



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS  
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS  
ÁGUAS**

**JULIO SILVA DA SILVA  
SORAIA AZEVEDO COSTA**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DE OPERAÇÃO  
PORTUÁRIA DA COMPANHIA DOCAS DO PARÁ NO MUNICÍPIO DE  
SANTARÉM.**

**Santarém  
2022**

**JULIO SILVA DA SILVA  
SORAIA AZEVEDO COSTA**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DE OPERAÇÃO  
PORTUÁRIA DA COMPANHIA DOCAS DO PARÁ NO MUNICÍPIO DE  
SANTARÉM.**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Bacharelado interdisciplinar em ciências e tecnologia das águas, da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia das Águas.  
**Orientador:** Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja

**Santarém  
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/ UFOPA**

---

S586i Silva, Júlio Silva da  
Índice de qualidade da água em área de influência de operação portuária da Companhia Docas do Pará no município de Santarém. / Júlio Silva da Silva, Soraia Azevedo Costa. – Santarém, 2022.

42 p.: il.

Inclui bibliografias.

Orientador: José Reinaldo Pacheco Peleja.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia das Águas.

1. Controle de qualidade da água. 2. Recursos hídricos – Santarém (PA). 3. Água – Purificação. 4. Regime fluvial – Amazônia. I. Costa, Soraia Azevedo, *autoria*. II. Peleja, José Reinaldo Pacheco, *orient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 628.162098115

---

Bibliotecária – Documentalista: Creuza Andréa Santos CRB-2/1352



**Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA**  
**Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas – ICTA**  
**Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas - BICTA**

**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos 14 (quatorze) dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte dois (2022), às 16:00 horas, realizou-se na sala meet.google.com/fng-kdcr-tyo do(a) Google Meet, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso dos discentes **Júlio Silva da Silva** e **Soraia Azevedo Costa** intitulado “*Índice de Qualidade da Água (IQA) do Rio Tapajós na Área de Influência de Operação Portuária da Companhia Docas do Pará no Município de Santarém*”, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências e Tecnologia das Águas. Os trabalhos foram conduzidos pelo(a) professor(a) José Reinaldo Pacheco Peleja, orientador(a) dos discentes e presidente da Banca Examinadora, constituída, também, pelos membros convidados Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andreia Cavalcante Pereira e Prof. Dr. Ezequias Procópio Brito. Após apresentação do Trabalho de Conclusão e Curso, a Banca Examinadora passou à arguição dos discentes. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral dos discentes, considerando-os **APROVADOS**. Proclamados os resultados pelo(a) presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu José Reinaldo Pacheco Peleja, na qualidade de professor(a) orientador(a) do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Santarém/PA, 14 de julho de 2022.

Presidente/orientador(a): **Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja**

Membro: **Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andreia Cavalcante Pereira**



Membro: **Prof. Dr. Ezequias Procópio Brito**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos em primeiro lugar a Deus, por tantas bênçãos nos concedidas, durante toda nossa jornada no curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas.

Agradecemos a Universidade Federal do Oeste do Pará, através do Laboratório de Biologia Ambiental e todo corpo técnico pelo apoio e ensinamentos para realização desta pesquisa e ao nosso Professor e orientador Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja, pela paciência e profissionalismo. Por acreditar em nossa capacidade de desenvolver este presente trabalho, pelo tempo e empenho concedido na reta final que foram excepcionais para conclusão deste mesmo.

Eu Júlio agradeço aos meus pais José Raimundo Mendes da Silva (Sr Dico) e Eliana Silva da Silva (Dona Eliana), por abrir mão de seu filho, e me deixar ir morar fora de minha cidade natal e até mesmo fora do estado para alcançar meus objetivos. Agradeço as minhas irmãs, Juliany Silva da Silva e Jaqueline Silva da Silva, por todo carinho e de sempre acreditar em meu potencial.

Eu Soraia agradeço aos meus pais Simão Costa Filho e Maria Santíssima Correa Azevedo, apesar do pouco estudo sempre acreditaram na minha capacidade de um dia alcançar uma graduação, para isso abdicaram de muitas coisas em nossas vidas.

A nossa querida amiga Kilsiane da Costa Correa, por se nosso Norte para começar a escrever este presente trabalho, com suas dicas, disponibilidade e toda atenção e carinho conosco em horas de aflição. Nos mostrou o caminho por onde começar e mantendo sempre a direção dos nossos objetivos. Deus com sua infinita bondade continue sempre lhe abençoando.

