305, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1326-1>.

ÇALIŞKAN, A., ELÇI, Ş. "Effects of selective withdrawal on hydrodynamics of a stratified reservoir", **Water Resources Management**, [S.L.], v. 23, n. 7, p. 1257–1273, 2009. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9325-x>.

CAMPOS, J. N.B., SOUZA FILHO, F. A., LIMA, H. V. C. "Risks and uncertainties in reservoir yield in highly variable intermittent rivers: case of the castanhão reservoir in semi-arid Brazil", **Hydrological Sciences Journal**, [S.L.], v. 59, n. 6, p. 1184–1195, 2014. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.836277>.

CAMPOS, Jose N B, LIMA NETO, I. E., STUDART, T. M. C., *et al.* "Trade-off between reservoir yield and evaporation losses as a function of lake morphology in semi-arid Brazil", **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 88, n. 2, p. 1113–1125, 2016. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620150124>.

CAMPOS, José Nilson B. "Paradigms and Public Policies on Drought in Northeast Brazil: A Historical Perspective", **Environmental Management**, [S.L.], v. 55, n. 5, p. 1052–1063, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-015-0444-x>.

CARR, M. K., SADEGHIAN, A., LINDENSCHMIDT, K. E., *et al.* "Impacts of Varying Dam Outflow Elevations on Water Temperature, Dissolved Oxygen, and Nutrient Distributions in a Large Prairie Reservoir", **Environmental Engineering Science**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 78–97, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1089/ees.2019.0146>.

CARVALHO, T. M., LIMA NETO, I. E., SOUZA FILHO, F. de A. "Uncovering the influence of hydrological and climate variables in chlorophyll-A concentration in tropical reservoirs with machine learning", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 29, n. 49, p. 74967–74982, 2022. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-21168-z>.

CASAMITJANA, X. *et al.* Effects of the water withdrawal in the stratification patterns of a reservoir. **Hydrobiologia**, Netherlands, v. 504, p. 21–28, 2003.

CASTILLO, U. M. **Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en ingeniería hidráulica**. México: Limusa Noriega Editores, 1994.

CASTRO, I. M. **Controlling the cyanobacterium microcystis aeruginosa and the cyanotoxin microcystin by (advanced) oxidation processes**. 2020. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

ÇENGEL, Y. A., CIMBALA, J. M. **Fluid Mechanics Fundamentals and Applications**. New York: McGraw-Hill, 2006.

CHAKRABORTI, R. K., ATKINSON, J. F., KAUR, J. "Effect of Mixing on Suspended Particle-Size Distribution", **Journal of Environmental Engineering**, [S.L.], v. 135, n. 5, p. 306–316, 2009. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(2009\)135:5\(306\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(2009)135:5(306)).

CHAUDHRY, M. H. **Applied Hydraulic Transients**. Columbia: Springer, 2014.

CHERNY, S., CHIRKOV, D., BANNIKOV, D., *et al.* "3D numerical simulation of transient processes in hydraulic turbines", **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 12, p. 012071, 2010. IOP Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/12/1/012071>.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Inventário ambiental do Açude Castanhão**. Fortaleza, 2011.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Análise da mortandade de peixes ocorrida no Açude Castanhão em maio de 2016**. Relatório técnico N° 2/2016 GEDOP/DIOPE. Fortaleza, 2016.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH**. Relatório final da Campanha de novembro de 2021. Fortaleza, 2022a.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de qualidade da análise nictemeral do Açude Castanhão - Estação seca 2021**. Fortaleza, 2022b.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de qualidade da análise nictemeral do Açude Castanhão - Estação chuvosa 2022**. Fortaleza, 2022c.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. "RESOLUÇÃO n° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005", **Diário Oficial**, p. 58–63, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 16 de agosto de 2022.

COSTA, A. C., ESTACIO, A. B. S., DE SOUZA FILHO, F. de A., *et al.* "Monthly and seasonal streamflow forecasting of large dryland catchments in Brazil", **Journal of Arid Land**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 205–223, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40333-021-0097-y>.

COSTA, M. R. A., ATTAYDE, J. L., BECKER, V. "Effects of water level reduction on the dynamics of phytoplankton functional groups in tropical semi-arid shallow lakes", **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 778, n. 1, p. 75–89, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2593-6>.

COUTO, J. F., COSTA, A. T., PEREIRA, A. L., *et al.* "Avaliação e monitoramento participativo na gestão da qualidade da água Introdução", **Alemur**, v. 6, n. 1, p. 1–11, 2021.

COVAS, D., STOIANOV, I., MANO, J. F., *et al.* "The dynamic effect of pipe-wall viscoelasticity in hydraulic transients. Part I - Experimental analysis and creep characterization", **Journal of Hydraulic Research**, [S.L.], v. 42, n. 5, p. 517–532, 2004. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00221686.2004.9641221>.

COVAS, D., STOIANOV, I., MANO, J. F., *et al.* "The dynamic effect of pipe-wall viscoelasticity in hydraulic transients. Part II - Model development, calibration and verification", **Journal of Hydraulic Research**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 56–70, 2005. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00221680509500111>.

CÓZAR, A., GÁLVEZ, J. A., HULL, V., *et al.* "Sediment resuspension by wind in a shallow lake of Esteros del Iberá (Argentina): A model based on turbidimetry", **Ecological Modelling**, [S.L.], v. 186, n. 1, p. 63–76, 2005. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.020>.

DA SILVA, A. M. A., DE MEDEIROS, P. R., DA SILVA, M. C. B. C., *et al.* "Diel vertical migration and distribution of zooplankton in a tropical Brazilian reservoir", **Biotemas**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 49, 2009. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2009v22n1p49>.

DANTAS, Ê. W., MOURA, A. N., BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. do C. "Cyanobacterial blooms in stratified and destratified eutrophic reservoirs in semi-arid region of Brazil", **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 83, n. 4, p. 1327–1338, 2011. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0001-37652011000400019>.

DAVIES-COLLEY, R. J., SMITH, D. G. "Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review", **Journal of the American Water Resources Association**, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 1085–1101, 2001. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03624.x>.

DEHBALAEI, F. N., JAVAN, M. "Assessment of Selective Withdrawal and Inflow Control on the Hydrodynamics and Water Quality of Ilam Reservoir", **Water Environment Research**, [S.L.], v. 90, n. 4, p. 307–321, 2018. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2175/106143017x15131012152834>.

DENG, Y., TUO, Y., LI, J., *et al.* "Spatial-temporal effects of temperature control device of stoplog intake for Jinping I hydropower station", **Science China Technological Sciences**, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 83–88, 2011. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11431-011-4602-y>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Diretrizes básicas de operação e manutenção da barragem Castanhão**. Consórcio Água Solos - Hidroterra S.A. Fortaleza, 2004.

DEY, S., PAPANICOLAOU, A. "Sediment threshold under stream flow: A state-of-the-art review", **KSCE Journal of Civil Engineering**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 45–60, 2008. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-008-8045-3>.

- DING, Yanqing, QIN, B., DENG, J., *et al.* "Effects of episodic sediment resuspension on phytoplankton in Lake Taihu: focusing on photosynthesis, biomass and community composition", **Aquatic Sciences**, [S.L.], v. 79, n. 3, p. 617–629, 2017. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00027-017-0523-6>.
- DING, Yanqing, QIN, B., XU, H., *et al.* "Effects of sediment and turbulence on alkaline phosphatase activity and photosynthetic activity of phytoplankton in the shallow hyper-eutrophic Lake Taihu, China", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 23, n. 16, p. 16183–16193, 2016. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-6786-y>.
- DING, Yanqing, SUN, L., QIN, B., *et al.* "Characteristics of sediment resuspension in Lake Taihu, China: A wave flume study", **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 561, p. 702–710, 2018. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.026>.
- DING, Yuan, LI, T. C., ZHAO, L. H., *et al.* "Numerical simulation of water hammer in multi-level intake hydropower station considering the impact of intake", **Engineering Computations**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 850–875, 2019. Emerald. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/EC-07-2018-0293>.
- DINGMAN, S. L. **Physical Hydrology**. Long Grove: Waveland Press Inc., 2015.
- DINIZ, A. S., FILHO, S. L. N., GAMA, W. A., *et al.* "Temporal and vertical variation of phytoplankton and zooplankton in two tropical reservoirs with different trophic states", **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 94, n. 2, p. 1–20, 2022. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-376520220200624>.
- DORFMANN, C. **Flow Phenomena in a reservoir investigated by field measurements and numerical modelling**. 2017. 160 f. Tese (Doutorado). Graz University of Technology, Graz, 2017.
- DUKA, M. A., SHINTANI, T., YOKOYAMA, K. "Thermal stratification responses of a monomictic reservoir under different seasons and operation schemes", **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 767, p. 144423, 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144423>.
- ELÇI, Ş. "Effects of thermal stratification and mixing on reservoir water quality", **Limnology**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 135–142, 2008. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10201-008-0240-x>.
- ESTIGONI, M. V. **Uso de modelagem de transporte de sedimentos e técnicas de hidrologia estatística para redução de incertezas nos estudos de assoreamento de reservatório: um estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu, SP**. 2016. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- EVANGELISTA, S., LEOPARDI, A., PIGNATELLI, R., *et al.* "Hydraulic Transients in Viscoelastic Branched Pipelines", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 141, n. 8, p. 1–9, 2015. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001030](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001030).

- FALCONER, R. A., GEORGE, D. G., HALL, P. "Three-dimensional numerical modelling of wind-driven circulation in a shallow homogeneous lake", **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 124, n. 1–2, p. 59–79, 1991. Elsevier BV. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(91\)90006-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(91)90006-4).
- FAN, J., DALY, R., HOBSON, P., *et al.* "Impact of potassium permanganate on cyanobacterial cell integrity and toxin release and degradation", **Chemosphere**, [S.L.], v. 92, n. 5, p. 529–534, 2013. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.022>.
- FELDBAUER, J., KNEIS, D., HEGEWALD, T., *et al.* "Managing climate change in drinking water reservoirs: potentials and limitations of dynamic withdrawal strategies", **Environmental Sciences Europe**, [S.L.], v. 32, n. 1, 2020. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00324-7>.
- FERNANDES, R. de O., SILVEIRA, C. da S., STUDART, T. M. de C., *et al.* "Reservoir yield intercomparison of large dams in Jaguaribe Basin-CE in climate change scenarios", **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 22, n. 0, 2017. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716033>.
- FERRANTE, M., MASSARI, C., BRUNONE, B., *et al.* "Experimental Evidence of Hysteresis in the Head-Discharge Relationship for a Leak in a Polyethylene Pipe", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 137, n. 7, p. 775–780, 2011. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000360](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000360).
- FERREIRA, D. M., CUNHA, C. "Simulação numérica do comportamento térmico do reservatório do Rio Verde", **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 83–93, 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000100010>.
- FISCHER-ANTZE, T., OLSEN, N. R. B., GUTKNECHT, D. "Three-dimensional CFD modeling of morphological bed changes in the Danube River", **Water Resources Research**, [S.L.], v. 44, n. 9, p. 1–15, 2008. American Geophysical Union (AGU). Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2007WR006402>.
- FOX, R. W., *et al.* **Introdução à mecânica dos fluidos**. LTC, 2011.
- FRAGA, R. F., ROCHA, S. M. G., LIMA NETO, I. E. "Impact of flow conditions on coliform dynamics in an urban lake in the Brazilian semiarid", **Urban Water Journal**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 43–53, 2020. Informa UK Limited. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1734948>.
- FREIRE, R. H. F. ; CALIJURI, M. C. ; SANTAELLA, S. T. " Longitudinal patterns and variations in water quality in a reservoir in the semiarid region of NE Brazil: responses to hydrological and climatic changes", **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 21, n. May 2014, p. 251–262, 2009.
- FREIRE, L. L., COSTA, A. C., LIMA NETO, I. E. "Spatio-temporal Patterns of River Water Quality in the Semiarid Northeastern Brazil", **Water, Air, and Soil Pollution**, [S.L.], v. 232,

n. 11, p. 1–22, 2021. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05406-7>.

GRACÍA, M. H. **Sedimentation Engineering Processes, Measurements, Modeling and Practice**. Reston: American Society of Civil Engineers, 2008.

GONDIM, R. S., DE CASTRO, M. A. H., MAIA, A. de H. N., *et al.* "Climate Change Impacts on Irrigation Water Needs in the jaguaribe River Basin", **Journal of the American Water Resources Association**, [S.L.], v. 48, n. 2, p. 355–365, 2012. Wiley. Disponível em: <https://doi.org/110.1111/j.1752-1688.2011.00620.x>.

HÅKANSON, L. "A new dynamic model for Suspended Particulate Matter (SPM) in lakes", **International Review of Hydrobiology**, [S.L.], v. 90, n. 5–6, p. 603–636, 2005. Wiley. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/iroh.200510790>.

HAMILTON, D. P., MITCHELL, S. F. "Wave-induced shear stresses, plant nutrients and chlorophyll in seven shallow lakes", **Freshwater Biology**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 159–168, 1997. Wiley. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00202.x>.

HAWLEY, N. "Sediment resuspension near the Keweenaw peninsula, lake superior during the fall and winter 1990-1991", **Journal of Great Lakes Research**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 495–505, 2000. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0380-1330\(00\)70711-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0380-1330(00)70711-8).

HE, X., LIU, Y. L., CONKLIN, A., *et al.* "Toxic cyanobacteria and drinking water: Impacts, detection, and treatment", **Harmful Algae**, [S.L.], v. 54, p. 174–193, 2016. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2016.01.001>.

HU, C., HU, W., ZHANG, F., *et al.* "Sediment resuspension in the Lake Taihu, China", **Chinese Science Bulletin**, [S.L.], v. 51, n. 6, p. 731–737, 2006. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11434-006-0731-2>.

HU, Y., *et al.* " Short-term dynamics and driving factors of total suspended matter concentration in Lake Taihu using high frequent geostationary ocean color imager data", **Journal of Lake Sciencies**, [S.L.], v. 30, n. 4, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18307/2018.0412>.

HUISMAN, J., CODD, G. A., PAERL, H. W., *et al.* "Cyanobacterial blooms", **Nature Reviews Microbiology**, [S.L.], v. 16, n. 8, p. 471–483, 2018. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1>.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. IPECE. **Ceará em Mapas**, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12.htm#:~:text=Vale%20salientar%20que%20o%20tipo,apresenta%2Dse%20com%20v%C3%A1rias%20fisionomias>. Acesso em: 23 de maio de 2022.

IZQUIERDO, J., IGLESIAS, P. L. "Mathematical modelling of hydraulic transients in complex systems", **Mathematical and Computer Modelling**, [S.L.], v. 39, n. 4–5, p. 529–540, 2002. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0895-7177\(04\)90524-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0895-7177(04)90524-9).

JAMES, R. T., MARTIN, J., WOOL, T., *et al.* "A sediment resuspension and water quality model of Lake Okeechobee", **Journal of the American Water Resources Association**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 661–678, 1997. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.1997.tb03540.x>.

KĘDRA, M., WIEJACZKA, Ł. "Climatic and dam-induced impacts on river water temperature: Assessment and management implications", **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 626, p. 1474–1483, 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.044>.

KIM, S. K., CHOI, S. U. "Assessment of the impact of selective withdrawal on downstream fish habitats using a coupled hydrodynamic and habitat modeling", **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 593, p. 125665, 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125665>.

KRAEMER, B. M., ANNEVILLE, O., CHANDRA, S., *et al.* "Strati Fi Cation Responses To Climate Change", **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 42, p. 4981–4988, 2015. American Geophysical Union (AGU). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL064097>.

KUCHINSKI, V., CAUDURO GASTALDINI, M. do C. "Modeling the Trophic State of Subtropical Reservoir in Southern Brazil", **Journal of Water Resources Planning and Management**, [S.L.], v. 144, n. 3, p. 1–8, 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000904](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000904).

KUNDU, P. K., *et al.* **Fluid Mechanics**. London: Elsevier, 2016.

KUNZ, M. J., SENN, D. B., WEHRLI, B., *et al.* "Optimizing turbine withdrawal from a tropical reservoir for improved water quality in downstream wetlands", **Water Resources Research**, [S.L.], v. 49, n. 9, p. 5570–5584, 2013. American Geophysical Union (AGU). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20358>.

LACERDA, L. D., SANTOS, J. A., MARINS, R. V., *et al.* "Limnology of the largest multi-use artificial reservoir in NE Brazil: The Castanhão Reservoir, Ceará State", **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 90, n. 2, p. 2073–2096, 2018. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820180085>.

LANE, E. W. **The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering**. Denver: Bureau of Reclamation, 1955.

LEMOS, W. E. D. **Previsão climática sazonal do regime térmico e hidrodinâmico de reservatório**. 2015. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

LI, D., FU, X., ZUO, Z., *et al.* "Investigation methods for analysis of transient phenomena concerning design and operation of hydraulic-machine systems—A review", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 101, n. October 2019, p. 26–46, 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.023>.

- LI, N. X., XU, J. F., YIN, W., *et al.* "Effect of local watershed landscapes on the nitrogen and phosphorus concentrations in the waterbodies of reservoir bays", **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 716, 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137132>.
- LI, Y., TANG, C., WANG, J., *et al.* "Effect of wave-current interactions on sediment resuspension in large shallow Lake Taihu, China", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 4029–4039, 2016. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-8165-0>.
- LIMA, J. P. R., ALVES, J. M. B. "Um estudo de downscaling dinâmico de precipitação intrasazonal acoplado a modelo chuva-vazão na bacia hidrográfica", **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 323–338, 2009.
- LIMA NETO, I. E. "Impact of artificial destratification on water availability of reservoirs in the Brazilian semiarid", **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 91, n. 3, p. 1–12, 2019. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920171022>.
- LIMA NETO, I. E., WIEGAND, M. C., ARAÚJO, J. C. "Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin." **Hydrol. Sci. J.**, v. 56, n.2, p. 319–333, 2011.
- LIU, C., HUHE, A., TAO, L. "Sediment Incipience in Turbulence Generated in a Square Tank by a Vertically Oscillating Grid", **Journal of Coastal Research**, v. SI 39, n. Proccendigs of the 8th International Coastal Symposium, p. 2004–2007, 2006. Disponível em: http://www98.griffith.edu.au/dspace/bitstream/10072/11881/1/postcopy_JCR.pdf. Acesso em: 13 de junho de 2022.
- LIU, W. C., CHEN, W. B. "Modeling hydrothermal, suspended solids transport and residence time in a deep reservoir", **International Journal of Environmental Science and Technology**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 251–260, 2013. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-012-0147-2>.
- LIU, X., HUANG, W. "Modeling sediment resuspension and transport induced by storm wind in Apalachicola Bay, USA", **Environmental Modelling and Software**, [S.L.], v. 24, n. 11, p. 1302–1313, 2009. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.04.006>.
- LIU, H., ZHENG, Z. C., YOUNG, B. "Three-dimensional computational hydrodynamics modeling for algae transport and growth", **Proceedings of the ASME 2017 Fluids Engineering Division Summer Meeting**, 2017.
- LORENZI, A. S., CORDEIRO-ARAÚJO, M. K., CHIA, M. A., *et al.* "Cyanotoxin contamination of semiarid drinking water supply reservoirs", **Environmental Earth Sciences**, [S.L.], v. 77, n. 16, p. 0, 2018. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-018-7774-y>.
- LUO, L., QIN, B., ZHU, G., *et al.* "Nutrient fluxes induced by disturbance in Meiliang Bay of Lake Taihu", **Science in China, Series D: Earth Sciences**, [S.L.], v. 49, n. SUPPL. 1, p. 186–

192, 2006. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11430-006-8118-4>.

LYN, D.A. "Observations of initial sediment motion in a turbulent flow generated in a square tank by a vertically oscillating grid", **ASCE Water Research Engineering Conference**, San Antonio, 1995.

MA, S., KASSINOS, S. C., FATTA KASSINOS, D., *et al.* "Effects of selective water withdrawal schemes on thermal stratification in Kouris Dam in Cyprus", **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 51–61, 2008. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1440-1770.2007.00353.x>.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MAMEDE, G. L., ARAÚJO, N. A. M., SCHNEIDER, C. M., *et al.* "Overspill avalanching in a dense reservoir network", **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S.L.], v. 109, n. 19, p. 7191–7195, 2012. Proceedings of the National Academy of Sciences. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1200398109>.

MANTZ, P.A. "Incipient transport of fine grains and flanks by fluids-extended Shields diagram." **Journal of the Hydraulics Division**, v. 103, n. 6, p. 601-615, 1977.

MARENGO, J. A., *et al.* "Previsão de vazões de longo prazo na bacia do rio São Francisco I: Previsão da precipitação", **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 12 p., 2005.

MARQUES, É. T., GUNKEL, G., SOBRAL, M. C. "Management of tropical river basins and reservoirs under water stress: Experiences from northeast Brazil", **Environments**, [S.L.], v. 6, n. 6, 2019. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/environments6060062>.

MEDEIROS, L. de C., MATTOS, A., LÜRLING, M., *et al.* "Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake", **Aquatic Ecology**, [S.L.], v. 49, n. 3, p. 293–307, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-015-9524-5>.

MEIRELES, A. C. M., FRISCHKORN, H., ANDRADE, E. M. "Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no semi-Árido cearense", **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 25–31, 2007.

MELO, A. D. **Operação de reservatórios no semiárido considerando critérios de qualidade de água**. 2005. 102 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

MENICONI, S., BRUNONE, B., FERRANTE, M., *et al.* "Energy dissipation and pressure decay during transients in viscoelastic pipes with an in-line valve", **Journal of Fluids and Structures**, [S.L.], v. 45, p. 235–249, 2014. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2013.12.013>.