Aos nossos amigos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste ciclo, em especial nossa amiga mais próxima Josiane Ribeiro Franco, com sua história de superação, garra e luta que nos motivou a não desistir em nenhum momento.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área de estudo evidenciando a distribuição dos pontos de coleta.	20
Figura 2 – Distribuição dos valores médios de pH entre os anos, independente de fase do regime fluvial. ....	11
<i>Figura 3 – Distribuição dos valores médios de temperatura entre os anos, independente de fase do regime fluvial.</i> .....	14
Figura 4 – Distribuição dos valores médios de temperatura entre as fases do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano. ....	14
Figura 5 – Distribuição dos valores médios de Turbidez entre as fases do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano. ....	15
Figura 6 – Distribuição dos valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos entre os anos, independente de fase do regime fluvial. ....	16
Figura 7 – Distribuição dos valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos entre as fases do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano. ....	17
Figura 8 – Valores médios de índices de Qualidade da Água – IQA por ano de coleta, independente de fase. ....	19
Figura 9 – Valores médios de índices de Qualidade da Água – IQA por fase do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano. ....	20
Figura 10 – Valores médios de índices de Qualidade da Água – IQA entre os locais de coleta no rio Tapajós, independente de Ano e fase do regime fluvial. ....	21

## TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos amostrais. ....	20
Tabela 2 – Pesos dos parâmetros para cálculo do IQA, segundo IGAM (2018). .....	21
Tabela 3 – Classificação do IQA, Von Sperling (2007). ....	23
Tabela 4 – Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) dos parâmetros analisados considerando os dados dos anos 2017, 2018 e 2019. ....	10
Tabela 5 – Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) e classificação qualitativa do IQA do rio Tapajós. ....	18

## LISTA DE ABREVIações SIGLAS

AA	Águas altas
AB	Águas baixas
ANA	Agência Nacional das Águas
CT	Coliformes totais
CTER	Coliformes termotolerantes
CDP	Companhia Docas do Pará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ENCH	Enchente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQA	Índice de Qualidade da Água
pH	Potencial hidrogeniônico
UFC	Unidade Formadora de Colônia
VAZ	Vazante

## RESUMO

Este trabalho objetivou investigar condições de qualidade da água superficial do rio Tapajós na área sob influência de operação portuária da Companhia Docas do Pará no município de Santarém, o mais importante centro de operações portuárias do oeste do estado do Pará. Para tal, amostras de água foram coletadas durante os anos de 2017, 2018 e 2019, com frequência trimestral, realizadas em dois pontos superficiais do canal principal do rio Tapajós, sendo um ponto na área de operação portuária e outro ponto considerado como controle situado três quilômetros a montante. Confrontou-se os valores dos parâmetros indicadores de qualidade da água analisados com os padrões estabelecidos na resolução 357 do Conama de 2005. Foram gerados índices de qualidade da água (IQA) para a área de operação portuária e para área considerada controle. Dos nove parâmetros considerados para o cálculo do IQA somente três – pH, temperatura e sólidos totais dissolvidos, apresentaram pelo menos uma diferença estatisticamente significativa entre os anos de 2017, 2018 e 2019. Quando considerados os testes para a identificação de variação significativa entre as fases do regime fluvial (águas baixas, enchente, águas altas e vazante), as variações foram para temperatura, turbidez e sólidos totais dissolvidos. A faixa de IQA variou de 78 – *Classe Boa* a 84 – *Classe Ótima*; mantendo-se relativamente constante ao longo dos três anos avaliados com predomínio da classe de qualidade ótima. Relativo às fases do regime fluvial do rio Tapajós os valores de IQA tenderam a ser mais rebaixados nas fases de enchente e águas altas e mais satisfatórios e na mesma ordem de magnitude nas fases de vazante e de águas baixas. Por fim não houve diferença significativa para os valores de IQA entre o ponto de coleta inserido na área de operação portuária (IQA = 80,7) e o ponto considerado como background/controle (IQA = 83), situado aproximadamente três quilômetros à montante do porto. Apesar dos valores médios dos IQAs ainda não se diferenciarem estatisticamente entre os referidos pontos, uma avaliação conservadora dos resultados permite inferir que já há uma aparente degradação do índice de qualidade da água no ponto da área de operação portuária.