MENICONI, S., BRUNONE, B., FERRANTE, M. "Water-hammer pressure waves interaction at cross-section changes in series in viscoelastic pipes", **Journal of Fluids and Structures**, [S.L.], v. 33, p. 44–58, 2012. Elsevier BV. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2012.05.007>.

MENTER, F. R. "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications", **AIAA Journal**, [S.L.], v. 32, n. 8, p. 1598–1605, 1994. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2514/3.12149>.

MESQUITA, J. B. de F., LIMA NETO, I. E., RAABE, A., *et al.* "The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake", **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 590, n. June, p. 125456, 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125456>.

MI, C., *et al.* "Controlling blooms of *Planktothrix rubescens* by optimized metalimnetic water withdrawal: a modelling study on adaptive reservoir operation", **Research Square**, [S.L.], 2022. Research Square Platform LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-1752651/v1>.

MI, C., SADEGHIAN, A., LINDENSCHMIDT, K. E., *et al.* "Variable withdrawal elevations as a management tool to counter the effects of climate warming in Germany's largest drinking water reservoir", **Environmental Sciences Europe**, [S.L.], v. 31, n. 1, 2019. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0202-4>.

MOHAMMAD, M. E., AL-ANSARI, N., KNUTSSON, S., *et al.* "A numerical study of pumping effects on flow velocity distributions in Mosul Dam reservoir using the HEC-RAS model", **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 72–83, 2020. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/lre.12306>.

MOLISANI, M., BECKER, H., BARROSO, H., *et al.* "The influence of castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral Jaguaribe river (CE, Brazil)", **Brazilian Journal of Biology**, [S.L.], v. 73, n. 1, p. 115–123, 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-69842013000100013>.

MOLISANI, M. M., BARROSO, H. de S., BECKER, H., *et al.* "Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão Reservoir, CE, Brazil", **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.L.], v. 22, n. 01, p. 1–12, 2010. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/actalb.02201001>.

MOLISANI, M. M., DO MONTE, T. M., VASCONCELLOS, G. H., *et al.* "Relative effects of nutrient emission from intensive cage aquaculture on the semiarid reservoir water quality", **Environmental Monitoring and Assessment**, [S.L.], v. 187, n. 11, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4925-4>.

MOURA, D. S., LIMA NETO, I. E., CLEMENTE, A., *et al.* "Modeling phosphorus exchange between bottom sediment and water in tropical semiarid reservoirs", **Chemosphere**, [S.L.], v. 246, 2019. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125686>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Christopher Rumsey. **Turbulence Modeling Resource: The Menter Shear Stress Transport Turbulence Model**. 2021. Disponível em: <https://turbmodels.larc.nasa.gov/sst.html>. Acesso

em: 06 abr. 2022.

NASCIMENTO FILHO, S. L., FRANÇA, E. J., MELO JÚNIOR, M., *et al.* "Interactions between benthic microalgae, nutrients and benthic macroinvertebrates in reservoirs from the semi-arid neotropical region", **Fundamental and Applied Limnology**, [S.L.], v. 192, n. 3, p. 237–254, 2019. Schweizerbart. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2019/1180>.

NASROLLAHI, A., SALEHI NEYSHABOURI, A. A., AHMADI, G., *et al.* "Numerical simulation of incipient particle motion", **International Journal of Sediment Research**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 1–14, 2019. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsrc.2019.07.006>.

NÜRNBERG, G. K. "Hypolimnetic withdrawal as a lake restoration technique: determination of feasibility and continued benefits", **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 847, n. 21, p. 4487–4501, 2019. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-019-04094-z>.

OLDEN, J. D., NAIMAN, R. J. "Incorporating thermal regimes into environmental flows assessments: Modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity", **Freshwater Biology**, [S.L.], v. 55, n. 1, p. 86–107, 2010. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02179.x>.

OLIVEIRA, K. F., LACERDA, L. D., PERES, T. F., *et al.* "Emission factor and balance of mercury in fish farms in an artificial reservoir in NE Brazil", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 22, n. 22, p. 18278–18287, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-5102-6>.

OLIVER, S. L., RIBEIRO, H. "Variabilidade climática e qualidade da água do Reservatório Guarapiranga", **Estudos Avancados**, [S.L.], v. 28, n. 82, p. 95–128, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300007>.

OVERMAN, C., WELLS, S. "Modeling Cyanobacteria Vertical Migration", **Water (Switzerland)**, v. 14, n. 6, 2022. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w14060953>.

PACHECO, C. H. A., LIMA NETO, I. E. "Effect of Artificial Circulation on the Removal Kinetics of Cyanobacteria in a Hypereutrophic Shallow Lake", **Journal of Environmental Engineering**, [S.L.], v. 143, n. 12, p. 1–8, 2017. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001289](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001289).

PAPANICOLAOU, A. N. T., ELHAKEEM, M., PRAKASH, S., *et al.* "Sediment Transport Modeling Review — Current and", **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 134, n. 1, p. 1–14, 2008.

PEIXOTO, R. A. O. **Estudo do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jordão**. 2019. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

PERELLO, M. M., KANE, D. D., GOLNICK, P., *et al.* "Effects of local weather variation on water-column stratification and hypoxia in the western, sandusky, and central basins of lake

erie", **Water**, [S.L.], v. 9, n. 4, 2017. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w9040279>.

PESTANA, C. J., CAPELO-NETO, J., LAWTON, L., *et al.* "The effect of water treatment unit processes on cyanobacterial trichome integrity", **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 659, p. 1403–1414, 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.337>.

POLITANO, M., HAQUE, M. M., WEBER, L. J. "A numerical study of the temperature dynamics at McNary Dam", **Ecological Modelling**, [S.L.], v. 212, n. 3–4, p. 408–421, 2008. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.10.040>.

POLITANO, M., MARTIN, J. E., LYONS, T., *et al.* "Numerical modelling of the hydrodynamics and sediment transport near the water intake of the Cardinal power plant", **Journal of Hydraulic Research**, [S.L.], v. 58, n. 5, p. 859–866, 2019. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00221686.2019.1684393>.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

PONTES FILHO, J. D., SOUZA FILHO, F. de A., MARTINS, E. S. P. R., *et al.* "Copula-based multivariate frequency analysis of the 2012–2018 Drought in Northeast Brazil", **Water**, [S.L.], v. 12, n. 3, 2020. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w12030834>.

QIAO, L. L., WANG, Y. Z., LI, G. X., *et al.* "Distribution of suspended particulate matter in the northern Bohai Bay in summer and its relation with thermocline", **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.L.], v. 93, n. 3, p. 212–219, 2011. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2010.10.027>.

QIN, B., HU, W., GAO, G., *et al.* "Dynamics of sediment resuspension and the conceptual schema of nutrient release in the large shallow Lake Taihu, China", **Chinese Science Bulletin**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 54–64, 2004. Science China Press. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1360/03wd0174>.

RABELO, U. P., LIMA NETO, I. E. "Efeito de secas prolongadas nos recursos hídricos de uma região semiárida: uma análise comparativa para o Ceará", **Revista DAE**, [S.L.], v. 66, n. 212, p. 61–79, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2018.023>.

RABELO, U. P., *et al.* "Representing a dense network of ponds and reservoirs in a semi-distributed dryland catchment model", **Journal of Hydrology**, v. 603, 2021.

RAULINO, J. B. S., SILVEIRA, C. S., LIMA NETO, I. E. "Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality of large semi-arid reservoirs in Brazil", **Hydrological Sciences Journal**, [S.L.], v. 66, n. 8, p. 1321–1336, 2021. Informa UK Limited. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1933491>.

RIASI, A., RAISEE, M., NOURBAKHS, A. "Simulation of transient flow in hydroelectric power plants using unsteady friction", **Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering**, v. 56, n. 6, p. 377–384, 2010.

RIGOSI, A., RUEDA, F. J. "Hydraulic control of short-term successional changes in the phytoplankton assemblage in stratified reservoirs", **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 44, p. 216–226, 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.012>.

ROCHA, M. de J. D., LIMA NETO, I. E. "Internal phosphorus loading and its driving factors in the dry period of Brazilian semiarid reservoirs", **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 312, n. November 2021, p. 114983, 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114983>.

ROCHA, M. de J. D., LIMA NETO, I. E. "Modeling flow-related phosphorus inputs to tropical semiarid reservoirs", **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 295, n. June, p. 113123, 2021a. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113123>.

ROCHA, M. de J. D., LIMA NETO, I. E. "Phosphorus mass balance and input load estimation from the wet and dry periods in tropical semiarid reservoirs", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 29, n. 7, p. 10027–10046, 2021b. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-16251-w>.

ROCHA, S. M. G. **Assessment of the spatial distribution of lake evaporation with 3D hydrodynamic modeling**. 2022. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

ROCHA, S. M. G., MESQUITA, J. B. de F., LIMA NETO, I. E. "Análise e Modelagem Das Relações Entre Nutrientes e Fitoplâncton Em Reservatórios Do Ceará", **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [S.L.], n. 54, p. 134–147, 2019. Zeppelini Editorial e Comunicação. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5327/z2176-947820190536>.

RUETHER, N., SINGH, J. M., OLSEN, N. R. B., *et al.* "3-D computation of sediment transport at water intakes", **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management**, [S.L.], v. 158, n. 1, p. 1–8, 2005. Thomas Telford Ltda. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1680/wama.158.1.1.62452>.

SAADATPOUR, M., JAVAHERI, S., AFSHAR, A., *et al.* "Optimization of selective withdrawal systems in hydropower reservoir considering water quality and quantity aspects", **Expert Systems with Applications**, [S.L.], v. 184, n. May, p. 115474, 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115474>.

SACRAMENTO, E. M., CARVALHO, P. C. M., DE ARAÚJO, J. C., *et al.* "Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs", **IET Renewable Power Generation**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 1019–1024, 2015. Institution of Engineering and Technology (IET). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0120>.

SANTOS, Janaína Andrade dos, DE OLIVEIRA, K. F., DA SILVA ARAÚJO, I. C., *et al.* "Phosphorus partitioning in sediments from a tropical reservoir during a strong period of drought", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 23, n. 23, p. 24237–24247, 2016. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-7629-6>.

SANTOS, Janaína A., MARINS, R. V., AGUIAR, J. E., *et al.* "Hydrochemistry and trophic state change in a large reservoir in the Brazilian northeast region under intense drought conditions", **Journal of Limnology**, [S.L.], v. 76, n. 1, p. 41–51, 2017. PAGEPress Publications. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1433>.

SHAMLOO, H., MOUSAVIFARD, M. "Numerical simulation of turbulent pipe flow for water hammer", **Journal of Fluids Engineering**, [S.L.], v. 137, n. 11, p. 1–10, 2015. ASME International. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1115/1.4030806>.

SHAMMAA, Y., ZHU, D. Z. "Experimental Study on Selective Withdrawal in a Two-Layer Reservoir Using a Temperature-Control Curtain", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 136, n. 4, p. 234–246, 2010. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000165](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000165).

SHAMMAA, Y., ZHU, D. Z., RAJARATNAM, N. "Flow Field in a Rectangular Basin with a Line Inlet and a Circular Outlet", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 135, n. 10, p. 857–864, 2009. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000072](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000072).

SHAMMAA, Y., ZHU, D. Z., RAJARATNAM, N. "Flow Upstream of Orifices and Sluice Gates", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 131, n. 2, p. 127–133, 2005. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2005\)131:2\(127\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2005)131:2(127)).

SHERMAN, B., *et al.* "Modelling the impact and potential mitigation of cold water pollution on Murray cod populations downstream of Hume Dam, Australia", **River research and applications**, v. 23, p. 377–389, 2007.

SILVA, T. F. das G., VINÇON-LEITE, B., GIANI, A., *et al.* "Modelagem da Lagoa da Pampulha: Uma ferramenta para avaliar o impacto da bacia hidrográfica na dinâmica do fitoplâncton", **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 95–108, 2016. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41520201600100125692>.

SILVA, U. P. A. **Análise da importância da gestão participativa dos recursos hídricos no Ceará: um estudo de caso**. 2004. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

SIRUNDA, J., OBERHOLSTER, P., WOLFAARDT, G., *et al.* "The assessment of phytoplankton dynamics in two reservoirs in southern africa with special reference to water abstraction for inter-basin transfers and potable water production", **Water**, [S.L.], v. 13, n. 21, 2021. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w13213045>.

SNORTHEIM, C. A., HANSON, P. C., MCMAHON, K. D., *et al.* "Meteorological drivers of hypolimnetic anoxia in a eutrophic, north temperate lake", **Ecological Modelling**, [S.L.], v. 343, p. 39–53, 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.10.014>.

SOARES, A. K., COVAS, D. I., REIS, L. F. "Analysis of PVC Pipe-Wall Viscoelasticity

during Water Hammer", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 134, n. 9, p. 1389–1394, 2008. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2008\)134:9\(1389\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2008)134:9(1389)).

SOARES, L. M. V., SILVA, T. F. das G., VINÇON-LEITE, B., *et al.* "Modelling drought impacts on the hydrodynamics of a tropical water supply reservoir", **Inland Waters**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 422–437, 2019. Informa UK Limited. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20442041.2019.1596015>.

SØNDERGAARD, M., BJERRING, R., JEPPESEN, E. "Persistent internal phosphorus loading during summer in shallow eutrophic lakes", **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 710, n. 1, p. 95–107, 2013. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-012-1091-3>.

SOUZA FILHO, F. de A. de, MARTINS, E. S. P. R., PORTO, M. "O Processo de Mistura em Reservatórios do Semi-Árido e sua Implicação na Qualidade da Água", **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 109–119, 2006. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n4.p109-119>.

SUMER, B. M., CHUA, L. H. C., CHENG, N.-S., *et al.* "Influence of Turbulence on Bed Load Sediment Transport", **Journal of Hydraulic Engineering**, [S.L.], v. 129, n. 8, p. 585–596, 2003. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2003\)129:8\(585\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2003)129:8(585)).

SUN, X., ZHU, G., LUO, L., *et al.* "Experimental study on phosphorus release from sediments of shallow lake in wave flume", **Science in China, Series D: Earth Sciences**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 92–101, 2006. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11430-006-8109-5>.

TAMBURRINO, A., TRASLAVIÑA, C. "Condition for the incipient motion of non-cohesive particles due to laminar flows of power-law fluids in closed conduits", **Water**, [S.L.], v. 12, n. 5, 2020. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/W12051295>.

TEIXEIRA, F. J. C. **Modelos de gerenciamento de recursos hídricos: Análises e propostas de aperfeiçoamento do sistema do Ceará**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004.

THIBODEAUX, L. J., MACKAY, D. **Handbook of chemical mass transport in the environment**. New York: Taylor & Francis, 2011.

TONÉ, A. J. A., PACHECO, C. H. A., LIMA NETO, I. E. "Circulation induced by diffused aeration in a shallow lake", **Water SA**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 36–41, 2017. Academy of Science of South Africa. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v43i1.06>.

TONÉ, A., LIMA NETO, I. "Modelagem simplificada do fósforo total em lagos e reservatórios brasileiros", **Revista DAE**, [S.L.], v. 221, n. 68, p. 142–156, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2020.012>.

TRIVEDI, C., CERVANTES, M. J., DAHLHAUG, O. G. "Numerical Techniques Applied to Hydraulic Turbines: A Perspective Review", **Applied Mechanics Reviews**, [S.L.], v. 68, n. 1, p. 1–18, 2016. ASME International. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1115/1.4032681>.

TU, J., YEOH, G.-H., e LIU, C. **CFD Solution Analysis: Essentials**. [S.L.], p 211–253. 2018. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-101127-0.00006-4>.

UNIVERSIDADE POLITÉCNICA DE VALÊNCIA. **Manual técnico Allievi**. Valência: ITA, 2010.

VISSER, P. M., IBELINGS, B. W., BORMANS, M., *et al.* "Artificial mixing to control cyanobacterial blooms: a review", **Aquatic Ecology**, [S.L.], v. 50, n. 3, p. 423–441, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-015-9537-0>.

VISSER, P. M., PASSARGE, J., MUR, L. R. "Modelling vertical migration of the cyanobacterium *Microcystis*", **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 349, n. 1–3, p. 99–109, 1997. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1023/a:1003001713560>.

WAN MOHTAR, W. H.M., MUNRO, R. J. "Threshold criteria for incipient sediment motion on an inclined bedform in the presence of oscillating-grid turbulence", **Physics of Fluids**, [S.L.], v. 25, n. 1, 2013. AIP Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4774341>.

WAN MOHTAR, Wan Hanna Melini, LEE, J. W., MOHAMMAD AZHA, N. I., *et al.* "Incipient sediment motion based on turbulent fluctuations", **International Journal of Sediment Research**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 125–133, 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2019.10.008>.

WAN, W., ZHANG, B., CHEN, X. "Investigation on water hammer control of centrifugal pumps in water supply pipeline systems", **Energies**, [S.L.], v. 12, n. 1, 2018. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/en12010108>.

WANG, C., NILSSON, H., YANG, J., *et al.* "1D–3D coupling for hydraulic system transient simulations", **Computer Physics Communications**, [S.L.], v. 210, p. 1–9, 2016. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpc.2016.09.007>.

WANG, J., PANG, Y., LI, Y., *et al.* "Experimental study of wind-induced sediment suspension and nutrient release in Meiliang Bay of Lake Taihu, China", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 22, n. 14, p. 10471–10479, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4247-7>.

WEBER, M., RINKE, K., HIPSEY, M. R., *et al.* "Optimizing withdrawal from drinking water reservoirs to reduce downstream temperature pollution and reservoir hypoxia", **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 197, p. 96–105, 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.020>.

WIEGAND, M. C., DO NASCIMENTO, A. T. P., COSTA, A. C., *et al.* "Trophic state changes of semi-arid reservoirs as a function of the hydro-climatic variability", **Journal of Arid Environments**, [S.L.], v. 184, 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104321>.

WORLD BANK. **Water quality problems and strategies for reservoirs in the state of**

Ceará, Brazil. Final Report. Brasília, 2018.

WU, T. feng, QIN, B. qiang, ZHU, G. wei, *et al.* "Modeling of turbidity dynamics caused by wind-induced waves and current in the Taihu Lake", **International Journal of Sediment Research**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 139–148, 2013. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6279\(13\)60026-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6279(13)60026-8).

WYLIE, B., STREETER, V. **Fluid Transients**. New York: McGraw-Hill, 1985.
XU, H., PAERL, H. W., QIN, B., *et al.* "Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China", **Limnology and Oceanography**, [S.L.], v. 55, n. 1, p. 420–432, 2010. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4319/lo.2010.55.1.0420>.

YANG, J. Q., CHUNG, H., NEPF, H. M. "The onset of sediment transport in vegetated channels predicted by turbulent kinetic energy", **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 43, n. 21, p. 11,261-11,268, 2016. American Geophysical Union (AGU). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/2016GL071092>.

YANG, X., TUO, Y., YANG, Y., *et al.* "Study on the effect of front retaining walls on the thermal structure and outflow temperature of reservoirs", **PLoS ONE**, [S.L.], v. 16, n. 12 December, p. 1–18, 2021. Public Library of Science (PLoS). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0260779>.

YOU, B. S, ZHONG, J. C, FAN, C. X, *et al.* "Effects of hydrodynamics processes on phosphorus fluxes from sediment in large, shallow Taihu Lake", **Journal of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 19, n. 9, p. 1055–1060, 2007. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60172-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60172-7).

ZANKE, U. C. E. "On the influence of turbulence on the initiation of sediment motion", **International Journal of Sediment Research**, p. 17–31, 2003.

ZHANG, F., ZHANG, H., BERTONE, E., *et al.* "Numerical study of the thermal structure of a stratified temperate monomictic drinking water reservoir", **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [S.L.], v. 30, p. 100699, 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100699>.

ZHANG, M., LIN, Q. Q., XIAO, L. J., *et al.* "Effect of intensive epilimnetic withdrawal on the phytoplankton in a (sub)tropical deep reservoir", **Journal of Limnology**, [S.L.], v. 72, n. 3, p. 430–439, 2013. PAGEPress Publications. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4081/jlimnol.2013.e35>.

ZHANG, R., JIANG, D., ZHANG, L., *et al.* "Distribution of nutrients, heavy metals, and PAHs affected by sediment dredging in the Wujin'gang River basin flowing into Meiliang Bay of Lake Taihu", **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 2141–2153, 2014. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-013-2123-x>.

ZHANG, X. X., CHENG, Y. G. "Simulation of hydraulic transients in hydropower systems using the 1-D-3-D coupling approach", **Journal of Hydrodynamics**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 595–604, 2012. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em:

[http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6058\(11\)60282-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6058(11)60282-5).

ZHANG, Y., WU, Z., LIU, M., *et al.* "Dissolved oxygen stratification and response to thermal structure and long-term climate change in a large and deep subtropical reservoir (Lake Qiandaohu, China)", **Water Research**, [S.L.], v. 75, p. 249–258, 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.052>.

ZHENG, T., SUN, S., LIU, H., *et al.* "Optimal control of reservoir release temperature through selective withdrawal intake at hydropower dam", **Water Science and Technology: Water Supply**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 279–299, 2017. IWA Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2016.133>.

ZHONG, Y., SU, Y., ZHANG, D., *et al.* "The spatiotemporal variations in microalgae communities in vertical waters of a subtropical reservoir", **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 317, n. December 2021, p. 115379, 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115379>.