**Palavras-chave:** Monitoramento. Recursos hídricos. Amazônia Regime fluvial.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 Importância da água para sociedade .....	10
2.2 Índice de qualidade da água (IQA).....	11
2.3 Oxigênio dissolvido (OD) .....	12
2.4 Coliformes termotolerantes .....	12
2.5 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	13
2.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	13
2.7 Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	14
2.8 Fósforo total .....	14
2.9 Temperatura da água.....	15
2.10 Turbidez .....	15
2.11 Sólidos totais dissolvidos .....	16
2.12 Monitoramento de águas superficiais .....	16
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 GERAL.....	18
3.2 ESPECÍFICOS .....	19
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1 Área de estudo .....	19
4.2 Pontos amostrais .....	20
4.3 Procedimentos de campo e laboratoriais .....	20
4.4 Procedimentos de cálculo do IQA .....	21
4.5 Delineamento Experimental e Análise Estatística.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
5.1 Parâmetros de Qualidade da Água e Condição de Qualidade Frente à Resolução 357 do CONAMA .....	23

5.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	10
5.2.2 Oxigênio Dissolvido (OD).....	11
5.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) .....	11
5.2.4 Nitrato (NO <sub>3</sub> ) .....	12
5.2.5 Fósforo Total (PT).....	12
5.2.6 Temperatura (T).....	12
5.2.7 Turbidez.....	14
5.2.8 Sólidos totais dissolvidos (TDS) .....	16
5.2.9 Coliformes Termotolerantes.....	17
5.2.10 Índice de Qualidade da Água - IQA .....	18
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>23</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

A maioria das cidades amazônicas, principalmente as mais antigas foram sendo habitadas as margens dos diversos rios do vale da bacia amazônica, este também é o caso da cidade de Santarém, no estado do Pará, construída na foz do rio Tapajós, na confluência com o rio Amazonas (SALES, 2021).

Santarém é uma cidade cercada pelo rio Tapajós, sendo de comum acesso de embarcações municipais, estaduais e internacionais, bem como para transporte, lazer e comercial. O porto Docas construído principalmente para fins de importações e exportações, recebe frequentemente embarcações, as quais realizam a descarga de fertilizantes em minério e realizam o carregamento de grãos a granel para serem exportados, assim como lançam efluentes sobre as águas, podendo afetar a qualidade desta.

De acordo com Barreto et al (2014) o monitoramento dos corpos d'água, tanto qualitativo quanto quantitativo, torna-se muito importante, pois além de se evitar possíveis agravantes na saúde pública, podem-se promover planos ou projetos que visem à recuperação dos corpos de água degradados pelas atividades antrópicas.

Portanto o presente trabalho objetivou monitorar os aspectos físico-químicos e microbiológicos da água superficial do rio Tapajós na área de domínio da Companhia Docas do Pará em Santarém-PA e avaliar se as atividades realizadas nessa área alteram a qualidade da água.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Importância da água para sociedade**

A água representa um valor necessário para todo tipo de vida do planeta. Pois é um elemento bastante importante para a geração e a manutenção da vida no planeta. Portanto, a existência dos seres vivos na Terra se deve graças à presença da água em seu estado líquido na biosfera (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

Antes da existência do Homo sapiens no planeta Terra a água era utilizada exclusivamente para manter o funcionamento dos ecossistemas. A presença da espécie humana, o desenvolvimento da agricultura (sobretudo da agricultura irrigada) e da indústria, e a diversificação dos usos múltiplos da água introduziram novos tipos de apropriação dos recursos hídricos

superficiais e subterrâneos, produzindo estresse hídrico (conflito crescente entre os diversos usos de água) ou escassez de água (desequilíbrio entre disponibilidade e demandas) (TUNDISI, J.G. et al.,2014. P.1).

Segundo Schiavetti e Camargo (2002) apenas 0,6% da água da terra pode ser utilizada mais facilmente pelos seres vivos. Desta fração de 0,6%, apenas 1,6% apresenta-se na forma superficial, facilitando, assim, a sua captação. Por isso, ressalta-se a grande importância da preservação dos recursos hídricos.

## **2.2 Índice de qualidade da água (IQA)**

O conceito de qualidade da água é muito maior do que sua simples caracterização pela fórmula molecular  $H_2O$ . Isto porque a água, devido às suas propriedades de diluir e sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água, resultante tanto de fenômenos naturais quanto da atuação do homem, em geral, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água se dá pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. (VON SPERLING, 1996)

A interpretação de dados e parâmetros de qualidade da água ainda é de difícil compreensão ao público leigo, pois são muitos parâmetros, por esse motivo diversos pesquisadores têm feito muitos esforços de reproduzir em único valor o significado de um conjunto de dados de distintas naturezas (LIBÂNIO, 2010).

O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso em especial para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (ANA, 2022).

A criação do IQA baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores “rating”. Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água inicialmente propostos, somente nove foram selecionados (CETESB, 2017).

Dentre os parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas estão: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes,

potencial Hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosforo total, variação da temperatura da água, turbidez e sólidos totais (IGAM, 2018).

Para permitir que o público leigo compreenda como está classificado determinado corpo d'água, foi desenvolvido valores do índice da qualidade da água que variam entre 0 e 100. Sendo assim quanto mais próximo de 0 a qualidade torna-se menor e quanto mais próximo de 100 qualifica-se maior.

### **2.3 Oxigênio dissolvido (OD)**

Conforme Pinto (2007), o oxigênio dissolvido refere-se ao oxigênio molecular (O<sub>2</sub>) dissolvido na água. A temperatura interfere na concentração de OD, assim como a pressão atmosférica, a salinidade, as atividades biológicas, as características hidráulicas (existência de corredeiras ou cachoeiras) e, indiretamente o aumento de OD em sistemas aquáticos ocorre por interferências antrópicas, como um dos maiores fatores o lançamento de efluentes nos cursos d'água. A unidade de OD utilizada é mg/L.

Na mesma linha de raciocínio Frota e Vasconcelos (2019) diz que quando a água é aquecida, o OD escapa. Portanto quando as águas de um rio ficam mais quentes, há também menos oxigênio dissolvido. Com menos oxigênio, as plantas e os animais que ali habitam são prejudicados.

Nas águas, é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos e, com relação aos corpos d'água, a concentração de oxigênio dissolvido é importante para definir a classe que se enquadram, de acordo com Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005).

### **2.4 Coliformes termotolerantes**

O grupo dos coliformes totais não é de origem exclusivamente fecal, assim limitando sua aplicação como indicador específico de contaminação fecal. Sabendo desse fato foi desenvolvido um subgrupo de coliformes denominados termotolerantes ou comumente conhecido como coliformes fecais, os quais são diferenciados dos

coliformes totais pela sua capacidade de fermentar a lactose em temperatura elevada (CETESB, 2018).

Conforme Anvisa (2004), coliformes termotolerantes é subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal.

Coliformes fecais em águas de superfície aumentam em regiões mais próximas de grandes concentrações humanas como consequência da falta de tratamento do esgoto doméstico (TUNDISI et al. 2014).

## **2.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Segundo Fonseca (2018), no ano de 1909 o bioquímico dinamarquês Soren Peter Lauritz Sorensen trabalhando no controle de cerveja introduziu o termo potencial Hidrogeniônico (pH) para expressar concentrações muito pequenas de íons hidrogênio em soluções aquosas.

Contudo o Potencial Hidrogeniônico (pH) passou a ser utilizado para expressar a intensidade da condição ácida ou básica de uma solução e é uma maneira de expressar a concentração do íon hidrogênio (MELO; NEPOMUCENO, 2017).

Para Libânio (2010, p.43):

O pH influi no grau de solubilidade de diversas substâncias, e como consequência na intensidade da cor, na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, definindo também o potencial de toxicidade de vários elementos (LIBÂNIO, 2010, p.43).

## **2.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**

Segundo Borsuk e Stow (2000), a água residuária lançada em um corpo hídrico contém material orgânico, estes são degradados e absorvidos por micro-organismos, assim consumindo oxigênio nessa atividade metabólica. Quanto maior a concentração de matéria orgânica, maior será a perda nos níveis de oxigênio dissolvido (OD) e com isso serão agravadas as condições proporcionadas ao meio aquático, podendo ocasionar mortandade de peixes e outros seres aeróbios.

Para Valente et al. (1997), a demanda bioquímica de oxigênio é o indicador que determina indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável através

da demanda de oxigênio exercida por microrganismos através da respiração. É uma medida que procura retratar em laboratório o fenômeno que acontece no corpo d'água.

A DBO convencional leva um tempo de 5 dias numa temperatura de 20°C para realizar a leitura final, essa é uma técnica controlada de tempo e consumo, fundamentada no tempo de consumo de organismos aeróbicos em uma temperatura constante (POERSCH; SEBASTIEN, 2021).