ZHOU, Y., *et al.* "Response of suspended solids and dissolved nutrients in littoral zone of Lake Taihu under wind-wave disturbances". **J. Lake Sci.**, [S.L.], v.30, n.4, p. 948-956. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18307/2018.0408>.

ZHU, H. W., CHENG, P. D., LI, W., *et al.* "Empirical model for estimating vertical concentration profiles of re-suspended, sediment-associated contaminants", **Acta Mechanica Sinica/Lixue Xuebao**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 846–854, 2017. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10409-017-0650-2>.

ZOUABI-ALOUI, B., ADELANA, S. M., GUEDDARI, M. "Effects of selective withdrawal on hydrodynamics and water quality of a thermally stratified reservoir in the southern side of the Mediterranean Sea: a simulation approach", **Environmental Monitoring and Assessment**, [S.L.], v. 187, n. 5, 2015. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4509-3>.

ANEXO A – ENSAIOS DE SEDIMENTO

RELATÓRIO DE ENSAIO - Nº 050/ 2021

NATUREZA DO TRABALHO: Determinação da granulometria, plasticidade, densidade real e massa específica.

MATERIAL: 02 (duas) amostras de solo

INTERESSADO: COGERH

1. METODOLOGIA DOS ENSAIOS EMPREGADA

1.1 Ensaio de Granulometria

Este ensaio tem por objetivo a determinação da distribuição granulométrica dos grãos de solo. Os procedimentos de ensaio e cálculos foram feitos de acordo com as prescrições da norma NBR 7181/1984 – Solo – Análise Granulométrica.

1.2 Índice de Plasticidade

Este ensaio tem por finalidade a determinação do Índice de Plasticidade e juntamente com o Limite de Liquidez determinar o Índice de Plasticidade. Os procedimentos de ensaio e cálculos foram feitos de acordo com as prescrições da norma NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez e NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

1.3 Densidade Real

Este ensaio tem por objetivo a determinação da densidade real dos grãos de solo. Os procedimentos de ensaio e cálculos foram feitos de acordo com as prescrições da norma DNER ME 093/94 – Solos – Determinação da densidade real.

1.4 Massa Específica

Este ensaio tem por objetivo a determinação da massa específica do solo.

2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 Ensaio de granulometria

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a distribuição granulométrica das amostras ensaiadas. A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados obtidos nos ensaios de granulometria

realizados nas amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de granulometria encontra-se apresentada no Anexo 1.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica das amostras ensaiadas

AM	PERCENTAGEM QUE PASSA								
	Aberturas								
	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 30	Nº. 40	Nº 50	Nº. 100	Nº 200	< 0,002
CTN 20	100	100	100	95	93	92	90	86	43
CTN 24	100	100	100	99	97	96	94	85	33

Tabela 2 – Resumo dos resultados dos ensaios de granulometria realizados

AM	Fração					
	% Pedregulho	% Areia Grossa	% Areia Média	% Areia Fina	% Silte	%Argila
CTN 20	0	0	7	21	29	43
CTN 24	0	0	3	48	16	33

2.2 Ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade

A Tabela apresenta os resultados dos índices de consistência das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade encontra-se apresentada no Anexo 2.

Tabela 3 – Limites de consistência das amostras ensaiadas

AM	LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	LIMITE DE PLASTICIDADE (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)
CTN 20	52	40	12
CTN 24	51	44	7

2.3 Ensaios de Umidade

A Tabela 5 apresenta os resultados das umidades naturais das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de umidade natural encontra-se apresentada no Anexo 4.

Tabela 4 – Umidade das amostras ensaiadas

AM	UMIDADE NATURAL (%)
CTN 20	52
CTN 24	51

2.4 Ensaio de Densidade Real

A Tabela 4 apresenta os resultados das densidades real das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de densidade real encontra-se apresentada no Anexo 4.

Tabela 4 – Densidade real

AM	DENSIDADE REAL
CTN 20	2,42
CTN 24	2,28

2.5 Ensaio de Massa Específica

A Tabela 5 apresenta os resultados das massas específicas das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios da massa específica encontram-se apresentados no Anexo 5.

Tabela 5 – Massa Específica

AM	MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm ³)
CTN 20	1,227
CTN 24	1,144

3. PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: Amostras fornecidas pelo interessado. Açude Castanhão.

4. DATA DA REALIZAÇÃO DESTES ENSAIOS: 25 a 30/11/2021

5. OBS: Os resultados apresentados, neste documento têm significação restrita e aplicam-se tão somente às amostras ensaiadas.

Fortaleza, 30 de novembro de 2021

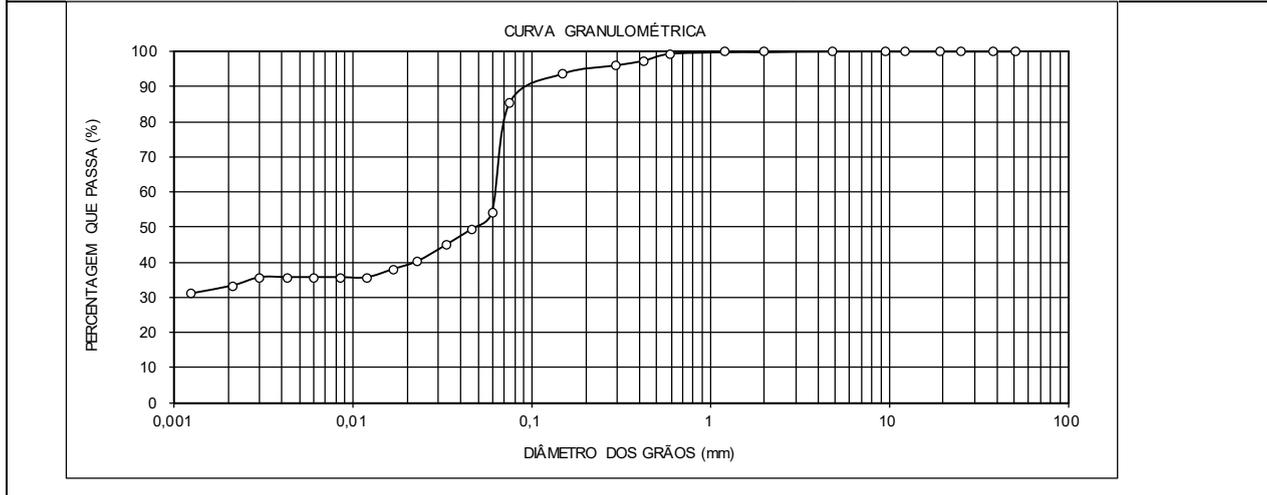
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO				AMOSTRA	CTN-24
Com dispersor e Com defloculante					
UMIDADE DA SEDIMENTAÇÃO			RESUMO DA SEDIMENTAÇÃO (%)		
CAPSULA No.	1	PEDREGULHO	ACIMA DE 4,8	mm	0
PESO BRUTO UMIDO(g)	71,95	AREIA GROSSA	4,8 - 2,00	mm	0
PESO BRUTO SECO(g)	71,42	AREIA MÉDIA	2,00 - 0,42	mm	3
PESO DA CAPSULA(g)	22,35	AREIA FINA	0,42 - 0,05	mm	48
PESO DA AGUA(g)	0,53	SILTE	0,05 - 0,002	mm	16
PESO DO SOLO SECO(g)	49,07	ARGILA	ABAIXO DE 0,002	mm	33
UMIDADE(%)	1,08	ARGILA COLOIDAL	ABAIXO DE 0,001	mm	xxx

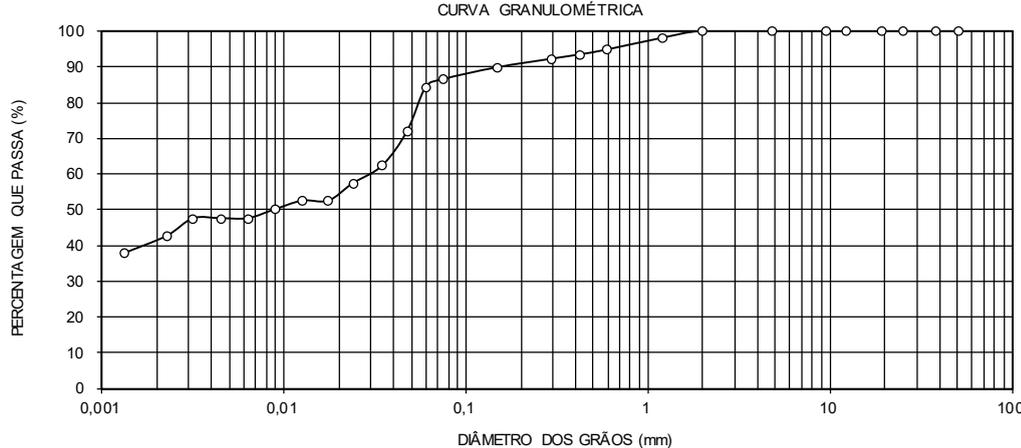
AMOSTRA SECA		PENEIRA		PESO(g)	PESO(g)	% PASSA	
	AM.TOTAL	AM.PARC.	POLEG.	mm	RETIDO	PASSA	AM. TOTAL
CAPSULA No.	1	2	2"	50,8	0,00	458,68	100
PESO SOLO UMIDO(g)	463,63	70,00	1 1/2"	38,1	0,00	458,68	100
PESO PEDREG(g)	0,8		1"	25,4	0,00	458,68	100
P.S.MIUDO UMIDO(g)	462,83	-	3/4"	19,1	0,00	458,68	100
P.S. MIUDO SECO(g)	457,88	-	1/2"	12,27	0,00	458,68	100
P. AMOSTRA SECA(g)	458,68	69,25	3/8"	9,52	0,00	458,68	100
CTE. DO FATOR K	-	2,310	No. 4	4,76	0,00	458,68	100
DENSIDADE A 20 °C	2,66		No. 10	2,00	0,80	457,88	100

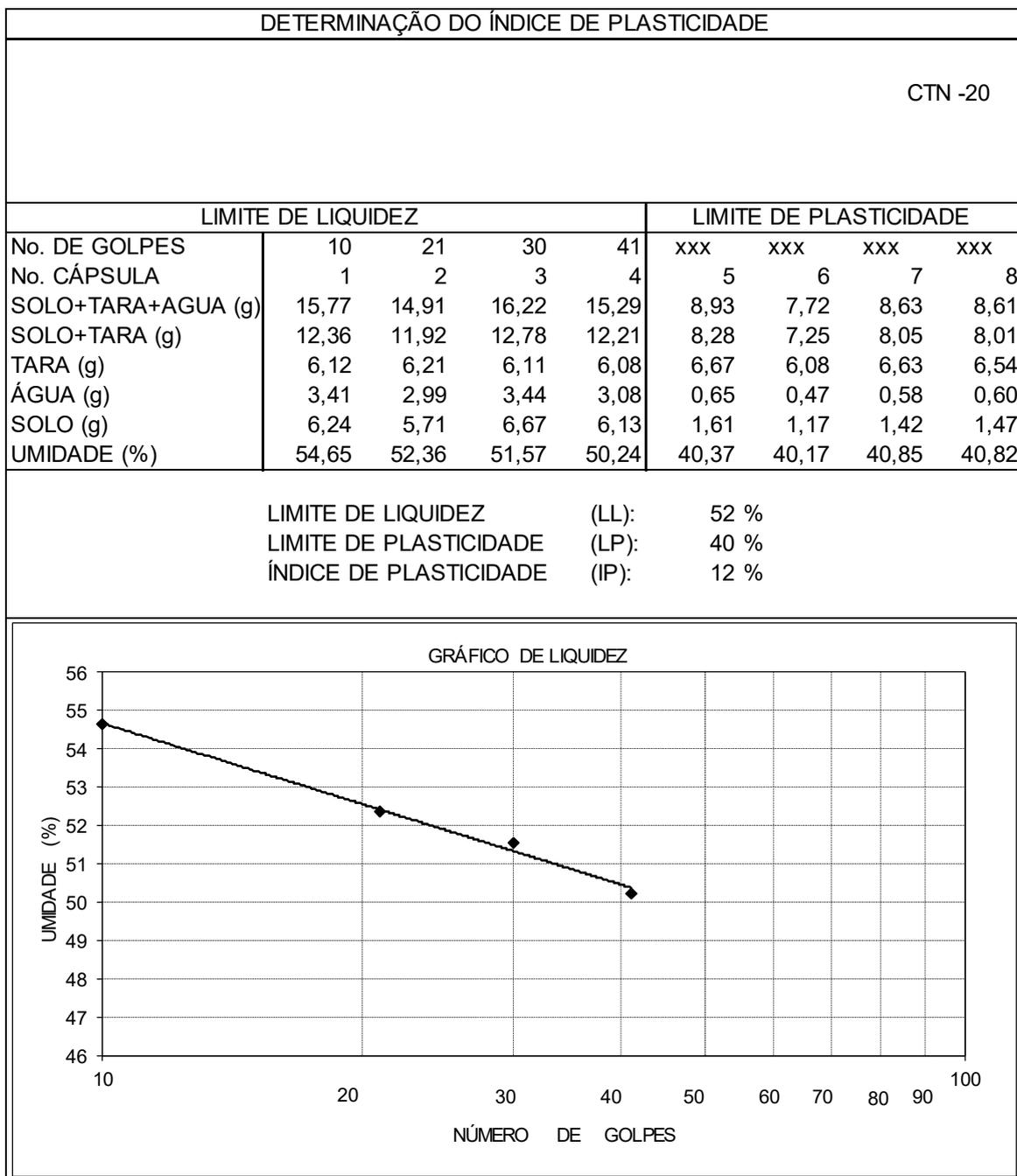
PENEIRAMENTO DO SOLO MIUDO					
	PENEIRA	PESO(g)	PESO(g)	% PASSA	
	POLEGADA	mm	RETIDO	PASSA	
	mm	mm	AM. TOTAL	AM. TOTAL	
	No. 16	1,19	0,00	69,25	100
	No. 30	0,590	0,37	68,88	99
	No. 40	0,420	1,38	67,50	97
	No. 50	0,297	0,84	66,66	96
	No. 100	0,149	1,68	64,98	94
	No. 200	0,075	5,84	59,14	85

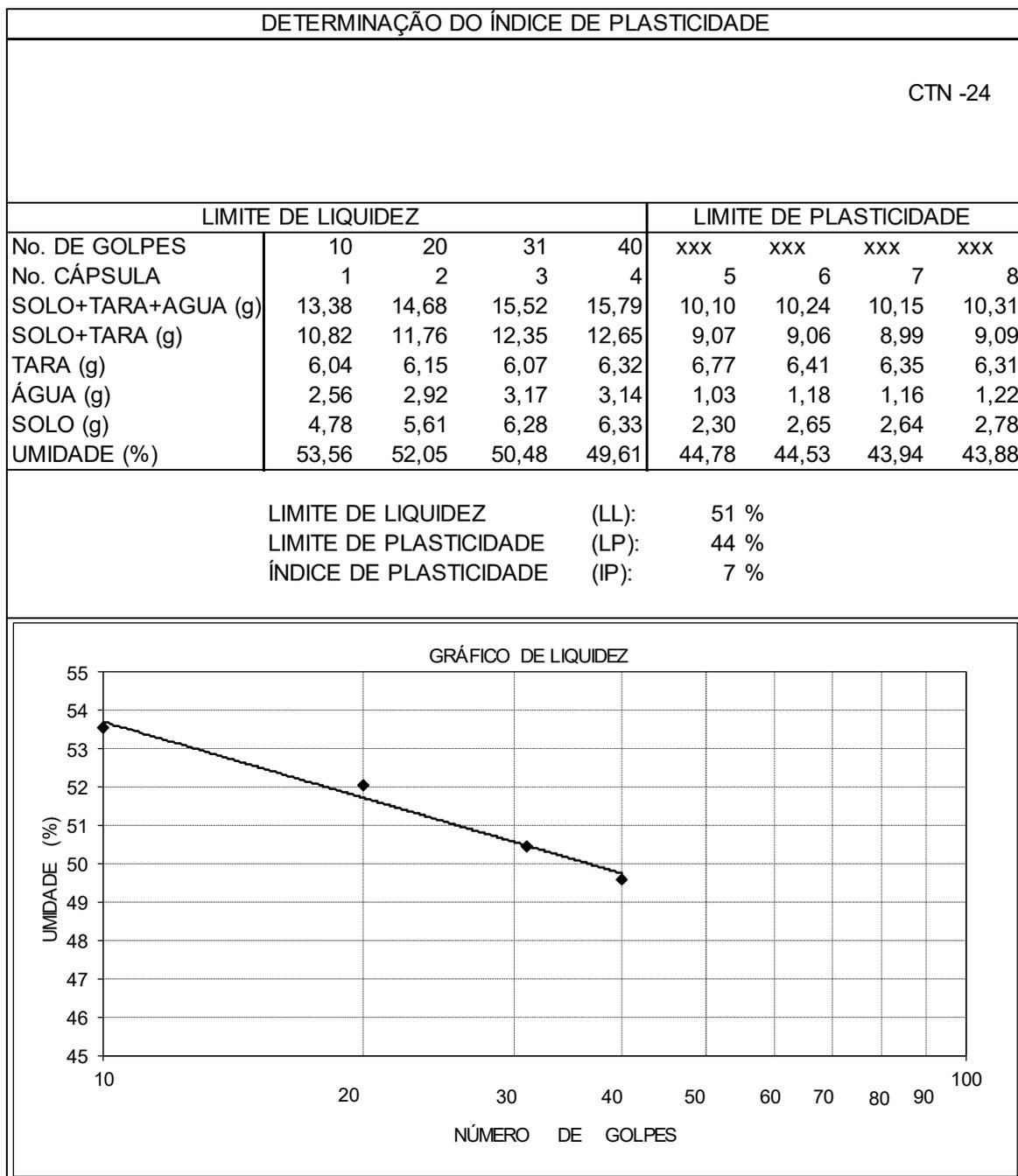
DENSIMETRO No.: 1				PROVETA No.: 1				
TEMPO	LEITURA	TEMPERAT.	CORREC.	LEITURA	ALT. DE	LEIT.	"d" DOS	% <d AM.
DECORRIDO	(L)	(o C)	MEIO	CORRIGIDA	QUEDA	COR.	GRAOS	TOTAL(Q)
s			DISPERSOR	(cm)	(cm)	FINAL	(mm)	
35	24,00	27,00	1,80	22,20	13,85	23,40	0,0598	54
60	22,00	27,00	1,80	20,20	14,19	21,40	0,0462	49
120	20,00	27,00	1,80	18,20	14,54	19,40	0,0331	45
240	18,00	27,00	1,80	16,20	13,97	17,40	0,0229	40
460	17,00	27,00	1,80	15,20	14,14	16,40	0,0167	38
900	16,00	27,00	1,80	14,20	14,32	15,40	0,0120	36
1800	16,00	27,00	1,80	14,20	14,32	15,40	0,0085	36
3600	16,00	27,00	1,80	14,20	14,32	15,40	0,0060	36
7200	16,00	27,00	1,80	14,20	14,32	15,40	0,0042	36
14400	16,00	27,00	1,80	14,20	14,32	15,40	0,0030	36
28800	15,00	27,00	1,80	13,20	14,49	14,40	0,0021	33
86400	14,00	27,00	1,80	12,20	14,66	13,40	0,0012	31



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO						AMOSTRA	CTN-20	
Com dispersor e Com defloculante								
UMIDADE DA SEDIMENTAÇÃO				RESUMO DA SEDIMENTAÇÃO (%)				
CAPSULA No.	1			PEDREGULHO	ACIMA DE 4,8 mm		0	
PESO BRUTO UMIDO(g)	74,35			AREIA GROSSA	4,8 - 2,00 mm		0	
PESO BRUTO SECO(g)	73,99			AREIA MÉDIA	2,00 - 0,42 mm		7	
PESO DA CAPSULA(g)	21,57			AREIA FINA	0,42 - 0,05 mm		21	
PESO DA AGUA(g)	0,36			SILTE	0,074 - 0,002 mm		29	
PESO DO SOLO SECO(g)	52,42			ARGILA	ABAIXO DE 0,002 mm		43	
UMIDADE(%)	0,69			ARGILA COLOIDAL	ABAIXO DE 0,001 mm		xxx	
AMOSTRA SECA								
	AM.TOTAL	AM.PARC.		PENEIRA	PESO(g)	PESO(g)	% PASSA	
				POLEG.	RETIDO	PASSA	AM. TOTAL	
				mm				
CAPSULA No.	1	2		2"	50.8	0,00	181,00	
PESO SOLO UMIDO(g)	182,24	70,00		1 1/2"	38.1	0,00	181,00	
PESO PEDREG.(g)	0			1"	25.4	0,00	181,00	
P.S.MIUDO UMIDO(g)	182,24	-		3/4"	19.1	0,00	181,00	
P.S. MIUDO SECO(g)	181,00	-		1/2"	12.27	0,00	181,00	
P. AMOSTRA SECA(g)	181,00	69,52		3/8"	9.52	0,00	181,00	
CTE. DO FATOR K	-	2,451		No. 4	4.76	0,00	181,00	
DENSIDADE A 20 °C	-	2,42		No. 10	2.00	0,00	181,00	
PENEIRAMENTO DO SOLO MIUDO								
	PENEIRA			PESO(g)	PESO(g)	% PASSA		
	POLEGADA	mm	RETIDO	PASSA	AM. TOTAL			
	No. 16	1.19	1,37	68,15	98			
	No. 30	0.590	2,26	65,89	95			
	No. 40	0.420	0,99	64,90	93			
	No. 50	0.297	0,78	64,12	92			
	No. 100	0.149	1,66	62,46	90			
	No. 200	0.075	2,33	60,13	86			
DENSIMETRO No.: 1				PROVETA No.: 1				
TEMPO	LEITURA	TEMPERAT.	CORREC.	LEITURA	ALT. DE	LEIT.	"d" DOS	% <d AM.
DECORRIDO	(L)	(o C)	MEIO	CORRIGIDA	QUEDA	COR.	GRAOS	TOTAL(Q)
(s)			DISPERSOR		(cm)	FINAL	(mm)	
35	35,00	27,00	1,80	33,20	11,95	34,40	0,0601	84
60	30,00	27,00	1,80	28,20	12,81	29,40	0,0475	72
120	26,00	27,00	1,80	24,20	13,50	25,40	0,0345	62
240	24,00	27,00	1,80	22,20	12,93	23,40	0,0239	57
460	22,00	27,00	1,80	20,20	13,28	21,40	0,0175	52
900	22,00	27,00	1,80	20,20	13,28	21,40	0,0125	52
1800	21,00	27,00	1,80	19,20	13,45	20,40	0,0089	50
3600	20,00	27,00	1,80	18,20	13,63	19,40	0,0063	48
7200	20,00	27,00	1,80	18,20	13,63	19,40	0,0045	48
14400	20,00	27,00	1,80	18,20	13,63	19,40	0,0032	48
28800	18,00	27,00	1,80	16,20	13,97	17,40	0,0023	43
86400	16,00	27,00	1,80	14,20	14,32	15,40	0,0013	38
CURVA GRANULOMÉTRICA								
								





UMIDADE NATURAL				
AMOSTRA	CTN 20		CTN 24	
	01	02	03	04
CÁPSULA Nº	1	2	3	4
PESO BRUTO ÚMIDO (g):	90,32	137,42	63,42	134,54
PESO BRUTO SECO (g):	38,69	51,83	32,77	60,16
PESO DA CÁPSULA (g):	20,56	24,21	22,41	24,42
PESO DA ÁGUA (g):	51,63	85,59	30,65	74,38
PESO SOLO SECO (g):	18,13	27,62	10,36	35,74
UMIDADE %	284,78	309,88	295,85	208,11
UMIDADE %	297,33		251,98	

DENSIDADE DOS GRÃOS										
FURO	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	P4 (g)	$\bar{\delta}$	$\Delta\delta$	$\bar{\delta}$	T°	K ₂₀	$\bar{\delta} - 20^\circ$
CTN-20	29,93	40,22	86,70	80,65	2,427	0,008	2,423	29	0,9977	2,42
	28,95	39,28	84,94	78,88	2,419					
	29,23	39,59	85,44	79,70	2,242					
CTN-24	41,68	51,97	98,20	92,44	2,272	0,006	2,268	29	0,9977	2,28
	44,65	55,05	101,13	95,27	2,291					
	36,90	46,98	92,12	86,49	2,265					

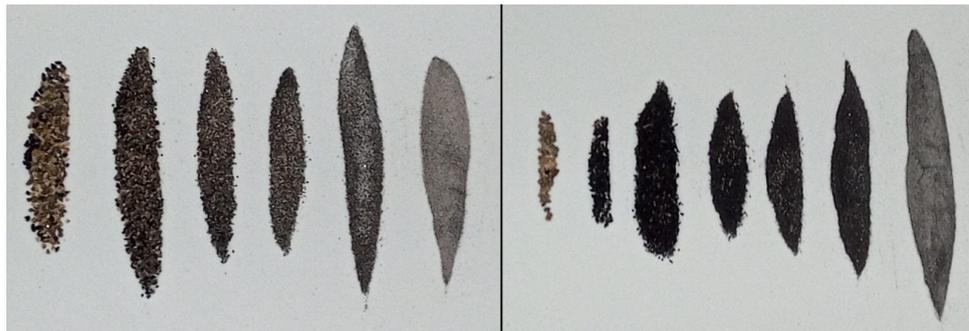
MASSA ESPECÍFICA APARENTE ÚMIDA (g/cm³)				
AMOSTRA	CTN 20		CTN 24	
PESO BRUTO ÚMIDO (g):	57,97	50,48	50,62	51,59
PESO DA CÁPSULA (g):	7,96	7,96	7,96	7,96
PESO ÚMIDO (g):	50,01	42,52	42,66	43,63
ÁREA	18,86	18,86	18,86	18,86
ALTURA	2	2	2	2
VOLUME	37,72	37,72	37,72	37,72
DENSIDADE ÚMIDA	1,326	1,127	1,131	1,157
DENS. ÚMIDA MÉDIA	1,227		1,144	

ANEXO 6 - REGISTRO FOTOGRÁFICO

1. AMOSTRAS COLETADAS



2. GRANULOMETRIA



CTN-20

CTN-24

3. DENSIDADE REAL



RELATÓRIO DE ENSAIO - Nº 01/ 2022

NATUREZA DO TRABALHO: Determinação da granulometria, plasticidade, densidade real e massa específica.

MATERIAL: 04 (quatro) amostras de solo

INTERESSADO: COGERH

1. METODOLOGIA DOS ENSAIOS EMPREGADA

1.1 Ensaio de Granulometria

Este ensaio tem por objetivo a determinação da distribuição granulométrica dos grãos de solo. Os procedimentos de ensaio e cálculos foram feitos de acordo com as prescrições da norma NBR 7181/1984 – Solo – Análise Granulométrica.

1.2 Índice de Plasticidade

Este ensaio tem por finalidade a determinação do Índice de Plasticidade e juntamente com o Limite de Liquidez determinar o Índice de Plasticidade. Os procedimentos de ensaio e cálculos foram feitos de acordo com as prescrições da norma NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez e NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

1.3 Densidade Real

Este ensaio tem por objetivo a determinação da densidade real dos grãos de solo. Os procedimentos de ensaio e cálculos foram feitos de acordo com as prescrições da norma DNER ME 093/94 – Solos – Determinação da densidade real.

1.4 Massa Específica

Este ensaio tem por objetivo a determinação da massa específica do solo.

2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 Ensaio de granulometria

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a distribuição granulométrica das amostras ensaiadas. A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados obtidos nos ensaios de granulometria

realizados nas amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de granulometria encontra-se apresentada no Anexo 1.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica das amostras ensaiadas

AM	PERCENTAGEM QUE PASSA								
	Aberturas								
	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 30	Nº. 40	Nº 50	Nº. 100	Nº 200	< 0,002
CTN 08	100	100	100	99	98	97	87	67	30
CTN 100	100	100	100	99	100	100	98	85	16
CTN 200	100	100	99	90	83	76	49	28	9
CTN 300	100	100	100	98	97	96	94	90	40

Tabela 2 – Resumo dos resultados dos ensaios de granulometria realizados

AM	Fração					
	% Pedregulho	% Areia Grossa	% Areia Média	% Areia Fina	% Silte	% Argila
CTN 08	0	0	1	55	14	30
CTN 100	0	0	0	50	34	16
CTN 200	0	1	16	68	7	9
CTN 300	0	0	3	30	27	40

2.2 Ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade

A Tabela apresenta os resultados dos índices de consistência das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade encontra-se apresentada no Anexo 2.

Tabela 3 – Limites de consistência das amostras ensaiadas

AM	LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	LIMITE DE PLASTICIDADE (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)
CTN 08	30	NP	NP
CTN 100	25	NP	NP

CTN 200	19	NP	NP
CTN 300	38	34	04

2.3 Ensaio de Umidade

A Tabela 4 apresenta os resultados das umidades naturais das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de umidade natural encontra-se apresentada no Anexo 4.

Tabela 4 – Umidade das amostras ensaiadas

AM	UMIDADE NATURAL (%)
CTN 08	198,30
CTN 100	41,36
CTN 200	31,75
CTN 300	555,31

2.4 Ensaio de Densidade Real

A Tabela 5 apresenta os resultados das densidades real das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios de densidade real encontra-se apresentada no Anexo 4.

Tabela 5 – Densidade real

AM	DENSIDADE REAL
CTN 08	2,56
CTN 100	2,65
CTN 200	2,62
CTN 300	2,44

2.5 Ensaio de Massa Específica

A Tabela 6 apresenta os resultados das massas específicas das amostras ensaiadas. A memória de cálculo dos ensaios da massa específica encontram-se apresentados no Anexo 5.

Tabela 6 – Massa Específica

AM	MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm ³)
CTN 08	1,198

CTN 100	1,739
CTN 200	1,871
CTN 300	1,085

3. PROCEDÊNCIA DAS AMOSTRAS: Amostras fornecidas pelo interessado. Açude Castanhão.

4. DATA DA REALIZAÇÃO DESTES ENSAIOS: 22/12/2021 a 02/01/2022

5. OBS: Os resultados apresentados, neste documento têm significação restrita e aplicam-se tão somente às amostras ensaiadas.

Fortaleza, 11 de janeiro de 2021

Francisco Chagas Filho
Doutor em Geotecnia

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO

ANEXO 1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO				FURO:	AMOSTRA:	CTN-08		
Com dispersor e Com defloculante								
						DEZ/2021		
UMIDADE DA SEDIMENTAÇÃO			RESUMO DA SEDIMENTAÇÃO (%)					
CAPSULA No.	1		PEDREGULHO	ACIMA DE 4,8 mm		0		
PESO BRUTO UMIDO(g)	50,00		AREIA GROSSA	4,8 - 2,00 mm		0		
PESO BRUTO SECO(g)	50,00		AREIA MÉDIA	2,00 - 0,42 mm		1		
PESO DA CAPSULA (g)	15,00		AREIA FINA	0,42 - 0,074 mm		55		
PESO DA AGUA(g)	0,00		SILTE	0,074 - 0,005 mm		14		
PESO DO SOLO SECO(g)	35		ARGILA	ABAIXO DE 0,002 mm		30		
UMIDADE(%)	0,00		ARGILA COLOIDAL	ABAIXO DE 0,001 mm		xxx		
AMOSTRA SECA								
	AM.TOTAL	AM.PARC.	PENEIRA		PESO(g)	PESO(g)		
			POLEG.	mm	RETIDO	PASSA		
						% PASSA		
CAPSULA No.	1	2	2"	50,80	0,00	746,49	100	
PESO SOLO UMIDO(g)	746,49	70,00	1 1/2"	38,10	0,00	746,49	100	
PESO PEDREG.(g)	1,3	-	1"	25,40	0,00	746,49	100	
P.S.MIUDO UMIDO(g)	745,19	-	3/4"	19,10	0,00	746,49	100	
P.S. MIUDO SECO(g)	745,19	-	1/2"	12,27	0,00	746,49	100	
P. AMOSTRA SECA(g)	746,49	70,00	3/8"	9,52	0,00	746,49	100	
CTE. DO FATOR K	-	2,340	No. 4	39,14	0,00	746,49	100	
DENSIDADE A 20 °C		2,56	No. 10	53,69	1,30	745,19	100	
PENEIRAMENTO DO SOLO MIUDO								
	PENEIRA		PESO(g)	PESO(g)	% PASSA			
	POLEGADA	mm	RETIDO	PASSA	AM. TOTAL			
	No. 16	1.19	0,00	70,00	100			
	No. 30	0.590	0,47	69,53	99			
	No. 40	0.420	0,51	69,02	98			
	No. 50	0.297	0,80	68,22	97			
	No. 100	0.149	7,11	61,11	87			
	No. 200	0.075	14,19	46,92	67			
DENSIMETRO No.: 1								
TEMPO DECORRIDO	LEITURA (L)	TEMPERAT. (o C)	CORREC. MEIO DISPERSOR	LEITURA CORRIGIDA	ALT. DE QUEDA (cm)	LEIT. COR. FINAL	"d" DOS GRAOS (mm)	% <d AM. TOTAL(Q)
s								
30	23,00	29,00	1,44	21,56	14,02	22,76	0,0671	53
60	19,00	29,00	1,44	17,56	14,71	18,76	0,0486	44
120	17,00	29,00	1,44	15,56	15,06	16,76	0,0348	39
240	16,00	29,00	1,44	14,56	14,32	15,76	0,0240	37
460	16,00	29,00	1,44	14,56	14,32	15,76	0,0173	37
900	15,00	29,00	1,44	13,56	14,49	14,76	0,0124	35
1800	15,00	29,00	1,44	13,56	14,49	14,76	0,0088	35
3600	14,00	29,00	1,44	12,56	14,66	13,76	0,0063	32
7200	14,00	29,00	1,44	12,56	14,66	13,76	0,0044	32
14400	13,00	29,00	1,44	11,56	14,84	12,76	0,0031	30
28800	13,00	29,00	1,44	11,56	14,84	12,76	0,0022	30
86400	12,00	29,00	1,44	10,56	15,01	11,76	0,0013	28
CURVA GRANULOMÉTRICA								

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO				FURO:	AMOSTRA:	CTN-100		
Com dispersor e Com defloculante								
DEZ/2021								
UMIDADE DA SEDIMENTAÇÃO			RESUMO DA SEDIMENTAÇÃO (%)					
CAPSULA No.	1		PEDREGULHO	ACIMA DE 4,8	mm	0		
PESO BRUTO UMIDO(g)	50,00		AREIA GROSSA	4,8 - 2,00	mm	0		
PESO BRUTO SECO(g)	50,00		AREIA MÉDIA	2,00 - 0,42	mm	0		
PESO DA CAPSULA(g)	15,00		AREIA FINA	0,42 - 0,074	mm	50		
PESO DA AGUA(g)	0,00		SILTE	0,074 - 0,005	mm	34		
PESO DO SOLO SECO(g)	35		ARGILA	ABAIXO DE 0,002	mm	16		
UMIDADE(%)	0,00		ARGILA COLOIDAL	ABAIXO DE 0,001	mm	xxx		
AMOSTRA SECA								
	AM.TOTAL	AM.PARC.	PENEIRA		PESO(g)	PESO(g)	% PASSA	
			POLEG.	mm	RETIDO	PASSA	AM. TOTAL	
CAPSULA No.	1	2	2"	50,80	0,00	1312,00	100	
PESO SOLO UMIDO(g)	1312,00	70,00	1 1/2"	38,10	0,00	1312,00	100	
PESO PEDREG.(g)	0	-	1"	25,40	0,00	1312,00	100	
P.S.MIUDO UMIDO(g)	1312	-	3/4"	19,10	0,00	1312,00	100	
P.S. MIUDO SECO(g)	1312,00	-	1/2"	12,27	0,00	1312,00	100	
P. AMOSTRA SECA(g)	1312,00	70,00	3/8"	9,52	0,00	1312,00	100	
CTE. DO FATOR K	-	2,294	No. 4	39,14	0,00	1312,00	100	
DENSIDADE A 20 °C	2,65		No. 10	53,69	0,00	1312,00	100	
PENEIRAMENTO DO SOLO MIUDO								
	PENEIRA		PESO(g)		% PASSA			
	POLEGADA	mm	RETIDO	PASSA	AM. TOTAL			
	No. 16	1,19	0,00	70,00	100			
	No. 30	0,590	0,04	69,96	100			
	No. 40	0,420	0,02	69,94	100			
	No. 50	0,297	0,04	69,90	100			
	No. 100	0,149	1,49	68,41	98			
	No. 200	0,075	8,72	59,69	85			
DENSIMETRO No.: 1								
TEMPO DECORRIDO	LEITURA (L)	TEMPERAT. (o C)	CORREC. MEIO	LEITURA CORRIGIDA	ALT. DE QUEDA (cm)	LEIT. COR. FINAL	"d" DOS GRAOS (mm)	% <d AM. TOTAL(Q)
s			DISPERSOR					
30	28,00	29,00	1,44	26,56	13,16	27,76	0,0632	64
60	22,00	29,00	1,44	20,56	14,19	21,76	0,0464	50
120	18,00	29,00	1,44	16,56	14,89	17,76	0,0336	41
240	15,00	29,00	1,44	13,56	14,49	14,76	0,0234	34
460	13,00	29,00	1,44	11,56	14,84	12,76	0,0171	29
900	12,00	29,00	1,44	10,56	15,01	11,76	0,0123	27
1800	11,00	29,00	1,44	9,56	15,18	10,76	0,0088	25
3600	10,00	29,00	1,44	8,56	15,36	9,76	0,0062	22
7200	9,00	29,00	1,44	7,56	15,53	8,76	0,0044	20
14400	8,00	29,00	1,44	6,56	15,70	7,76	0,0031	18
28800	7,00	29,00	1,44	5,56	15,87	6,76	0,0022	16
86400	7,00	29,00	1,44	5,56	15,87	6,76	0,0013	16
CURVA GRANULOMÉTRICA								

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO	FURO:	AMOSTRA:	CTN-200
Com dispersor e Com defloculante			

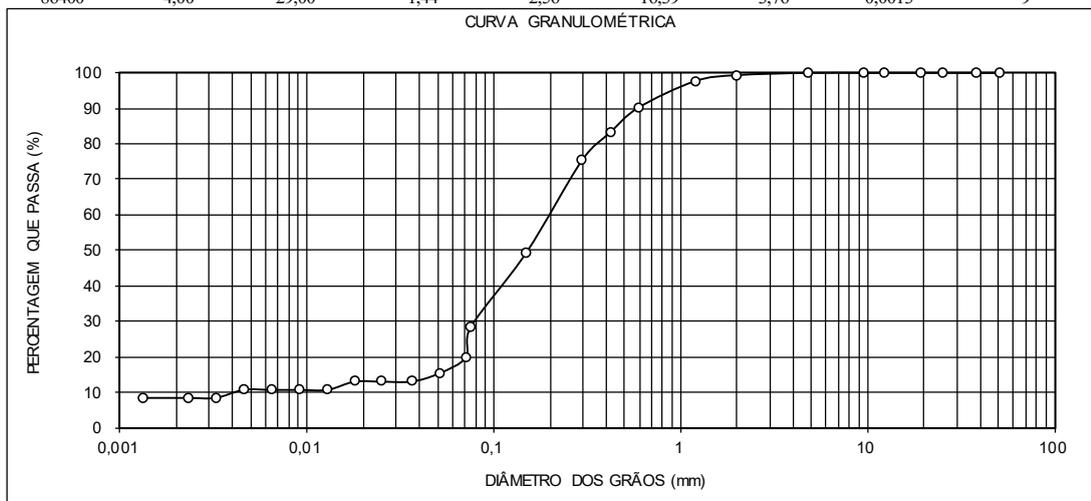
DEZ/2021

UMIDADE DA SEDIMENTAÇÃO		RESUMO DA SEDIMENTAÇÃO		(%)	
CAPSULA No.	1	PEDREGULHO	ACIMA DE 4,8	mm	0
PESO BRUTO UMIDO(g)	50,00	AREIA GROSSA	4,8 - 2,00	mm	1
PESO BRUTO SECO(g)	50,00	AREIA MÉDIA	2,00 - 0,42	mm	16
PESO DA CAPSULA(g)	15,00	AREIA FINA	0,42 - 0,074	mm	68
PESO DA ÁGUA(g)	0,00	SILTE	0,074 - 0,005	mm	7
PESO DO SOLO SECO(g)	35	ARGILA	ABAIXO DE 0,002	mm	9
UMIDADE(%)	0,00	ARGILA COLOIDAL	ABAIXO DE 0,001	mm	xxx

AMOSTRA SECA			PENEIRA		PESO(g)	PESO(g)	% PASSA
	AM.TOTAL	AM.PARC.	POLEG.	mm	RETIDO	PASSA	AM. TOTAL
CAPSULA No.	1	2	2"	50,80	0,00	653,98	100
PESO SOLO UMIDO(g)	653,98	70,00	1 1/2"	38,10	0,00	653,98	100
PESO PEDREG.(g)	4,12	-	1"	25,40	0,00	653,98	100
P.S.MIUDO UMIDO(g)	649,86	-	3/4"	19,10	0,00	653,98	100
P.S. MIUDO SECO(g)	649,86	-	1/2"	12,27	0,00	653,98	100
P. AMOSTRA SECA(g)	653,98	70,00	3/8"	9,52	0,00	653,98	100
CTE. DO FATOR K	-	2,296	No. 4	39,14	0,00	653,98	100
DENSIDADE A 20 °C	2,62	-	No. 10	53,69	4,12	649,86	99

PENEIRAMENTO DO SOLO MIUDO					
PENEIRA	POLEGADA	mm	PESO(g)		% PASSA
			RETIDO	PASSA	
No. 16		1,19	1,20	68,80	98
No. 30		0,590	5,30	63,50	90
No. 40		0,420	4,79	58,71	83
No. 50		0,297	5,51	53,20	76
No. 100		0,149	18,36	34,84	49
No. 200		0,075	14,81	20,03	28