## **2.7 Nitrato (NO<sub>3</sub> -)**

O nitrato resulta do processo de oxidação do nitrogênio disponível, este é um indicador da descarga de esgoto no corpo de água, além disso pode-se incluir o uso de fertilizantes nas áreas rurais, os quais podem atingir os cursos d'água, principalmente nos meses de maior incidência de precipitação, há também a situação de processos de decomposição e oxidação de compostos orgânicos por conta de infiltrações de esgoto de fossas sépticas e tubulações defeituosas. (VIEIRA et al, 2021).

Para Resende (2002), das diversas formas de nitrogênio presentes na natureza o nitrato pode vir a ser um dos principais causadores da má qualidade da água. Portanto é a principal forma de nitrogênio associado a contaminação das águas decorrente das atividades agropecuárias.

Alaburda e Nishihara (1998) dizem que o nitrato está cada vez mais presente em águas naturais, por muitas vezes encontrados em baixos teores nas águas superficiais, mas podendo atingir altas concentrações em águas profundas e seu consumo em água de abastecimento é adverso à saúde.

Teores de nitrato acima de 10 mg/L são considerados inadequados para consumo humano pela Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os padrões de potabilidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011).

## **2.8 Fósforo total**

Proazio (2004) considera o fósforo como um fator limitante na produção primária dos ecossistemas aquáticos, podendo conduzir a eutrofização, que gera modificações

nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, com perdas da sua produtividade e biodiversidade.

De acordo com Fernandes (2015, p.1):

A presença de fósforo em águas provém de várias fontes: erosão das rochas ricas neste elemento, decomposição da matéria orgânica, lançamento de esgotos, detergentes, rações, medicamentos, indústria entre outras fontes (FERNANDES, 2015, p.1).

Santos et al. (2007), quando o fósforo é carregado através das águas dos rios até os oceanos a sua passagem pela foz do rio pode ocasionar alterações consideráveis alterando a disponibilidade biológica e o fluxo deste elemento para as águas costeiras e oceânica.

## **2.9 Temperatura da água**

Para Libânio (2010):

A temperatura da água e dos fluidos em geral, indica a magnitude da energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza o fenômeno de transferência de calor à massa líquida. Caso seja fornecida energia em forma de calor (aquecimento) à massa líquida, atingir-se-á estado no qual as forças inerciais das moléculas em movimento serão de mesma magnitude às de coesão intermolecular. O novo aumento da temperatura fará com que ocorra a expansão e mudança de estado para gás ou vapor (LIBÂNIO, 2010,p.20).

A temperatura da água é um dos parâmetros utilizados classificar sua qualidade nos diversos sistemas aquáticos, sua unidade de medida é em graus Celsius (°C). O conceito de temperatura de uma água está relacionado com a medição da intensidade de calor (OLIVEIRA; CARVALHO, 2019).

De acordo com Percebon (2005), a temperatura das águas dos rios pode ser originada de processos naturais, como os geotérmicos, variações sazonais da temperatura ambiente e da insolação, e da redução de vazão. Entretanto também pode ser resultado de atividades antrópicas, como a descarga de efluentes com temperatura diferente do corpo receptor, pelo calor liberado na oxidação de carga poluente lançada ou indiretamente, pelo represamento das águas e desmatamentos na área de drenagem.

## **2.10 Turbidez**

Para Correia et al. (2008), a dificuldade de um foco de luz atravessar determinada quantidade de água é chamada de Turbidez. Esse efeito é causado por



matérias sólidas em suspensão como por exemplo: silte, argila, colóides, matéria orgânica, etc.

De acordo com Sperling (1996), a turbidez entrega a água uma aparência turva, ou seja, existe a dificuldade de enxergar através dela, o principal responsável por esse aspecto é o material particulado em suspensão. A água de alta turbidez provavelmente decorre tanto de origem natural quanto de origem antrópica. Tais sólidos em suspensão podem fornecer abrigo para microrganismos e diminuir a eficiência da desinfecção.

A turbidez é alta principalmente em regiões onde os solos são erosivos, conseqüentemente quando chove, partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo são arrastados para dentro dos corpos d'água. Ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida por sedimentação. Em lagos e represas, onde a velocidade de escoamento da água é menor, a turbidez pode ser bastante baixa. Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água pode, também, ser causada por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais (FUNASA, 2014).

### **2.11 Sólidos totais dissolvidos**

A determinação da concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) requer a coleta de amostras, filtração e secagem em laboratório, sendo assim inviabiliza a tomada de decisões no momento da amostragem. LIMA (2017)

Conforme Von Sperling (2005), quaisquer substâncias que sejam lançadas nos corpos d'água podem conseqüentemente alterar a qualidade dessa água, assim contribuem para o teor de sólidos dissolvidos, exceto gases dissolvidos.

### **2.12 Monitoramento de águas superficiais**

O monitoramento ambiental é o conjunto de medições e observações de determinados parâmetros de forma frequente, usado para controle ou medida de informação da qualidade ambiental. Se tratando de qualidade das águas, é necessário realizar as comuns medidas de suas características de natureza física, química e biológica. Estas características devem ser mantidas dentro dos padrões e critérios determinados limites pela legislação para que se possa assegurar seu uso adequado (POZZA; PENTEADO, 2015).

A Agência Nacional das Águas (ANA, 2022), define monitoramento como o conjunto de práticas que visam o acompanhamento de determinadas características de um sistema, sempre associado a um objetivo.

O monitoramento de qualidade da água pode ser considerado um dos principais instrumentos de sustentação a gestão de recursos hídricos, pois facilita acompanhar o desenvolvimento de determinado meio aquático (GUEDES et al., 2012). Alves (2006) comenta que monitoramento é um instrumento de controle e avaliação, pois utiliza-se para obter conhecimento do estado e das tendências tanto qualitativas quanto quantitativas dos recursos naturais e também das influências causadas pelas atividades humanas e por fatores naturais sobre o ambiente.

Para realizar o monitoramento de água, deve-se envolver várias etapas das quais estão: definir a finalidade da amostragem; os locais de realização da coleta; os parâmetros a serem amostrados; propor número e frequência de amostragem; selecionar o modo de análise mais adequado, escolher qual o método de coleta e preservação das amostras será mais viável e realizar o tratamento dos dados coletados (POZZA; PENTEADO, 2015).

De acordo com Lima (2004) há diversas razões que podem explicar o interesse pelo monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas, como, a determinação de padrões de qualidade da água em áreas onde estes são desconhecidos, o conhecimento de fontes e cargas de poluentes, acompanhar a realidade de programas de recuperação da qualidade da água em rios, o acompanhamento dos níveis de poluentes em determinado corpo hídrico, entre outras.

Conforme Cunha & Calijuri (2010) monitoramento ambiental, torna-se importante por nos permitir conhecer a evolução da qualidade das águas gradativamente ao longo do tempo, isso se dá por meio da quantificação de variáveis físicas, químicas e biológicas, e desse modo realizar o amplo diagnóstico da bacia hidrográfica estudada. Portanto esse diagnóstico pode permitir entender as respostas dos ambientes aquáticos aos impactos antrópicos na sua área de drenagem ou de influência.

Ainda segundo a ANA (2022), no monitoramento da qualidade das águas naturais, são acompanhadas as alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, decorrentes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais.

Para Lima (2004):

O monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas é um instrumento essencial à investigação dos processos naturais e das consequências da ação antropogênica no meio ambiente. A sua importância reside no fato de fornecer informações que permitam o controle da degradação da qualidade dessas águas (LIMA, 2004, p.6).

A classificação e o monitoramento da qualidade das águas superficiais são importantes em qualquer localidade. Nas regiões urbanizadas se faz ainda mais necessário para a evolução e desenvolvimento das populações, seja sob o aspecto socioeconômico ou para a obtenção e manutenção da qualidade de vida. Considerando a relevância da água para a manutenção da vida no planeta, é preciso que haja o controle da qualidade e acompanhamento sistemático da condição da água, realizado por meio de programas de monitoramento estruturados e capazes de representar a realidade do corpo d'água apresentando as informações necessárias para a gestão dos recursos hídricos em qualquer região (GODOI, 2008).

Tundisi et al. (2014) menciona que monitoramento de recursos hídricos tem uma grande necessidade de base científica e tecnológica para ser desenvolvido, além do mais precisa avançar conceitualmente como um sistema de informação, o monitoramento permanente de qualidade das águas deve ter prioridade especialmente nas bacias mais impactadas.

De acordo do Freire (2010, p.15) “O monitoramento da qualidade das águas no Brasil é realizado principalmente pelos órgãos ambientais estaduais, empresas de saneamento e pela Agência Nacional de Águas”.