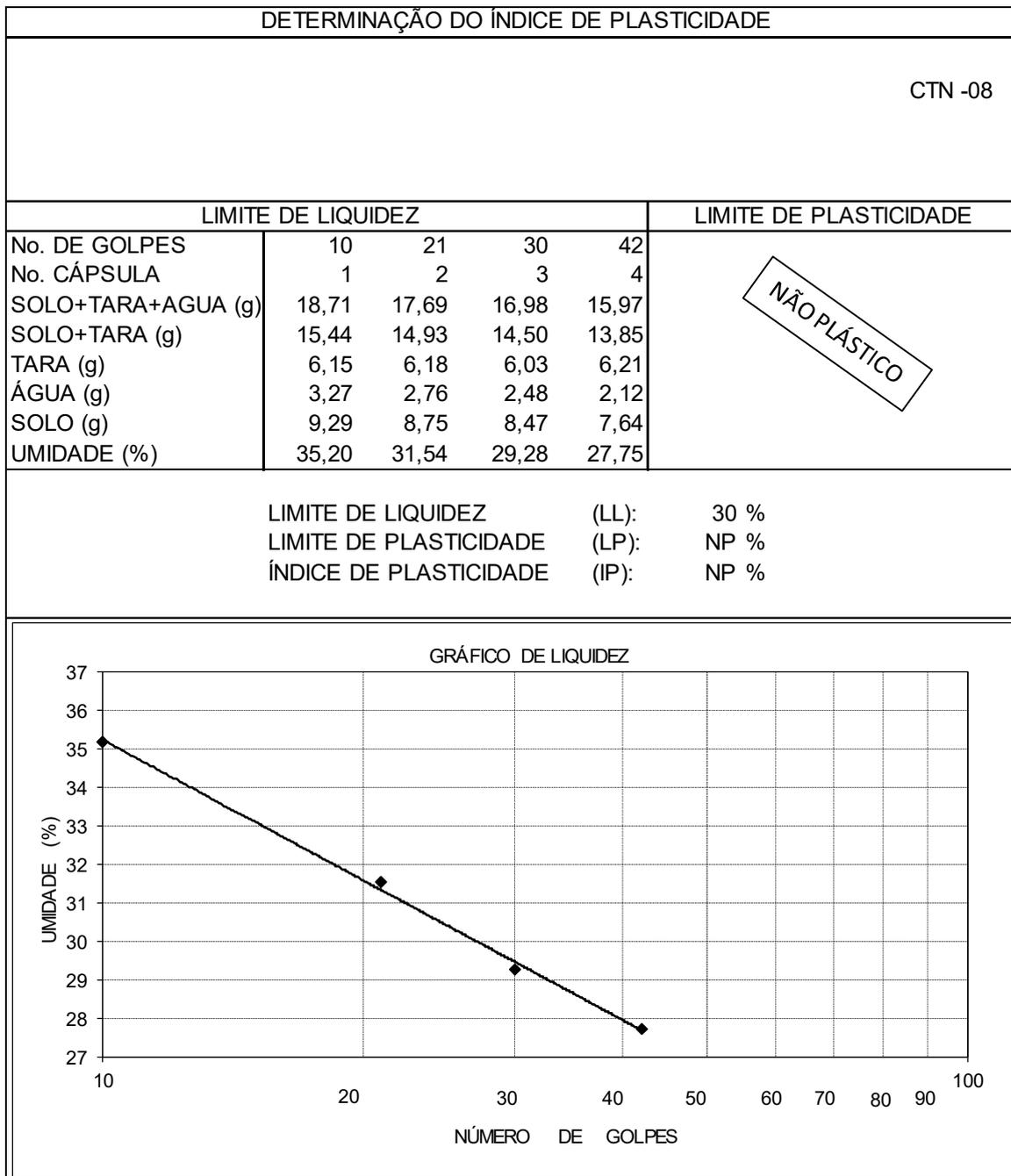
DENSIMETRO No.: 1				PROVETA No.: 1				
TEMPO DECORRIDO	LEITURA (L)	TEMPERAT. (o C)	CORREC. MEIO DISPERSOR	LEITURA CORRIGIDA	ALT. DE QUEDA (cm)	LEIT. COR. FINAL	"d" DOS GRAOS (mm)	% <d AM. TOTAL(Q)
30	9,00	29,00	1,44	7,56	16,44	8,76	0,0713	20
60	7,00	29,00	1,44	5,56	16,79	6,76	0,0509	16
120	6,00	29,00	1,44	4,56	16,96	5,76	0,0362	13
240	6,00	29,00	1,44	4,56	16,05	5,76	0,0249	13
460	6,00	29,00	1,44	4,56	16,05	5,76	0,0180	13
900	5,00	29,00	1,44	3,56	16,22	4,76	0,0129	11
1800	5,00	29,00	1,44	3,56	16,22	4,76	0,0091	11
3600	5,00	29,00	1,44	3,56	16,22	4,76	0,0065	11
7200	5,00	29,00	1,44	3,56	16,22	4,76	0,0046	11
14400	4,00	29,00	1,44	2,56	16,39	3,76	0,0032	9
28800	4,00	29,00	1,44	2,56	16,39	3,76	0,0023	9
86400	4,00	29,00	1,44	2,56	16,39	3,76	0,0013	9



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO				FURO:	AMOSTRA:	CTN-300		
Com dispersor e Com defloculante								
UMIDADE DA SEDIMENTAÇÃO				DEZ/2021				
				RESUMO DA SEDIMENTAÇÃO (%)				
CAPSULA No.	1			PEDREGULHO	ACIMA DE 4,8	mm	0	
PESO BRUTO UMIDO(g)	50,00			AREIA GROSSA	4,8 - 2,00	mm	0	
PESO BRUTO SECO(g)	50,00			AREIA MÉDIA	2,00 - 0,42	mm	3	
PESO DA CAPSULA(g)	15,00			AREIA FINA	0,42 - 0,074	mm	30	
PESO DA AGUA(g)	0,00			SILTE	0,074 - 0,005	mm	27	
PESO DO SOLO SECO(g)	35			ARGILA	ABAIXO DE 0,002	mm	40	
UMIDADE(%)	0,00			ARGILA COLOIDAL	ABAIXO DE 0,001	mm	xxx	
AMOSTRA SECA								
				PENEIRA				
	AM.TOTAL	AM.PARC.		POLEG.	mm	PESO(g)	PESO(g)	% PASSA
				RETIDO		PASSA	AM. TOTAL	
CAPSULA No.	1	2		2"	50,80	0,00	127,20	100
PESO SOLO UMIDO(g)	127,20	50,00		1 1/2"	38,10	0,00	127,20	100
PESO PEDREG.(g)	0			1"	25,40	0,00	127,20	100
P.S.MIUDO UMIDO(g)	127,2	-		3/4"	19,10	0,00	127,20	100
P.S. MIUDO SECO(g)	127,20	-		1/2"	12,27	0,00	127,20	100
P. AMOSTRA SECA(g)	127,20	50,00		3/8"	9,52	0,00	127,20	100
CTE. DO FATOR K	-	3,389		No. 4	39,14	0,00	127,20	100
DENSIDADE A 20 °C		2,44		No. 10	53,69	0,00	127,20	100
PENEIRAMENTO DO SOLO MIUDO								
				PENEIRA				
				POLEGADA	mm	PESO(g)	PESO(g)	% PASSA
				RETIDO	PASSA	AM. TOTAL		
				No. 16	1,19	0,27	49,73	99
				No. 30	0,590	0,79	48,94	98
				No. 40	0,420	0,48	48,46	97
				No. 50	0,297	0,41	48,05	96
				No. 100	0,149	1,17	46,88	94
				No. 200	0,075	2,00	44,88	90
DENSIMETRO No.: 1								
PROVETA No.: 1								
TEMPO	LEITURA	TEMPERAT.	CORREC.	LEITURA	ALT. DE	LEIT.	"d" DOS	% <d AM.
DECORRIDO	(L)	(o C)	MEIO	CORRIGIDA	QUEDA	COR.	GRAOS	TOTAL(Q)
s			DISPERSOR		(cm)	FINAL	(mm)	
30	23,00	29,00	1,44	21,56	14,02	22,76	0,0698	77
60	20,00	29,00	1,44	18,56	14,54	19,76	0,0503	67
120	19,00	29,00	1,44	17,56	14,71	18,76	0,0357	64
240	18,00	29,00	1,44	16,56	13,97	17,76	0,0246	60
460	16,00	29,00	1,44	14,56	14,32	15,76	0,0180	53
900	15,00	29,00	1,44	13,56	14,49	14,76	0,0130	50
1800	14,00	29,00	1,44	12,56	14,66	13,76	0,0092	47
3600	14,00	29,00	1,44	12,56	14,66	13,76	0,0065	47
7200	13,00	29,00	1,44	11,56	14,84	12,76	0,0046	43
14400	12,00	29,00	1,44	10,56	15,01	11,76	0,0033	40
28800	12,00	29,00	1,44	10,56	15,01	11,76	0,0023	40
86400	11,00	29,00	1,44	9,56	15,18	10,76	0,0014	36
CURVA GRANULOMÉTRICA								

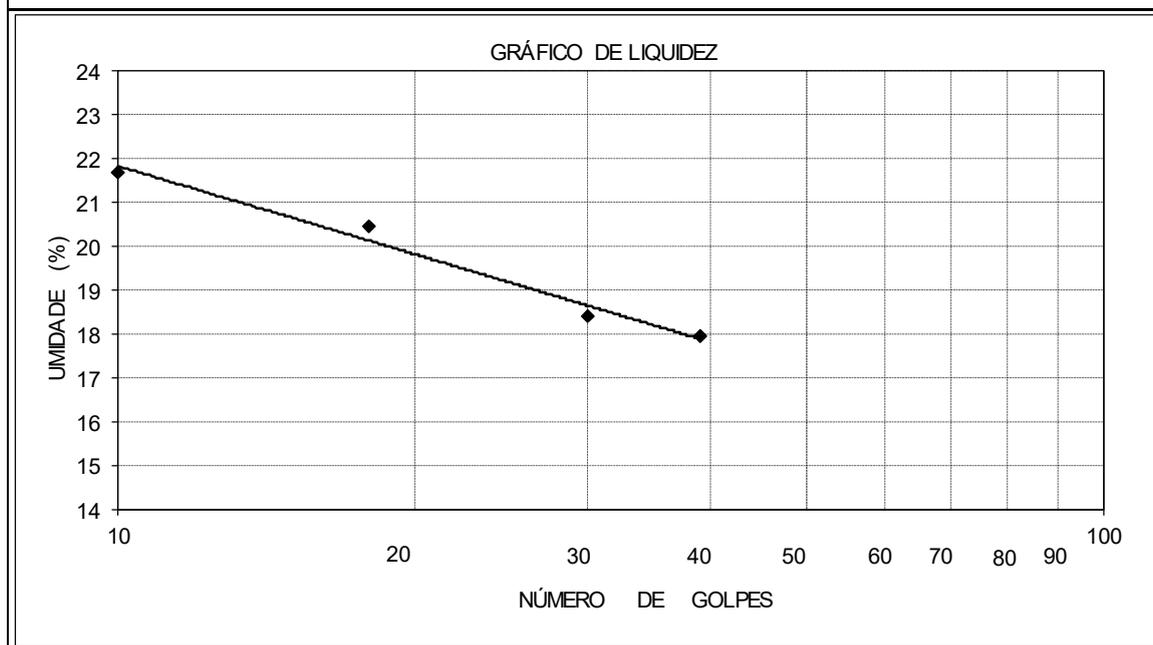
ANEXO 2



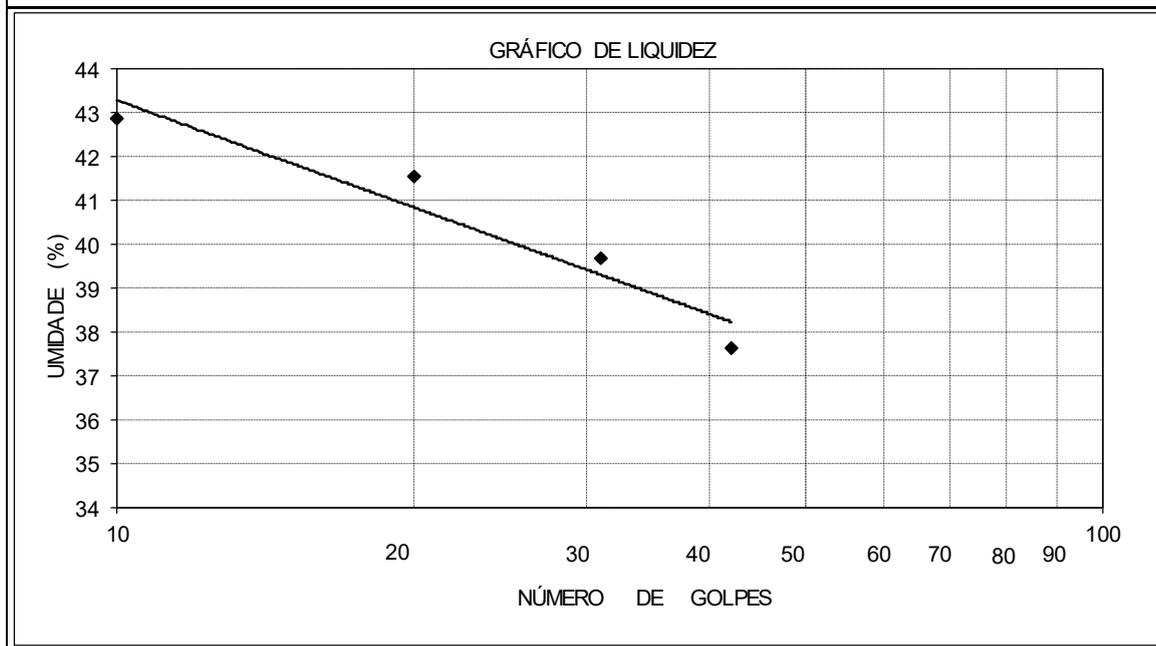
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PLASTICIDADE					
CTN -100					
LIMITE DE LIQUIDEZ			LIMITE DE PLASTICIDADE		
No. DE GOLPES	13	21	29	40	NÃO PLÁSTICO
No. CÁPSULA	1	2	3	4	
SOLO+TARA+AGUA (g)	16,32	16,41	15,85	16,71	
SOLO+TARA (g)	14,12	14,28	13,91	14,72	
TARA (g)	6,13	6,02	5,97	6,14	
ÁGUA (g)	2,20	2,13	1,94	1,99	
SOLO (g)	7,99	8,26	7,94	8,58	
UMIDADE (%)	27,53	25,79	24,43	23,19	
LIMITE DE LIQUIDEZ		(LL):		25 %	
LIMITE DE PLASTICIDADE		(LP):		NP %	
ÍNDICE DE PLASTICIDADE		(IP):		NP %	



DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PLASTICIDADE					
CTN -200					
LIMITE DE LIQUIDEZ				LIMITE DE PLASTICIDADE	
No. DE GOLPES	10	18	30	39	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; transform: rotate(-15deg); display: inline-block;">NÃO PLÁSTICO</div>
No. CÁPSULA	1	2	3	4	
SOLO+TARA+AGUA (g)	16,64	17,90	16,27	17,02	
SOLO+TARA (g)	14,71	15,89	14,69	15,38	
TARA (g)	5,82	6,06	6,12	6,24	
ÁGUA (g)	1,93	2,01	1,58	1,64	
SOLO (g)	8,89	9,83	8,57	9,14	
UMIDADE (%)	21,71	20,45	18,44	17,94	
LIMITE DE LIQUIDEZ		(LL):		19 %	
LIMITE DE PLASTICIDADE		(LP):		NP %	
ÍNDICE DE PLASTICIDADE		(IP):		NP %	



DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PLASTICIDADE								
CTN -300								
LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE			
No. DE GOLPES	10	20	31	42	xxx	xxx	xxx	xxx
No. CÁPSULA	1	2	3	4	5	6	7	8
SOLO+TARA+AGUA (g)	16,64	15,28	16,53	15,89	8,44	7,90	7,87	8,08
SOLO+TARA (g)	13,49	12,65	13,59	13,26	7,86	7,40	7,40	7,66
TARA (g)	6,14	6,32	6,18	6,27	6,15	5,97	6,03	6,43
ÁGUA (g)	3,15	2,63	2,94	2,63	0,58	0,50	0,47	0,42
SOLO (g)	7,35	6,33	7,41	6,99	1,71	1,43	1,37	1,23
UMIDADE (%)	42,86	41,55	39,68	37,63	33,92	34,97	34,31	34,15
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL):					40 %			
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP):					34 %			
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP):					6 %			



ANEXO 3 – 4 – 5

UMIDADE NATURAL (%)								
AMOSTRA	CTN 08		CTN 100		CTN 200		CTN 100	
CÁPSULA N°	30	1G	2	02G	23	1G	20	X
PESO BRUTO ÚMIDO (g):	94,06	629,80	173,09	495,34	174,70	352,82	95,14	304,00
PESO BRUTO SECO (g):	49,30	249,92	132,13	364,75	138,80	284,87	35,09	105,05
PESO DA CÁPSULA (g):	25,58	67,19	24,66	71,95	24,38	73,33	24,28	69,21
PESO DA ÁGUA (g):	44,76	379,88	40,96	130,59	35,90	67,95	60,05	198,95
PESO SOLO SECO (g):	23,72	182,73	107,47	292,80	114,42	211,54	10,81	35,84
UMIDADE %	188,70	207,89	38,11	44,60	31,38	32,12	555,50	555,11
UMIDADE %	198,30		41,36		31,75		555,31	

DENSIDADE DOS GRÃOS										
FURO	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	P4 (g)	δ	$\Delta\delta$	δ	T°	K ₂₀	$\delta - 20^\circ$
CTN-08	38,75	48,71	95,93	89,86	2,560	0,002	2,562	28	0,9980	2,56
	40,39	50,51	97,26	91,22	2,480					
	40,73	50,93	96,82	90,60	2,563					
CTN-100	47,01	57,07	104,29	98,02	2,654	0,004	2,657	29	0,9977	2,65
	36,89	46,83	92,66	86,49	2,637					
	29,61	39,74	85,71	79,39	2,659					
CTN-200	29,92	40,03	86,81	80,54	2,633	0,001	2,610	29	0,9977	2,62
	44,63	54,60	101,42	95,27	2,610					
	29,86	40,01	86,31	80,05	2,609					
CTN-300	41,39	50,71	98,36	92,84	2,453	0,008	2,448	29	0,9977	2,44
	43,89	53,77	101,33	95,41	2,495					
	36,40	46,25	92,86	87,04	2,444					

MASSA ESPECÍFICA APARENTE ÚMIDA (g/cm ³)								
AMOSTRA	CTN 08		CTN 100		CTN 200		CTN 300	
PESO BRUTO ÚMIDO (g):	55,43	51,03	74,85	72,40	79,53	77,66	47,76	50,18
PESO DA CÁPSULA (g):	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03
PESO ÚMIDO (g):	47,40	43,00	66,82	64,37	71,50	69,63	39,73	42,15
ÁREA	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86
ALTURA	2	2	2	2	2	2	2	2
VOLUME	37,72	37,72	37,72	37,72	37,72	37,72	37,72	37,72
DENSIDADE ÚMIDA	1,257	1,140	1,771	1,707	1,896	1,846	1,053	1,117
DENS. ÚMIDA MÉDIA	1,198		1,739		1,871		1,085	

ANEXO 6 - REGISTRO FOTOGRÁFICO

1. AMOSTRAS COLETADAS



2. GRANULOMETRIA



CTN-08



CTN-100



CTN-200



CTN-300

3. DENSIDADE REAL



4. SEDIMENTAÇÃO



ANEXO B – MEDIÇÕES NICTEMERAIS

PERÍODO SECO

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi (m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4211	YSI, 6600 V2	Castanhão	36464	CTN-20	0,60	1,10	36,10

		µS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temp. Água
19/10/2021 9:53	0,30	322	3,93	50,50	7,40	0,15	0,21	28,35
19/10/2021 9:55	0,51	322	3,91	50,30	7,44	0,15	0,21	28,31
19/10/2021 9:56	1,01	322	3,57	45,90	7,48	0,15	0,21	28,20
19/10/2021 9:57	1,51	322	3,40	43,60	7,54	0,15	0,21	28,17
19/10/2021 9:58	2,01	322	3,06	39,20	7,51	0,15	0,21	28,10
19/10/2021 9:59	2,50	322	2,74	35,00	7,50	0,15	0,21	28,03
19/10/2021 10:00	3,01	322	2,72	34,80	7,52	0,15	0,21	28,02
19/10/2021 10:01	3,51	322	2,63	33,70	7,52	0,15	0,21	28,01
19/10/2021 10:02	4,00	322	2,67	34,10	7,52	0,15	0,21	28,01
19/10/2021 10:03	4,51	322	2,70	34,60	7,53	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:04	5,00	322	2,69	34,40	7,53	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:05	5,50	322	2,69	34,40	7,54	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:06	6,01	322	2,68	34,30	7,55	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:07	6,51	322	2,68	34,30	7,55	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:08	7,01	322	2,68	34,30	7,55	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:09	7,51	322	2,68	34,20	7,55	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:10	8,00	322	2,66	34,00	7,56	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:11	9,01	322	2,66	34,00	7,56	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:12	10,00	322	2,65	33,90	7,56	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:13	11,01	322	2,64	33,70	7,57	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 10:14	12,01	322	2,64	33,80	7,57	0,15	0,21	28,00

19/10/2021 10:15	13,00	322	2,64	33,70	7,57	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:16	14,00	322	2,64	33,70	7,57	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:17	15,00	322	2,63	33,60	7,58	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 10:18	16,01	322	2,52	32,20	7,57	0,15	0,21	27,98
19/10/2021 10:19	17,00	322	2,36	30,10	7,57	0,15	0,21	27,98
19/10/2021 10:20	18,00	323	2,28	29,20	7,56	0,15	0,21	27,97
19/10/2021 10:21	19,00	322	2,27	29,00	7,56	0,15	0,21	27,97
19/10/2021 10:22	20,00	323	2,31	29,60	7,57	0,15	0,21	27,97
19/10/2021 10:23	21,00	322	2,38	30,40	7,57	0,15	0,21	27,96
19/10/2021 10:24	21,85	323	0,88	11,30	7,56	0,15	0,21	27,96

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4212	YSI, 6600 V2	Castanhão	36464	CTN-20	0,60	1,10	36,10