Portanto, os padrões de qualidade da água dos corpos de hídricos do Brasil são determinados pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), datada de 17/03/2005, esta dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (Brasil, 2005).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GERAL**

Verificar os aspectos físico-químicos e microbiológicos da água superficial do rio Tapajós na área de operação da Companhia Docas do Pará em Santarém-PA e avaliar se as atividades realizadas nessa área alteram a qualidade da água.

### 3.2 ESPECÍFICOS

- Confrontar os valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológico analisados neste estudo com os padrões estabelecidos na resolução 357 do Conama de 2005;
- Monitorar os parâmetros do Índice de Qualidade da Água (IQA) na área portuária da Companhia Docas do Pará em Santarém-PA.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

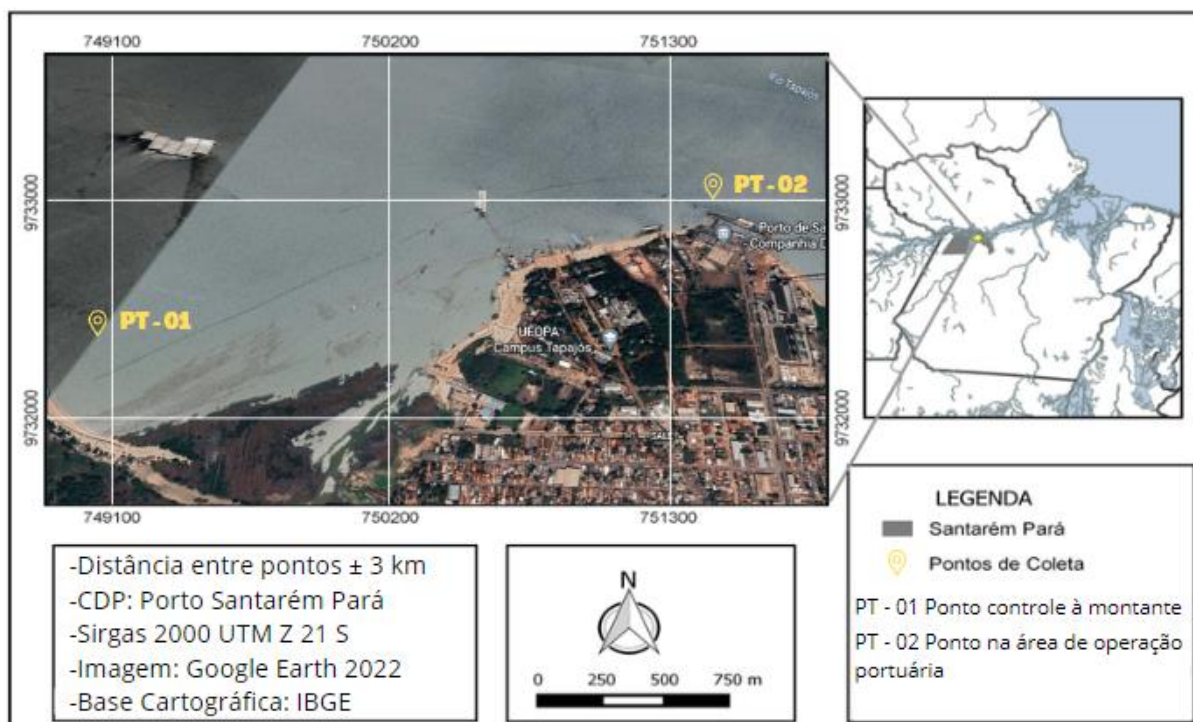
O trabalho de campo foi realizado no Porto da companhia das Docas do Pará, coordenada geográfica latitude 02° 25' sul e na longitude 54° 43' , situado na Ponta do Salé, na cidade de Santarém, Estado do Pará, à margem direita do rio Tapajós a cerca de 3 km da confluência com o rio Amazonas e uma distância fluvial de 876 km da capital Belém. Em frente ao porto se visualiza a praia da Ponta Negra, que delimita a barra do rio Tapajós pela margem esquerda.

O clima dominante é quente úmido, característico da região, o índice pluviométrico superior a 2000 mm/ano registrados com maior intensidade no período chuvoso, enquanto período mais seco com as menores precipitações pluviais registradas chegando a dados inferiores a 60 mm (SANTARÉM, 2022)

O porto dispõe de uma extensão acostável de 525 m, da qual 380 metros no Píer, podendo receber navios de grande porte. Possui 12 instalações acostáveis compostas por píer, dolphins de atracação, cais fluvial, terminal de granéis sólidos, três terminais de granéis líquidos e rampa *roll-on*.