		$\mu\text{S/cm}$	mg/L O_2	%		%Mil	g/L	$^{\circ}\text{C}$
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
19/10/2021 12:45	0,30	322	6,00	78,20	7,38	0,15	0,21	29,09
19/10/2021 12:46	0,51	321	6,22	80,90	7,47	0,15	0,21	29,03
19/10/2021 12:47	1,00	321	6,22	80,80	7,53	0,15	0,21	28,91
19/10/2021 12:48	1,51	321	6,28	81,20	7,57	0,15	0,21	28,60
19/10/2021 12:49	2,00	321	5,46	70,30	7,50	0,15	0,21	28,36
19/10/2021 12:50	2,50	321	4,31	55,20	7,34	0,15	0,21	28,13
19/10/2021 12:51	3,01	321	4,14	53,00	7,32	0,15	0,21	28,10
19/10/2021 12:52	3,50	322	3,92	50,10	7,33	0,15	0,21	28,10
19/10/2021 12:53	4,01	322	3,87	49,60	7,35	0,15	0,21	28,10
19/10/2021 12:54	4,50	322	3,81	48,80	7,39	0,15	0,21	28,10
19/10/2021 12:55	5,00	322	3,79	48,50	7,42	0,15	0,21	28,10

19/10/2021 12:56	5,50	322	3,78	48,50	7,45	0,15	0,21	28,10
19/10/2021 12:57	6,01	322	3,75	48,00	7,47	0,15	0,21	28,10
19/10/2021 12:58	6,51	322	3,71	47,50	7,48	0,15	0,21	28,09
19/10/2021 12:59	7,00	322	3,49	44,60	7,48	0,15	0,21	28,06
19/10/2021 13:00	7,50	322	3,33	42,70	7,48	0,15	0,21	28,05
19/10/2021 13:01	8,01	322	3,35	42,90	7,48	0,15	0,21	28,05
19/10/2021 13:02	9,01	322	2,98	38,20	7,48	0,15	0,21	28,03
19/10/2021 13:03	10,01	322	2,70	34,50	7,46	0,15	0,21	28,02
19/10/2021 13:04	11,00	322	2,73	34,90	7,47	0,15	0,21	28,01
19/10/2021 13:05	12,01	322	2,74	35,00	7,49	0,15	0,21	28,01
19/10/2021 13:06	13,01	322	2,63	33,70	7,49	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 13:07	14,01	322	2,59	33,10	7,49	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 13:08	15,01	322	2,57	32,90	7,50	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 13:09	16,00	322	2,52	32,20	7,50	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 13:10	17,01	322	2,46	31,50	7,50	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 13:11	18,00	322	2,44	31,20	7,50	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 13:12	19,00	322	2,34	29,90	7,50	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 13:13	20,00	322	2,15	27,40	7,49	0,15	0,21	27,98
19/10/2021 13:14	21,00	323	2,24	28,60	7,50	0,15	0,21	27,97
19/10/2021 13:15	21,59	323	1,90	24,30	7,49	0,15	0,21	27,97

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4213	YSI, 6600 V2	Castanhão	36464	CTN-20	0,60	1,10	36,10

		µS/cm	mg/L O2	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
19/10/2021 15:42	0,30	322	8,58	113,80	8,26	0,15	0,21	30,10

19/10/2021 15:43	0,50	322	8,70	114,30	8,24	0,15	0,21	29,56
19/10/2021 15:44	1,01	321	8,77	114,50	8,18	0,15	0,21	29,20
19/10/2021 15:45	1,51	321	8,31	108,10	8,09	0,15	0,21	29,02
19/10/2021 15:46	2,01	321	8,44	109,70	8,12	0,15	0,21	28,92
19/10/2021 15:47	2,51	321	8,39	108,80	8,15	0,15	0,21	28,81
19/10/2021 15:48	3,00	321	8,13	105,10	8,22	0,15	0,21	28,65
19/10/2021 15:49	3,51	322	6,79	87,40	7,89	0,15	0,21	28,43
19/10/2021 15:50	4,01	323	5,83	75,00	7,75	0,15	0,21	28,32
19/10/2021 15:51	4,51	323	5,06	65,00	7,65	0,15	0,21	28,26
19/10/2021 15:52	5,01	323	4,81	61,80	7,62	0,15	0,21	28,25
19/10/2021 15:53	5,50	323	4,57	58,60	7,60	0,15	0,21	28,22
19/10/2021 15:54	6,00	323	4,33	55,60	7,59	0,15	0,21	28,20
19/10/2021 15:55	6,51	323	4,29	55,00	7,59	0,15	0,21	28,19
19/10/2021 15:56	7,00	323	4,14	53,10	7,60	0,15	0,21	28,19
19/10/2021 15:57	7,51	323	4,23	54,30	7,61	0,15	0,21	28,19
19/10/2021 15:58	8,01	323	4,39	56,30	7,63	0,15	0,21	28,19
19/10/2021 16:00	9,01	323	4,46	57,30	7,74	0,15	0,21	28,18
19/10/2021 16:01	10,00	323	4,29	55,00	7,67	0,15	0,21	28,16
19/10/2021 16:02	11,01	323	4,10	52,60	7,66	0,15	0,21	28,14
19/10/2021 16:03	12,01	323	4,08	52,30	7,65	0,15	0,21	28,12
19/10/2021 16:04	13,01	323	3,75	48,10	7,64	0,15	0,21	28,11
19/10/2021 16:05	14,00	323	3,53	45,20	7,62	0,15	0,21	28,09
19/10/2021 16:06	15,00	323	3,36	43,00	7,61	0,15	0,21	28,08
19/10/2021 16:07	16,01	323	3,35	42,90	7,62	0,15	0,21	28,08
19/10/2021 16:08	17,00	323	3,29	42,10	7,61	0,15	0,21	28,06
19/10/2021 16:09	18,01	322	2,73	34,90	7,57	0,15	0,21	28,01
19/10/2021 16:10	19,00	322	2,55	32,60	7,56	0,15	0,21	28,00

19/10/2021 16:11	20,00	322	2,53	32,40	7,56	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 16:12	21,01	323	2,54	32,50	7,56	0,15	0,21	27,98
19/10/2021 16:13	22,01	354	0,42	5,40	7,29	0,17	0,23	27,99

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4214	YSI, 6600 V2	Castanhão	36464	CTN-20	0,60	1,10	36,10

		μS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
19/10/2021 18:47	0,30	321	7,60	98,50	8,26	0,15	0,21	28,75
19/10/2021 18:48	0,51	321	7,59	98,40	8,28	0,15	0,21	28,75
19/10/2021 18:49	1,01	321	7,54	97,70	8,29	0,15	0,21	28,75
19/10/2021 18:50	1,51	322	7,40	95,70	8,39	0,15	0,21	28,71
19/10/2021 18:51	2,01	322	7,08	91,60	8,25	0,15	0,21	28,65
19/10/2021 18:52	2,51	322	6,81	88,00	8,37	0,15	0,21	28,60
19/10/2021 18:53	3,01	323	6,32	81,50	8,27	0,15	0,21	28,48
19/10/2021 18:54	3,50	322	6,27	80,80	8,12	0,15	0,21	28,52
19/10/2021 18:56	4,00	323	6,14	79,20	8,08	0,15	0,21	28,47
19/10/2021 18:57	4,50	323	6,02	77,50	8,10	0,15	0,21	28,44
19/10/2021 18:59	5,04	323	6,01	77,50	8,07	0,15	0,21	28,46
19/10/2021 19:00	5,50	323	5,67	73,00	7,99	0,15	0,21	28,38
19/10/2021 19:01	6,02	323	5,22	67,20	7,91	0,15	0,21	28,35
19/10/2021 19:02	6,51	323	4,81	61,80	7,84	0,15	0,21	28,28
19/10/2021 19:03	7,00	323	4,57	58,60	7,80	0,15	0,21	28,25
19/10/2021 19:04	7,50	323	4,42	56,70	7,77	0,15	0,21	28,24
19/10/2021 19:05	8,00	323	4,47	57,40	7,74	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 19:06	9,03	323	4,13	53,00	7,89	0,15	0,21	28,20

19/10/2021 19:07	10,04	323	4,02	51,60	7,86	0,15	0,21	28,18
19/10/2021 19:08	11,05	323	3,98	51,10	7,87	0,15	0,21	28,18
19/10/2021 19:09	12,01	323	3,98	51,10	7,76	0,15	0,21	28,17
19/10/2021 19:10	13,06	323	4,17	53,50	7,73	0,15	0,21	28,17
19/10/2021 19:11	14,02	323	4,03	51,70	7,73	0,15	0,21	28,17
19/10/2021 19:12	15,00	323	3,97	50,90	7,74	0,15	0,21	28,16
19/10/2021 19:13	16,02	323	3,77	48,30	7,76	0,15	0,21	28,12
19/10/2021 19:14	17,01	323	3,57	45,70	7,82	0,15	0,21	28,06
19/10/2021 19:15	18,01	323	3,51	45,00	7,75	0,15	0,21	28,05
19/10/2021 19:16	19,03	323	3,44	44,00	7,71	0,15	0,21	28,04
19/10/2021 19:17	20,01	323	3,35	42,90	7,70	0,15	0,21	28,03
19/10/2021 19:18	21,00	323	3,30	42,20	7,70	0,15	0,21	28,03
19/10/2021 19:19	22,01	323	3,21	41,00	7,69	0,15	0,21	28,03
19/10/2021 19:20	23,00	323	2,91	37,30	7,67	0,15	0,21	28,01
19/10/2021 19:21	23,30	323	2,81	35,90	7,65	0,15	0,21	27,99

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4215	YSI, 6600 V2	Castanhão	36464	CTN-20	0,60	1,10	36,10

		μS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
19/10/2021 21:48	0,30	323	4,92	63,20	8,00	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 21:49	0,50	323	4,93	63,20	7,98	0,15	0,21	28,20
19/10/2021 21:50	1,00	323	4,91	63,00	7,98	0,15	0,21	28,20
19/10/2021 21:51	1,50	323	4,89	62,70	7,98	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 21:52	2,01	323	4,86	62,30	7,97	0,15	0,21	28,22
19/10/2021 21:53	2,51	323	4,80	61,70	7,97	0,15	0,21	28,21

19/10/2021 21:54	3,00	323	4,80	61,60	7,96	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 21:55	3,51	323	4,77	61,20	7,96	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 21:56	4,01	323	4,76	61,10	7,95	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 21:57	4,51	323	4,64	59,60	7,93	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 21:58	5,00	323	4,68	60,00	7,92	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 21:59	5,51	323	4,58	58,80	7,96	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 22:00	6,01	323	4,61	59,10	7,94	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 22:01	6,51	323	4,62	59,30	7,92	0,15	0,21	28,21
19/10/2021 22:02	7,00	323	4,31	55,30	7,88	0,15	0,21	28,20
19/10/2021 22:03	7,50	323	4,24	54,40	7,87	0,15	0,21	28,19
19/10/2021 22:04	8,01	323	4,02	51,60	7,83	0,15	0,21	28,18
19/10/2021 22:05	9,01	323	3,97	51,00	7,82	0,15	0,21	28,16
19/10/2021 22:06	10,01	323	3,86	49,40	7,81	0,15	0,21	28,14
19/10/2021 22:07	11,00	323	3,86	49,50	7,80	0,15	0,21	28,15
19/10/2021 22:08	12,01	323	3,73	47,80	7,91	0,15	0,21	28,13
19/10/2021 22:09	13,00	323	3,28	42,00	7,75	0,15	0,21	28,06
19/10/2021 22:10	14,00	323	3,24	41,50	7,73	0,15	0,21	28,05
19/10/2021 22:11	15,01	323	3,02	38,70	7,71	0,15	0,21	28,02
19/10/2021 22:12	16,01	323	2,95	37,70	7,69	0,15	0,21	28,02
19/10/2021 22:13	17,00	323	2,94	37,60	7,68	0,15	0,21	28,01
19/10/2021 22:14	18,00	323	2,79	35,60	7,67	0,15	0,21	28,00
19/10/2021 22:15	19,01	322	2,65	33,90	7,66	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 22:16	20,01	323	2,61	33,30	7,64	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 22:17	21,01	323	2,57	32,80	7,65	0,15	0,21	27,98
19/10/2021 22:18	22,00	323	2,56	32,70	7,64	0,15	0,21	27,99
19/10/2021 22:19	23,01	323	2,55	32,60	7,64	0,15	0,21	27,98
19/10/2021 22:20	23,62	323	2,44	31,10	7,63	0,15	0,21	27,98

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4222	YSI, 6600 V2	Castanhão	36465	CTN-20	1,40	2,60	27,60

		μS/cm	mg/L O2	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
20/10/2021 0:36	0,31	323	4,12	52,80	7,92	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:37	0,50	323	4,12	52,80	7,91	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:38	1,01	323	4,11	52,60	7,90	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:39	1,50	323	4,05	51,80	7,88	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:40	2,00	323	4,03	51,60	7,87	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:41	2,50	323	4,01	51,40	7,87	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:42	3,00	323	4,05	51,90	7,86	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:43	3,50	323	4,04	51,70	7,86	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:44	4,00	323	4,05	51,80	7,85	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:45	4,50	323	4,08	52,20	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:46	5,01	323	4,07	52,20	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:47	5,50	323	4,05	51,90	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:48	6,01	323	4,11	52,60	7,84	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:49	6,50	323	4,18	53,50	7,85	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:50	7,00	323	4,15	53,20	7,85	0,15	0,21	28,11
20/10/2021 0:51	7,50	323	4,24	54,30	7,86	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:52	8,01	323	4,13	52,90	7,84	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:53	9,00	323	4,19	53,70	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:54	10,01	323	4,18	53,60	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:55	11,00	323	4,25	54,40	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:56	12,00	323	4,21	53,90	7,85	0,15	0,21	28,10

20/10/2021 0:57	13,01	323	4,27	54,70	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:58	14,00	323	4,23	54,20	7,85	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 0:59	15,00	323	4,04	51,70	7,84	0,15	0,21	28,10
20/10/2021 1:00	16,00	323	3,12	39,90	7,78	0,15	0,21	28,04
20/10/2021 1:01	17,00	323	2,40	30,70	7,69	0,15	0,21	28,01
20/10/2021 1:02	18,03	323	2,35	30,10	7,67	0,15	0,21	28,01
20/10/2021 1:03	19,00	323	2,40	30,60	7,66	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 1:04	20,00	323	2,39	30,60	7,64	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 1:05	21,02	323	2,39	30,50	7,65	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 1:06	22,01	323	2,34	29,90	7,64	0,15	0,21	27,99
20/10/2021 1:07	23,01	323	2,33	29,80	7,63	0,15	0,21	27,99

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4223	YSI, 6600 V2	Castanhão	36465	CTN-20	1,40	2,60	27,60

		μS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
20/10/2021 3:46	0,30	323	4,01	51,30	7,86	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:47	0,51	323	3,98	50,90	7,85	0,15	0,21	28,09
20/10/2021 3:48	1,01	323	3,97	50,90	7,84	0,15	0,21	28,09
20/10/2021 3:49	1,50	323	3,84	49,10	7,82	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:50	2,00	323	3,76	48,10	7,81	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:51	2,50	323	3,74	47,90	7,79	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:52	3,01	323	3,79	48,50	7,80	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:53	3,50	323	3,99	51,00	7,81	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 3:54	4,01	323	3,98	51,00	7,81	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 3:55	4,50	323	3,99	51,10	7,81	0,15	0,21	28,08

20/10/2021 3:56	5,01	323	3,96	50,70	7,81	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:57	5,51	323	3,95	50,60	7,80	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:58	6,01	323	3,93	50,30	7,80	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 3:59	6,50	323	3,92	50,20	7,80	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 4:00	7,01	323	3,93	50,30	7,98	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 4:01	7,50	323	3,92	50,20	7,83	0,15	0,21	28,09
20/10/2021 4:02	8,00	323	3,89	49,80	7,80	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 4:03	9,01	323	3,91	50,00	7,79	0,15	0,21	28,09
20/10/2021 4:04	10,01	323	3,97	50,80	7,80	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 4:05	11,00	323	3,95	50,60	7,80	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 4:06	12,00	323	3,71	47,50	7,79	0,15	0,21	28,08
20/10/2021 4:07	13,00	323	2,79	35,70	7,71	0,15	0,21	28,05
20/10/2021 4:08	14,01	323	2,22	28,40	7,65	0,15	0,21	28,03
20/10/2021 4:09	15,01	323	2,04	26,00	7,63	0,15	0,21	28,02
20/10/2021 4:10	16,01	323	2,08	26,60	7,61	0,15	0,21	28,01
20/10/2021 4:11	17,00	323	2,23	28,50	7,61	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 4:12	18,01	323	2,34	29,90	7,62	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 4:13	19,00	323	2,32	29,60	7,62	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 4:14	20,01	323	2,28	29,10	7,61	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 4:15	21,01	323	2,19	28,00	7,61	0,15	0,21	27,99
20/10/2021 4:16	21,85	326	1,08	13,80	7,52	0,15	0,21	27,99

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4224	YSI, 6600 V2	Castanhão	36465	CTN-20	1,40	2,60	27,60

		μS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água

20/10/2021 6:47	0,30	322	3,87	49,50	7,90	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 6:48	0,51	323	3,90	49,90	7,88	0,15	0,21	28,05
20/10/2021 6:49	1,00	323	3,87	49,50	7,86	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 6:50	1,51	323	3,81	48,80	7,84	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 6:51	2,01	323	3,82	48,90	7,83	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 6:52	2,50	323	3,78	48,40	7,83	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 6:53	3,01	323	3,76	48,10	7,82	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 6:54	3,50	323	3,78	48,30	7,81	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 6:55	4,00	323	3,75	47,90	7,81	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 6:56	4,51	323	3,71	47,50	7,87	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 6:57	5,00	323	3,71	47,40	7,82	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 6:58	5,51	323	3,76	48,10	7,81	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 6:59	6,01	323	3,68	47,10	7,79	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 7:00	6,51	323	3,68	47,20	7,79	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 7:01	7,01	323	3,68	47,10	7,83	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 7:02	7,50	323	3,71	47,50	7,80	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 7:03	8,01	323	3,68	47,00	7,79	0,15	0,21	28,07
20/10/2021 7:04	9,00	323	3,63	46,50	7,79	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 7:05	10,01	323	3,64	46,50	7,78	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 7:06	11,00	323	3,59	45,90	7,77	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 7:07	12,01	323	3,54	45,40	7,77	0,15	0,21	28,05
20/10/2021 7:08	13,00	323	3,57	45,70	7,83	0,15	0,21	28,06
20/10/2021 7:09	14,01	323	3,34	42,70	7,76	0,15	0,21	28,04
20/10/2021 7:10	15,00	323	3,21	41,10	7,74	0,15	0,21	28,04
20/10/2021 7:11	16,01	323	2,80	35,90	7,71	0,15	0,21	28,03
20/10/2021 7:12	17,00	323	2,60	33,20	7,68	0,15	0,21	28,02
20/10/2021 7:13	18,01	323	2,50	32,00	7,66	0,15	0,21	28,02

20/10/2021 7:14	19,01	323	2,40	30,60	7,65	0,15	0,21	28,02
20/10/2021 7:15	20,00	323	2,35	30,00	7,64	0,15	0,21	28,01
20/10/2021 7:16	21,01	323	2,24	28,70	7,63	0,15	0,21	28,00
20/10/2021 7:17	22,00	323	1,90	24,30	7,59	0,15	0,21	28,00

PERÍODO CHUVOSO

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4520	YSI, 6600 V2	Castanhão	37452	CTN-20	0,00	0,50	26,90

		µS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
30/03/2022 9:18	0,31	242	3,83	51,00	7,51	0,11	0,16	30,37
30/03/2022 9:20	0,50	242	3,80	50,70	7,52	0,11	0,16	30,44
30/03/2022 9:21	1,00	242	3,63	48,20	7,50	0,11	0,16	30,18
30/03/2022 9:22	1,50	242	3,39	44,70	7,48	0,11	0,16	29,86
30/03/2022 9:23	2,01	242	3,27	43,20	7,47	0,11	0,16	29,84
30/03/2022 9:24	2,50	242	3,16	41,60	7,46	0,11	0,16	29,82
30/03/2022 9:25	3,01	242	2,99	39,40	7,44	0,11	0,16	29,79
30/03/2022 9:26	3,51	242	2,95	38,90	7,44	0,11	0,16	29,79
30/03/2022 9:27	4,01	242	2,89	38,00	7,44	0,11	0,16	29,78
30/03/2022 9:28	4,50	242	2,86	37,70	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:29	5,01	242	2,84	37,40	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:30	5,50	242	2,83	37,30	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:31	6,01	242	2,81	37,10	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:32	6,51	242	2,79	36,80	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:33	7,00	242	2,76	36,40	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:34	7,51	242	2,73	36,10	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:35	8,01	242	2,70	35,70	7,44	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 9:36	9,01	242	2,65	34,90	7,46	0,11	0,16	29,76
30/03/2022 9:37	10,00	242	2,50	32,90	7,43	0,11	0,16	29,75
30/03/2022 9:38	11,00	252	1,34	17,60	7,39	0,12	0,16	29,71
30/03/2022 9:39	12,01	273	0,37	4,90	7,34	0,13	0,18	29,62

30/03/2022 9:40	13,01	291	0,34	4,50	7,37	0,14	0,19	29,55
30/03/2022 9:41	14,00	302	0,32	4,20	7,39	0,14	0,20	29,53
30/03/2022 9:42	15,06	312	0,31	4,00	7,41	0,15	0,20	29,48
30/03/2022 9:43	16,00	319	0,30	3,90	7,43	0,15	0,21	29,46
30/03/2022 9:44	17,01	327	0,30	3,90	7,44	0,15	0,21	29,40
30/03/2022 9:45	17,99	335	0,28	3,70	7,44	0,16	0,22	29,31
30/03/2022 9:46	19,00	336	0,28	3,60	7,45	0,16	0,22	29,27
30/03/2022 9:47	20,01	341	0,27	3,60	7,40	0,16	0,22	29,08
30/03/2022 9:48	21,01	343	0,27	3,50	7,35	0,16	0,22	29,02
30/03/2022 9:49	22,00	344	0,27	3,50	7,33	0,16	0,22	28,92
30/03/2022 9:50	23,01	344	0,27	3,50	7,32	0,16	0,22	28,87
30/03/2022 9:51	24,01	345	0,26	3,40	7,31	0,16	0,22	28,82
30/03/2022 9:52	25,01	348	0,26	3,40	7,26	0,16	0,23	28,76
30/03/2022 9:53	26,00	348	0,26	3,30	7,25	0,16	0,23	28,71
30/03/2022 9:54	27,00	349	0,26	3,30	7,26	0,16	0,23	28,65
30/03/2022 9:55	28,00	350	0,26	3,30	7,26	0,17	0,23	28,60
30/03/2022 9:56	29,01	351	0,25	3,30	7,22	0,17	0,23	28,56
30/03/2022 9:57	30,01	351	0,25	3,30	7,21	0,17	0,23	28,54
30/03/2022 9:58	31,01	351	0,25	3,20	7,21	0,17	0,23	28,53
30/03/2022 9:59	31,38	353	0,25	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4521	YSI, 6600 V2	Castanhão	37452	CTN-20	0,00	0,50	26,90

		µS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
30/03/2022 12:15	0,30	240	4,59	61,50	7,57	0,11	0,16	30,79

30/03/2022 12:16	0,51	240	4,49	59,90	7,56	0,11	0,16	30,50
30/03/2022 12:17	1,00	239	4,05	53,70	7,51	0,11	0,16	30,19
30/03/2022 12:18	1,51	239	3,74	49,50	7,48	0,11	0,16	29,97
30/03/2022 12:19	2,00	241	3,32	43,90	7,43	0,11	0,16	29,85
30/03/2022 12:20	2,51	242	3,24	42,70	7,42	0,11	0,16	29,84
30/03/2022 12:21	3,00	242	3,00	39,60	7,41	0,11	0,16	29,82
30/03/2022 12:22	3,50	242	2,89	38,10	7,40	0,11	0,16	29,81
30/03/2022 12:23	4,00	242	2,92	38,50	7,40	0,11	0,16	29,80
30/03/2022 12:24	4,50	241	2,88	38,00	7,41	0,11	0,16	29,78
30/03/2022 12:25	5,01	241	2,82	37,20	7,41	0,11	0,16	29,78
30/03/2022 12:26	5,51	242	2,73	36,00	7,42	0,11	0,16	29,78
30/03/2022 12:27	6,00	242	2,75	36,30	7,41	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 12:28	6,51	241	2,73	36,00	7,41	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 12:29	7,00	241	2,72	35,90	7,41	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 12:30	7,50	241	2,62	34,50	7,41	0,11	0,16	29,76
30/03/2022 12:31	8,00	241	2,57	33,90	7,40	0,11	0,16	29,75
30/03/2022 12:32	9,00	247	1,87	24,70	7,37	0,12	0,16	29,72
30/03/2022 12:33	10,00	258	0,63	8,30	7,31	0,12	0,17	29,67
30/03/2022 12:34	11,01	264	0,33	4,40	7,30	0,12	0,17	29,64
30/03/2022 12:35	12,01	277	0,31	4,10	7,31	0,13	0,18	29,61
30/03/2022 12:36	13,00	283	0,29	3,80	7,33	0,13	0,18	29,58
30/03/2022 12:38	14,01	288	0,29	3,70	7,34	0,13	0,19	29,55
30/03/2022 12:39	15,01	296	0,28	3,70	7,36	0,14	0,19	29,53
30/03/2022 12:40	16,00	322	0,28	3,70	7,41	0,15	0,21	29,44
30/03/2022 12:41	17,03	327	0,27	3,60	7,42	0,15	0,21	29,38
30/03/2022 12:42	18,00	335	0,27	3,50	7,41	0,16	0,22	29,30
30/03/2022 12:43	19,01	338	0,26	3,40	7,39	0,16	0,22	29,21

30/03/2022 12:44	20,01	339	0,26	3,40	7,38	0,16	0,22	29,15
30/03/2022 12:45	21,01	342	0,26	3,40	7,36	0,16	0,22	29,06
30/03/2022 12:46	22,00	343	0,26	3,30	7,33	0,16	0,22	28,98
30/03/2022 12:47	23,00	345	0,26	3,30	7,31	0,16	0,22	28,93
30/03/2022 12:48	24,01	345	0,25	3,30	7,30	0,16	0,22	28,83
30/03/2022 12:49	25,03	347	0,25	3,30	7,26	0,16	0,23	28,78
30/03/2022 12:50	26,03	348	0,25	3,30	7,28	0,16	0,23	28,74
30/03/2022 12:51	27,01	348	0,25	3,20	7,25	0,16	0,23	28,70
30/03/2022 12:52	28,01	349	0,25	3,20	7,22	0,16	0,23	28,62
30/03/2022 12:53	29,01	351	0,25	3,20	7,26	0,17	0,23	28,57
30/03/2022 12:54	30,01	351	0,25	3,20	7,21	0,17	0,23	28,55

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4522	YSI, 6600 V2	Castanhão	37452	CTN-20	0,00	0,50	26,90

		$\mu\text{S/cm}$	mg/L O_2	%		%Mil	g/L	$^{\circ}\text{C}$
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
30/03/2022 15:07	0,31	239	5,82	78,50	7,73	0,11	0,16	31,05
30/03/2022 15:08	0,50	239	5,74	77,20	7,72	0,11	0,16	30,97
30/03/2022 15:09	1,01	238	5,61	75,30	7,69	0,11	0,16	30,84
30/03/2022 15:10	1,51	237	5,41	72,50	7,66	0,11	0,15	30,72
30/03/2022 15:11	2,01	237	5,29	70,80	7,66	0,11	0,15	30,66
30/03/2022 15:12	2,51	237	5,21	69,80	7,63	0,11	0,15	30,61
30/03/2022 15:13	3,00	238	4,90	65,40	7,57	0,11	0,16	30,46
30/03/2022 15:14	3,50	236	3,69	48,80	7,43	0,11	0,15	29,92
30/03/2022 15:15	4,00	232	3,24	42,70	7,37	0,11	0,15	29,85
30/03/2022 15:16	4,51	239	3,10	41,00	7,37	0,11	0,16	29,85

30/03/2022 15:17	5,01	242	2,97	39,20	7,37	0,11	0,16	29,84
30/03/2022 15:18	5,51	243	2,86	37,80	7,37	0,11	0,16	29,84
30/03/2022 15:19	6,01	244	2,70	35,60	7,35	0,11	0,16	29,82
30/03/2022 15:20	6,51	242	2,87	37,90	7,37	0,11	0,16	29,80
30/03/2022 15:21	7,01	241	2,70	35,50	7,36	0,11	0,16	29,78
30/03/2022 15:22	7,50	241	2,71	35,80	7,36	0,11	0,16	29,77
30/03/2022 15:23	8,00	241	2,66	35,00	7,39	0,11	0,16	29,76
30/03/2022 15:24	9,00	242	2,51	33,10	7,36	0,11	0,16	29,75
30/03/2022 15:25	10,00	244	2,23	29,40	7,35	0,11	0,16	29,75
30/03/2022 15:26	11,00	257	0,86	11,30	7,28	0,12	0,17	29,69
30/03/2022 15:27	12,00	271	0,43	5,70	7,27	0,13	0,18	29,63
30/03/2022 15:28	13,01	273	0,35	4,60	7,28	0,13	0,18	29,62
30/03/2022 15:29	14,00	292	0,32	4,20	7,31	0,14	0,19	29,53
30/03/2022 15:30	15,01	314	0,31	4,00	7,40	0,15	0,20	29,48
30/03/2022 15:31	16,01	323	0,33	4,40	7,40	0,15	0,21	29,43
30/03/2022 15:32	17,00	330	0,29	3,80	7,39	0,16	0,21	29,39
30/03/2022 15:33	18,01	330	0,29	3,80	7,39	0,16	0,22	29,37
30/03/2022 15:34	19,01	334	0,28	3,70	7,41	0,16	0,22	29,32
30/03/2022 15:35	20,01	336	0,28	3,60	7,38	0,16	0,22	29,24
30/03/2022 15:36	21,00	341	0,27	3,60	7,34	0,16	0,22	29,14
30/03/2022 15:38	22,01	344	0,27	3,50	7,33	0,16	0,22	28,96
30/03/2022 15:39	23,03	345	0,26	3,40	7,31	0,16	0,22	28,91
30/03/2022 15:40	24,00	348	0,26	3,40	7,25	0,16	0,23	28,78
30/03/2022 15:41	25,01	348	0,26	3,40	7,24	0,16	0,23	28,74
30/03/2022 15:42	26,02	349	0,26	3,30	7,22	0,16	0,23	28,66
30/03/2022 15:43	27,00	351	0,26	3,30	7,20	0,17	0,23	28,59
30/03/2022 15:44	28,00	352	0,25	3,30	7,19	0,17	0,23	28,55

30/03/2022 15:45	29,00	352	0,25	3,30	7,18	0,17	0,23	28,53
30/03/2022 15:46	30,00	379	0,25	3,30	7,02	0,18	0,25	28,51

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4523	YSI, 6600 V2	Castanhão	37452	CTN-20	0,00	0,50	26,90

		$\mu\text{S/cm}$	mg/L O_2	%		%Mil	g/L	$^{\circ}\text{C}$
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
30/03/2022 18:18	0,30	239	6,25	83,90	7,90	0,11	0,16	30,89
30/03/2022 18:19	0,50	239	6,27	84,20	7,90	0,11	0,16	30,89
30/03/2022 18:20	1,00	239	6,24	83,80	7,89	0,11	0,16	30,89
30/03/2022 18:21	1,50	239	6,16	82,80	7,88	0,11	0,16	30,88
30/03/2022 18:22	2,01	239	5,89	79,10	7,84	0,11	0,16	30,83
30/03/2022 18:23	2,51	240	5,12	68,50	7,71	0,11	0,16	30,65
30/03/2022 18:24	3,01	242	4,82	64,40	7,65	0,11	0,16	30,63
30/03/2022 18:25	3,50	242	4,39	58,60	7,59	0,11	0,16	30,43
30/03/2022 18:26	4,00	237	4,10	54,40	7,54	0,11	0,15	30,19
30/03/2022 18:27	4,51	234	3,62	48,00	7,49	0,11	0,15	30,03
30/03/2022 18:28	5,01	232	3,27	43,20	7,44	0,11	0,15	29,93
30/03/2022 18:29	5,51	231	3,13	41,30	7,42	0,11	0,15	29,89
30/03/2022 18:30	6,01	233	3,00	39,60	7,41	0,11	0,15	29,86
30/03/2022 18:31	6,51	236	2,92	38,60	7,41	0,11	0,15	29,85
30/03/2022 18:32	7,01	239	2,79	36,90	7,41	0,11	0,16	29,84
30/03/2022 18:33	7,50	240	2,78	36,70	7,41	0,11	0,16	29,82
30/03/2022 18:34	8,00	242	2,75	36,30	7,44	0,11	0,16	29,81
30/03/2022 18:35	9,01	243	2,61	34,50	7,41	0,11	0,16	29,78
30/03/2022 18:36	10,00	241	2,62	34,60	7,44	0,11	0,16	29,76

30/03/2022 18:37	11,00	258	1,05	13,80	7,34	0,12	0,17	29,70
30/03/2022 18:38	12,00	260	0,60	7,90	7,31	0,12	0,17	29,68
30/03/2022 18:39	13,00	269	0,38	4,90	7,30	0,13	0,18	29,62
30/03/2022 18:40	14,01	303	0,35	4,60	7,36	0,14	0,20	29,50
30/03/2022 18:41	15,01	319	0,32	4,20	7,40	0,15	0,21	29,45
30/03/2022 18:42	16,00	320	0,35	4,50	7,41	0,15	0,21	29,43
30/03/2022 18:43	17,00	327	0,31	4,10	7,41	0,15	0,21	29,38
30/03/2022 18:44	18,01	334	0,31	4,10	7,44	0,16	0,22	29,30
30/03/2022 18:45	19,01	335	0,30	3,90	7,40	0,16	0,22	29,25
30/03/2022 18:46	20,00	341	0,29	3,80	7,36	0,16	0,22	29,10
30/03/2022 18:47	21,00	343	0,29	3,70	7,33	0,16	0,22	28,99
30/03/2022 18:48	22,00	345	0,28	3,70	7,30	0,16	0,22	28,94
30/03/2022 18:49	23,00	345	0,28	3,60	7,30	0,16	0,22	28,90
30/03/2022 18:50	24,01	346	0,27	3,60	7,29	0,16	0,23	28,86
30/03/2022 18:51	25,00	347	0,28	3,60	7,26	0,16	0,23	28,78
30/03/2022 18:52	26,00	349	0,27	3,50	7,22	0,17	0,23	28,65
30/03/2022 18:53	27,01	350	0,27	3,50	7,21	0,17	0,23	28,62
30/03/2022 18:54	28,01	351	0,26	3,40	7,20	0,17	0,23	28,56
30/03/2022 18:55	29,01	352	0,26	3,40	7,20	0,17	0,23	28,56
30/03/2022 18:56	30,01	352	0,26	3,30	7,20	0,17	0,23	28,54
30/03/2022 18:57	31,00	352	0,26	3,40	7,20	0,17	0,23	28,54
30/03/2022 18:58	32,00	353	0,26	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53
30/03/2022 18:59	33,01	353	0,26	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53
30/03/2022 19:00	33,83	366	0,25	3,20	7,11	0,17	0,24	28,52

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4524	YSI, 6600 V2	Castanhão	37452	CTN-20	0,00	0,50	26,90

		$\mu\text{S/cm}$	mg/L O_2	%		%Mil	g/L	$^{\circ}\text{C}$
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
30/03/2022 21:09	0,30	238	6,33	85,10	7,93	0,11	0,16	30,88
30/03/2022 21:10	0,50	238	6,32	85,00	7,93	0,11	0,16	30,89
30/03/2022 21:11	1,00	238	6,33	85,00	7,93	0,11	0,16	30,87
30/03/2022 21:12	1,50	239	6,31	84,80	7,93	0,11	0,16	30,89
30/03/2022 21:13	2,01	239	6,31	84,80	7,92	0,11	0,16	30,87
30/03/2022 21:14	2,51	239	6,28	84,40	7,91	0,11	0,16	30,88
30/03/2022 21:15	3,00	239	6,03	81,00	7,88	0,11	0,16	30,87
30/03/2022 21:16	3,50	239	3,93	52,20	7,59	0,11	0,16	30,13
30/03/2022 21:17	4,00	234	3,62	48,00	7,51	0,11	0,15	30,04
30/03/2022 21:18	4,50	231	3,10	41,00	7,46	0,11	0,15	29,93
30/03/2022 21:19	5,00	231	3,03	39,90	7,44	0,11	0,15	29,86
30/03/2022 21:20	5,50	230	3,07	40,60	7,44	0,11	0,15	29,85
30/03/2022 21:21	6,00	236	2,88	38,00	7,43	0,11	0,15	29,85
30/03/2022 21:22	6,51	238	2,83	37,40	7,43	0,11	0,16	29,85
30/03/2022 21:23	7,00	242	2,72	35,90	7,43	0,11	0,16	29,82
30/03/2022 21:24	7,50	242	2,68	35,40	7,43	0,11	0,16	29,80
30/03/2022 21:25	8,01	243	2,56	33,70	7,42	0,11	0,16	29,78
30/03/2022 21:26	9,00	242	2,46	32,40	7,41	0,11	0,16	29,76
30/03/2022 21:27	10,01	256	1,01	13,30	7,38	0,12	0,17	29,70
30/03/2022 21:28	11,00	281	0,40	5,30	7,35	0,13	0,18	29,60
30/03/2022 21:29	12,01	293	0,34	4,40	7,37	0,14	0,19	29,53
30/03/2022 21:30	13,01	309	0,32	4,20	7,41	0,15	0,20	29,50
30/03/2022 21:31	14,01	314	0,31	4,10	7,43	0,15	0,20	29,48
30/03/2022 21:32	15,00	315	0,30	4,00	7,43	0,15	0,21	29,47

30/03/2022 21:33	16,00	315	0,29	3,90	7,43	0,15	0,21	29,46
30/03/2022 21:34	17,00	323	0,30	3,90	7,43	0,15	0,21	29,41
30/03/2022 21:35	18,01	334	0,29	3,70	7,43	0,16	0,22	29,29
30/03/2022 21:36	19,01	341	0,28	3,70	7,43	0,16	0,22	29,11
30/03/2022 21:37	20,01	342	0,28	3,60	7,41	0,16	0,22	29,05
30/03/2022 21:38	21,01	344	0,28	3,60	7,35	0,16	0,22	29,00
30/03/2022 21:39	22,00	344	0,27	3,60	7,36	0,16	0,22	28,96
30/03/2022 21:40	23,01	346	0,27	3,50	7,32	0,16	0,23	28,88
30/03/2022 21:41	24,01	348	0,27	3,50	7,28	0,16	0,23	28,79
30/03/2022 21:42	25,00	349	0,26	3,40	7,27	0,16	0,23	28,75
30/03/2022 21:43	26,00	348	0,26	3,40	7,27	0,16	0,23	28,73
30/03/2022 21:44	27,01	349	0,26	3,40	7,25	0,16	0,23	28,69
30/03/2022 21:45	28,01	350	0,26	3,40	7,23	0,17	0,23	28,62
30/03/2022 21:46	29,01	352	0,26	3,30	7,22	0,17	0,23	28,57
30/03/2022 21:47	30,01	352	0,26	3,30	7,21	0,17	0,23	28,54
30/03/2022 21:48	31,01	353	0,26	3,30	7,21	0,17	0,23	28,53
30/03/2022 21:49	32,01	353	0,25	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53
30/03/2022 21:50	33,00	353	0,25	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53
30/03/2022 21:51	34,00	353	0,25	3,30	7,20	0,17	0,23	28,52
30/03/2022 21:52	34,71	377	0,25	3,30	7,06	0,18	0,25	28,51

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4525	YSI, 6600 V2	Castanhão	37453	CTN-20			

		µS/cm	mg/L O ₂	%		%Mil	g/L	°C
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
31/03/2022 0:06	0,30	242	5,77	77,40	7,88	0,11	0,16	30,70

31/03/2022 0:06	0,31	242	5,77	77,40	7,88	0,11	0,16	30,70
31/03/2022 0:12	0,50	242	5,51	73,80	7,78	0,11	0,16	30,69
31/03/2022 0:13	1,01	242	5,51	73,80	7,78	0,11	0,16	30,69
31/03/2022 0:14	1,50	242	5,52	73,90	7,78	0,11	0,16	30,68
31/03/2022 0:15	2,00	242	4,93	66,00	7,70	0,11	0,16	30,62
31/03/2022 0:16	2,51	240	3,55	47,00	7,53	0,11	0,16	30,00
31/03/2022 0:17	3,00	236	3,66	48,30	7,52	0,11	0,15	29,88
31/03/2022 0:18	3,51	231	3,22	42,50	7,47	0,11	0,15	29,86
31/03/2022 0:19	4,01	233	3,02	39,80	7,45	0,11	0,15	29,85
31/03/2022 0:20	4,50	238	2,84	37,50	7,44	0,11	0,16	29,85
31/03/2022 0:21	5,01	243	2,51	33,10	7,42	0,11	0,16	29,83
31/03/2022 0:22	5,51	242	2,59	34,20	7,43	0,11	0,16	29,81
31/03/2022 0:23	6,01	242	2,48	32,70	7,42	0,11	0,16	29,77
31/03/2022 0:24	6,51	242	2,48	32,80	7,42	0,11	0,16	29,77
31/03/2022 0:25	7,00	241	2,33	30,70	7,41	0,11	0,16	29,76
31/03/2022 0:26	7,51	251	1,15	15,10	7,34	0,12	0,16	29,71
31/03/2022 0:27	8,00	251	1,00	13,10	7,33	0,12	0,16	29,71
31/03/2022 0:28	9,00	255	0,37	4,90	7,31	0,12	0,17	29,68
31/03/2022 0:29	10,01	269	0,38	4,90	7,32	0,13	0,18	29,63
31/03/2022 0:30	11,01	276	0,32	4,20	7,34	0,13	0,18	29,57
31/03/2022 0:31	12,01	289	0,30	4,00	7,36	0,14	0,19	29,56
31/03/2022 0:32	13,01	299	0,31	4,00	7,38	0,14	0,19	29,52
31/03/2022 0:33	14,00	312	0,29	3,80	7,42	0,15	0,20	29,48
31/03/2022 0:34	15,01	315	0,29	3,80	7,43	0,15	0,21	29,47
31/03/2022 0:35	16,01	325	0,28	3,70	7,43	0,15	0,21	29,39
31/03/2022 0:36	17,00	332	0,28	3,70	7,43	0,16	0,22	29,32
31/03/2022 0:37	18,00	337	0,28	3,70	7,41	0,16	0,22	29,24

31/03/2022 0:38	19,00	339	0,27	3,60	7,41	0,16	0,22	29,18
31/03/2022 0:39	20,00	342	0,27	3,60	7,38	0,16	0,22	29,09
31/03/2022 0:40	21,01	343	0,27	3,50	7,36	0,16	0,22	29,02
31/03/2022 0:41	22,01	344	0,27	3,50	7,34	0,16	0,22	28,96
31/03/2022 0:42	23,01	346	0,27	3,40	7,31	0,16	0,23	28,86
31/03/2022 0:43	24,01	348	0,27	3,50	7,28	0,16	0,23	28,81
31/03/2022 0:44	25,00	349	0,26	3,40	7,26	0,16	0,23	28,75
31/03/2022 0:45	26,00	349	0,26	3,40	7,25	0,16	0,23	28,72
31/03/2022 0:46	27,00	349	0,26	3,40	7,24	0,16	0,23	28,67
31/03/2022 0:47	28,00	350	0,26	3,30	7,23	0,17	0,23	28,63
31/03/2022 0:48	29,01	351	0,26	3,30	7,22	0,17	0,23	28,59
31/03/2022 0:49	30,01	352	0,26	3,30	7,21	0,17	0,23	28,56
31/03/2022 0:50	31,02	352	0,25	3,30	7,20	0,17	0,23	28,55
31/03/2022 0:51	32,01	353	0,25	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53
31/03/2022 0:52	33,01	353	0,25	3,30	7,19	0,17	0,23	28,53
31/03/2022 0:53	34,01	353	0,25	3,20	7,19	0,17	0,23	28,52
31/03/2022 0:54	34,70	421	0,25	3,20	6,95	0,20	0,27	28,49

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4526	YSI, 6600 V2	Castanhão	37453	CTN-20			

		$\mu\text{S/cm}$	mg/L O_2	%		%Mil	g/L	$^{\circ}\text{C}$
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
31/03/2022 3:23	0,30	243	4,50	59,90	7,64	0,11	0,16	30,36
31/03/2022 3:24	0,51	243	4,49	59,80	7,64	0,11	0,16	30,35
31/03/2022 3:25	1,01	242	4,35	57,80	7,62	0,11	0,16	30,30
31/03/2022 3:26	1,50	240	4,07	54,10	7,59	0,11	0,16	30,23

31/03/2022 3:27	2,00	239	4,01	53,10	7,58	0,11	0,16	30,00
31/03/2022 3:28	2,51	239	3,74	49,40	7,55	0,11	0,16	29,92
31/03/2022 3:29	3,00	238	3,55	46,90	7,53	0,11	0,16	29,89
31/03/2022 3:30	3,51	234	3,14	41,40	7,48	0,11	0,15	29,86
31/03/2022 3:31	4,01	232	3,03	39,90	7,45	0,11	0,15	29,85
31/03/2022 3:32	4,50	243	2,68	35,40	7,44	0,11	0,16	29,83
31/03/2022 3:33	5,00	242	2,53	33,40	7,44	0,11	0,16	29,80
31/03/2022 3:34	5,50	242	2,51	33,00	7,43	0,11	0,16	29,78
31/03/2022 3:35	6,01	245	1,92	25,40	7,40	0,11	0,16	29,74
31/03/2022 3:36	6,50	250	1,28	16,80	7,36	0,12	0,16	29,72
31/03/2022 3:37	7,01	251	1,09	14,30	7,35	0,12	0,16	29,71
31/03/2022 3:38	7,50	250	0,70	9,30	7,33	0,12	0,16	29,71
31/03/2022 3:39	8,01	252	0,45	5,90	7,32	0,12	0,16	29,69
31/03/2022 3:40	9,01	267	0,34	4,50	7,32	0,13	0,17	29,64
31/03/2022 3:41	10,01	269	0,31	4,10	7,33	0,13	0,18	29,58
31/03/2022 3:42	11,00	283	0,31	4,10	7,36	0,13	0,18	29,55
31/03/2022 3:43	12,00	298	0,31	4,00	7,39	0,14	0,19	29,54
31/03/2022 3:44	13,00	306	0,29	3,90	7,41	0,14	0,20	29,51
31/03/2022 3:45	14,01	309	0,30	3,90	7,42	0,14	0,20	29,49
31/03/2022 3:46	15,00	317	0,29	3,90	7,43	0,15	0,21	29,46
31/03/2022 3:47	16,01	329	0,29	3,80	7,44	0,16	0,21	29,39
31/03/2022 3:48	17,00	331	0,30	3,90	7,44	0,16	0,22	29,35
31/03/2022 3:49	18,01	336	0,28	3,70	7,42	0,16	0,22	29,26
31/03/2022 3:50	19,00	338	0,28	3,60	7,42	0,16	0,22	29,22
31/03/2022 3:51	20,01	340	0,27	3,60	7,40	0,16	0,22	29,15
31/03/2022 3:52	21,00	343	0,27	3,60	7,36	0,16	0,22	29,03
31/03/2022 3:53	22,01	344	0,27	3,50	7,36	0,16	0,22	28,99

31/03/2022 3:54	23,01	346	0,27	3,50	7,34	0,16	0,23	28,90
31/03/2022 3:55	24,00	347	0,26	3,40	7,31	0,16	0,23	28,83
31/03/2022 3:56	25,01	348	0,26	3,40	7,28	0,16	0,23	28,79
31/03/2022 3:57	26,00	348	0,26	3,40	7,27	0,16	0,23	28,75
31/03/2022 3:58	27,01	349	0,27	3,50	7,25	0,16	0,23	28,69
31/03/2022 3:59	28,01	350	0,26	3,30	7,23	0,17	0,23	28,63
31/03/2022 4:00	29,00	352	0,26	3,30	7,21	0,17	0,23	28,57
31/03/2022 4:01	30,00	352	0,26	3,30	7,21	0,17	0,23	28,56
31/03/2022 4:02	31,01	353	0,26	3,30	7,20	0,17	0,23	28,54
31/03/2022 4:03	32,00	353	0,25	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53
31/03/2022 4:04	33,01	353	0,26	3,30	7,20	0,17	0,23	28,53
31/03/2022 4:05	34,01	354	0,25	3,30	7,19	0,17	0,23	28,52
31/03/2022 4:06	34,71	395	0,25	3,20	6,98	0,19	0,26	28,50

Perfilagem	Sonda	Corpo Hídrico	Visita	Ponto	Secchi(m)	V.vento (m/s)	Temp.Ar (oC)
4527	YSI, 6600 V2	Castanhão	37453	CTN-20			

		$\mu\text{S/cm}$	mg/L O_2	%		%Mil	g/L	$^{\circ}\text{C}$
Data e Hora	Prof.	C. Elét.	OD	OD%	pH	Salinidade	Sól. Dissolv. Totais	Temperatura Água
31/03/2022 6:15	0,30	240	3,83	50,70	7,57	0,11	0,16	29,99
31/03/2022 6:16	0,52	240	3,82	50,60	7,56	0,11	0,16	29,99
31/03/2022 6:17	1,01	240	3,83	50,70	7,56	0,11	0,16	30,01
31/03/2022 6:18	1,51	241	3,84	50,80	7,56	0,11	0,16	30,01
31/03/2022 6:19	2,01	240	3,78	50,10	7,56	0,11	0,16	30,01
31/03/2022 6:21	2,51	239	3,60	47,60	7,53	0,11	0,16	29,98
31/03/2022 6:22	3,00	236	3,31	43,70	7,51	0,11	0,15	29,89
31/03/2022 6:23	3,50	234	3,16	41,70	7,48	0,11	0,15	29,86

31/03/2022 6:24	4,01	235	2,72	36,00	7,45	0,11	0,15	29,84
31/03/2022 6:25	4,50	243	2,49	32,90	7,43	0,11	0,16	29,82
31/03/2022 6:26	5,01	243	2,45	32,30	7,43	0,11	0,16	29,80
31/03/2022 6:27	5,51	242	2,43	32,00	7,43	0,11	0,16	29,77
31/03/2022 6:28	6,00	243	2,01	26,40	7,40	0,11	0,16	29,75
31/03/2022 6:29	6,51	247	1,53	20,20	7,38	0,12	0,16	29,73
31/03/2022 6:30	7,00	249	1,27	16,70	7,36	0,12	0,16	29,72
31/03/2022 6:31	7,50	246	0,76	10,10	7,33	0,12	0,16	29,71
31/03/2022 6:32	8,00	233	0,40	5,30	7,29	0,11	0,15	29,70
31/03/2022 6:33	9,01	259	0,36	4,70	7,30	0,12	0,17	29,67
31/03/2022 6:34	10,00	266	0,31	4,10	7,32	0,12	0,17	29,62
31/03/2022 6:35	11,00	267	0,31	4,10	7,33	0,13	0,17	29,57
31/03/2022 6:36	12,00	293	0,29	3,80	7,40	0,14	0,19	29,54
31/03/2022 6:37	13,01	301	0,29	3,80	7,40	0,14	0,20	29,52
31/03/2022 6:38	14,01	302	0,29	3,80	7,41	0,14	0,20	29,51
31/03/2022 6:39	15,01	315	0,28	3,70	7,43	0,15	0,21	29,47
31/03/2022 6:40	16,00	322	0,31	4,10	7,45	0,15	0,21	29,44
31/03/2022 6:41	17,00	330	0,28	3,70	7,45	0,16	0,22	29,37
31/03/2022 6:42	18,00	335	0,27	3,60	7,44	0,16	0,22	29,30
31/03/2022 6:43	19,01	338	0,27	3,60	7,42	0,16	0,22	29,22
31/03/2022 6:44	20,00	342	0,27	3,50	7,40	0,16	0,22	29,09
31/03/2022 6:45	21,00	343	0,27	3,50	7,37	0,16	0,22	29,05
31/03/2022 6:46	22,01	344	0,27	3,40	7,36	0,16	0,22	29,00
31/03/2022 6:47	23,00	345	0,26	3,40	7,33	0,16	0,22	28,91
31/03/2022 6:48	24,00	346	0,26	3,40	7,31	0,16	0,23	28,82
31/03/2022 6:49	25,01	347	0,26	3,40	7,30	0,16	0,23	28,81
31/03/2022 6:50	26,01	347	0,27	3,40	7,29	0,16	0,23	28,77

31/03/2022 6:51	27,00	349	0,26	3,40	7,27	0,16	0,23	28,72
31/03/2022 6:52	28,01	350	0,26	3,30	7,25	0,17	0,23	28,67
31/03/2022 6:53	29,00	352	0,25	3,30	7,21	0,17	0,23	28,56
31/03/2022 6:54	30,01	353	0,25	3,30	7,21	0,17	0,23	28,55
31/03/2022 6:55	31,01	353	0,25	3,20	7,20	0,17	0,23	28,53
31/03/2022 6:56	32,01	353	0,25	3,20	7,20	0,17	0,23	28,53
31/03/2022 6:57	33,01	354	0,25	3,20	7,20	0,17	0,23	28,52
31/03/2022 6:58	34,00	355	0,25	3,20	7,20	0,17	0,23	28,52



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-84	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47086-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thais Rodrigues Gomes	
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36464
Data de coleta: 19/10/2021	Horário: 09:49	PQR:
Ponto: CTN-20 RNQA:	Prof. de coleta(m): 0,30	...GEM: 63058

RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Coelomoron sp.</i>	10.619,00	354,00
<i>Merismopedia tenuissima</i>		
<i>Pseudanabaena catenata</i>		
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	44.598,00	1.770,00
Total	55.217,00	2.124,00
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Bacillariophyceae		
<i>Fragilaria sp.</i>	35,0	35,0
<i>Nitzschia palea</i>	71,0	71,0
Coccinodiscophyceae		
<i>Aulacoseira granulata var. Granulata</i>	71,0	35,0
Chlorophyceae		
<i>Monoraphidium contortum</i>	142,0	142,0
Cryptophyceae		
<i>Cryptoglena ovata</i>	35,0	35,0
Trebouxiophyceae		
<i>Actinastrum hantzschii</i>	283,0	35,0
<i>Hindakia tetrachotoma</i>	283,0	35,0
Total	920,0	388,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Loida Silva Coelho
CRBio 117.985/04



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-86	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47084-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thais Rodrigues Gomes	
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36464
Data de coleta: 19/10/2021	Horário: 15:42	PQR:
Ponto: CTN-20	RNQA:	...GEM: 63060
	Prof. de coleta(m): 0,30	

RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Coelomonon sp.</i>		
<i>Phormidium sp.</i>		
<i>Pseudanabaena catenata</i>	55.748,0	4.424,0
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	119.459,0	6.194,0
Total	175.207,0	10.618,0
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Bacillariophyceae		
<i>Fragilaria sp.</i>	265,0	265,0
<i>Nitzschia paela</i>	44,0	44,0
Cocciodiscophyceae		
<i>Aulacoseira granulata var. Granulata</i>	531,0	265,0
Chlorophyceae		
<i>Acutodesmus acuminatus</i>	177,0	44,0
<i>Pectinodesmus pectinatus</i>	354,0	88,0
Cryptophyceae		
<i>Cryptomonas ovata</i>	4513,0	4513,0
Trebouxiophyceae		
<i>Actinastrum hantzschii</i>	354,0	44,0
<i>Micractinium pusillum</i>	1062,0	354,0
Zygnemaphyceae		
<i>Closterium acutum</i>	44,0	44,0
Total	7344,0	5661,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Lóiola Silva Coelho
CRBio 117.985/04



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-88	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47082-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thais Rodrigues Gomes	
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36464
Data de coleta: 19/10/2021	Horário: 21:43	PQR:
Ponto: CTN-20 RNQA:	Prof. de coleta(m): 0,30	...GEM: 63062

RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Aphanocapsa annulata</i>	16.518,0	590,0
<i>Merismopedia tenuissima</i>		
<i>Pseudanabaena catenata</i>	38.345,0	1.770,0
<i>Planktothrix agardhii</i>	71.971,0	1.770,0
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	42.474,0	1.770,0
Total	169.308,0	5.900,0
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Bacillariophyceae <i>Fragilaria</i> sp.	212,0	212,0
Coccinodiscophyceae <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>Granulata</i>	1203,0	602,0
Cryptophyceae <i>Cryptomonas marssonii</i> <i>Cryptomonas ovata</i>	1,0	71,0
	425,0	425,0
Trebouxiophyceae <i>Actinasatrum hantzschii</i> <i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	566,0	71,0
	425,0	71,0
Total	2832,0	1452,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Loida Silva Coelho
CRBio 117.985/04



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-90	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47080-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thais Rodrigues Gomes		
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36465	
Data de coleta: 20/10/2021	Horário: 03:45	PQR:	
Ponto: CTN-20	RNQA:	Prof. de coleta(m): 0,30	...GEM: 63083

RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Chroococcus sp.</i>		
<i>Dolichospermum solitarium</i>		
<i>Merismopedia minima</i>		
<i>Merismopedia tenuissima</i>	1.770,0	1.180,0
<i>Pseudanabaena catenata</i>	22.417,0	1.770,0
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	82.589,0	6.489,0
Total	106.776,0	9.439,0
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Coscinodiscophyceae		
<i>Aulacoseira granulata var. Angustissima</i>	71,0	35,0
<i>Aulacoseira granulata var. Granulata</i>	142,0	71,0
Chlorophyceae		
<i>Coelastrum microporum</i>	283,0	35,0
Cryptophyceae		
<i>Cryptomonas ovata</i>	389,0	389,0
Mediophyceae		
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	35,0	35,0
Trebouxiophyceae		
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	212,0	35,0
Zygnemaphyceae		
<i>Closterium acutum</i>	35,0	35,0
Total	1167,0	635,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Lóiola Silva Coelho
CRBio 117.985/04



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-85	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47085-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thais Rodrigues Gomes	
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36464
Data de coleta: 19/10/2021	Horário: 10:43	PQR:
Ponto: CTN-100 RNQA:	Prof. de coleta(m): 0,30	...GEM: 63072

RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Coelomonon sp.</i>		
<i>Merismopedia tenuissima</i>		
<i>Planktothrix agardhii</i>	44.244,0	885,0
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	1.266.538,0	5.309,0
Total	1.310.782,0	6.194,0
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Coscinodiscophyceae	<i>Aulacoseira granulata var. Angustissima</i> 71,0	35,0
	<i>Aulacoseira granulata var. Granulata</i> 354,0	177,0
Cryptophyceae	<i>Cryptomonas ovata</i> 106,0	106,0
Dinophyceae	<i>Gymnodinium sp.</i> 35,0	35,0
Trebouxiophyceae	<i>Keratococcus bicaudatus</i> 35,0	35,0
Total	601,0	388,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Lóiola Silva Coelho
CRBio 117.985/04



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-87	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47083-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thais Rodrigues Gomes	
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36464
Data de coleta: 19/10/2021	Horário: 16:25	PQR:
Ponto: CTN-100	RNQA:	...GEM: 63076
	Prof. de coleta(m): 0,30	

RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Anagnostidinema amphibium</i>		
<i>Merismopedia tenuissima</i>	42.474,0	1.770,0
<i>Microcystis aeruginosa</i>	198.214,0	1.770,0
<i>Pseudanabaena catenata</i>	56.633,0	3.540,0
<i>Phormidium sp.</i>		
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	120.344,0	5.309,0
Total	417.665,0	12.389,0
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Bacillariophyceae <i>Nitzschia palea</i>	37,0	35,0
Coccinodiscophyceae <i>Aulacoseira granulata var. Angustissima</i>	147,0	74,0
<i>Aulacoseira granulata var. Granulata</i>	664,0	332,0
Chlorophyceae <i>Coelastrum microporum</i>	295,0	37,0
<i>Monoraphidium contortum</i>	37,0	37,0
<i>Schroederia setigera</i>	37,0	37,0
Cryptophyceae <i>Cryptomonas ovata</i>	2470,0	2470,0
Trebouxiophyceae <i>Actinastrum hantzschii</i>	295,0	37,0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	221,0	37,0
Zygnemaphyceae <i>Closterium acutum</i>	37,0	37,0
<i>Staurastrum tetracerum</i>	37,0	37,0
Total	4277,0	3170,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Loida Silva Coelho
CRBio 117.985/04



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-89	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47081-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thais Rodrigues Gomes	
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36464
Data de coleta: 19/10/2021	Horário: 22:31	PQR:
Ponto: CTN-100	RNQA:	...GEM: 63080
	Prof. de coleta(m): 0,30	

RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Aphanocapsa annulata</i>	26.547,0	885,0
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>		
<i>Coelomonon tropicale</i>	24.777,0	885,0
<i>Merismopedia tenuissima</i>		
<i>Microcystis sp.</i>		
<i>Pseudanabaena catenata</i>	53.978,0	3.540,0
<i>Planktothrix isoethrix</i>	40.705,0	885,0
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	96.452,0	5.309,0
Total	242.459,0	11.504,0
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Bacillariophyceae		
<i>Fragilaria sp.</i>	71,0	35,0
<i>Nitzschia palea</i>	71,0	71,0
Coscinodiscophyceae		
<i>Aulacoseira granulata var. Angustissima</i>	212,0	106,0
<i>Aulacoseira granulata var. Granulata</i>	566,0	283,0
Chlorophyceae		
<i>Tetraedron minimum</i>	35,0	35,0
Cryptophyceae		
<i>Cryptomonas ovata</i>	389,0	389,0
Total	1344,0	919,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Lioila Silva Coelho
CRBio 117.985/04



CONÁGUA AMBIENTAL LTDA.
CNPJ: 01.615.998/0001-00
Rua 91, nº 771 – Setor Sul – Goiânia – GO – CEP: 74083-150

RMQA-COGERH | RNQA-Agência Nacional de Águas

LAUDO DE ANÁLISES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Contrato: 018/2020/COGERH

RESERVADO AO LABORATÓRIO

Controle Entrada: LNO-91	Data Entrada: 08/11/2021	Horário: 16:00
Código Laudo: Conágua 47079-1/2021.0	Data Laudo: 22/11/2021	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Município: Alto Santo

CORPO HÍDRICO: Castanhão	RESPONSÁVEL COLETA: Marleuda Thaís Rodrigues Gomes	
Nº Modalidade: 16m	Ident. Camp.: out/2021	Nº Visita: 36465
Data de coleta: 20/10/2021	Horário: 04:35	PQR:
Ponto: CTN-100	RNQA:	...GEM: 63089
	Prof. de coleta(m): 0,30	

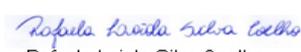
RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Método: Utermohl

Sonda: YSI, 6600 V2

Cianobactérias		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	14.158,0	590,0
<i>Aphanocapsa elachista</i>		
<i>Coelomoron tropicale</i>		
<i>Merismopedia tenuissima</i>	37.755,0	1.770,0
<i>Phormidium sp.</i>	30.676,0	590,0
<i>Pseudanabaena catenata</i>	7.079,0	590,0
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	70.791,0	5.309,0
Total	160.459,0	8.849,0
Demais Grupos		
Organismos identificados	Células/mL	Indivíduos/mL
Bacillariophyceae <i>Fragilaria sp.</i>	106,0	106,0
Coccinodiscophyceae <i>Aulacoseira granulata var. Angustissima</i>	71,0	35,0
Cryptophyceae <i>Cryptomonas ovata</i>	106,0	106,0
Trebouxiophyceae <i>Actinastrum hantzschii</i>	283,0	35,0
<i>Hindakia tetrachotoma</i>	425,0	35,0
Total	991,0	317,0


Wilma Maria Coelho
CRBio 008.586/04


Rafaela Loiola Silva Coelho
CRBio 117.985/04