Ele é administrado pela Companhia Docas do Pará – CDP desde sua inauguração em 1974. Constitui-se em um porto estratégico entre os modais rodoviário e hidroviário para as cargas que escoam pela BR-163 e pelos rios Tapajós-Teles Pires.

**Figura 1** - Área de estudo evidenciando a distribuição dos pontos de coleta.



Fonte: Autores (2022)

## 4.2 Pontos amostrais

A Tabela 1 apresenta as coordenadas dos pontos de coleta, onde a distância considerada entre pontos foi de aproximadamente 3km à montante do ponto de operação portuária.

**Tabela 1** – Coordenadas dos pontos amostrais.

	PONTOS DE COLETA	Características do Local
<b>Pontos amostrais</b>	PT - 01	Ponto controle à montante da área de operação portuária
	PT - 02	Ponto na área de operação portuária

Fonte: Autores (2022).

## 4.3 Procedimentos de campo e laboratoriais

As amostras de água foram coletadas durante os anos de 2017 a 2019, com frequência trimestral, nos meses consecutivos janeiro, abril, julho e outubro. Realizadas em dois pontos superficiais do canal principal do rio Tapajós (FIGURA 1) na área de influência da CDP. Quando identificado os pontos de coleta, foram registradas as coordenadas geográficas de posicionamento.

Para executar a coleta, foram utilizados frascos de polipropileno e frascos de vidro borosilicato âmbar devidamente lavadas com extran e esterilizadas em autoclave, para os parâmetros físico químicos frascos com volume de 1 L e frascos com volume de 250 ml para as análises microbiológicas. As amostras foram identificadas com números e com a descrição exata do local de coleta. As coletas foram realizadas de acordo com as Normas NBR 9897 - Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e Corpos Receptores e NBR 9898 Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Feito todas as coletas as amostras foram armazenadas em caixas isotérmicas com bolsas térmicas com gel e sob refrigeração até a chegada ao Laboratório de Biologia Ambiental da UFOPA-Campus Rondon de Santarém.

As amostras chegaram ao laboratório num período de tempo menor a 24 horas. As análises da maioria dos parâmetros foram realizadas no mesmo dia. Em laboratório foram medidos os parâmetros: potencial Hidrogeniônico (pH), fósforo total (PTOT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrato, sólidos totais e turbidez segundo os protocolos APHA *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* (APHA, 2005), Oxigênio dissolvido e temperatura foram determinados em campo com o auxílio de aparelho multiparamétrico da Marca Lovibond, Modelo SensoDirect 150.

#### 4.4 Procedimentos de cálculo do IQA

O IQA é composto por nove parâmetros: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, potencial Hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosforo total, variação da temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Seus respectivos pesos ( $w_i$ ), foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (tabela).

**Tabela 2** – Pesos dos parâmetros para cálculo do IQA, segundo IGAM (2018).

Parâmetro	Unidade	Peso – $w_i$
<b>Oxigênio dissolvido – OD</b>	%ODSat	0,17
<b>Coliformes termotolerantes</b>	NMP/100mL	0,15
<b>Potencial Hidrogeniônico (pH)</b>	--	0,12

<b>Demanda bioquímica de oxigênio – DBO</b>	mg/L	0,10
<b>Nitratos</b>	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,10
<b>Fosfato Total</b>	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0,10
<b>Varição de temperatura</b>	°C	0,10
<b>Turbidez</b>	NTU	0,08
<b>Sólidos totais</b>	mg/L	0,08

Fonte: Autores (2022).

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi calculado através da fórmula matemática sugerida por Von Sperling (2007). Utilizando os parâmetros já citados e seus devidos pesos, de acordo com a equação a seguir.

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi}$$

onde:

**IQA** = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

**qi** = qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

**wi** = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

**n** = número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A classificação de qualidade da água foi utilizada de acordo com o (IGAM, 2018), faixa de IQA usadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, RJ, RN, RS e PR. Pois a região norte não está incluída em nenhuma faixa, portanto esta se demonstra menos restritiva.

**Tabela 3** – Classificação do IQA, Von Sperling (2007).

Valor do IQA	Classe de Qualidade
80 < IQA ≤ 100	Ótima
52 < IQA ≤ 80	Boa
37 < IQA ≤ 52	Aceitável
20 < IQA ≤ 37	Ruim
IQA ≤ 20	Péssima

Fonte: Autores (2022).

#### 4.5 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O desenho experimental compreendeu três fatores: ambiente de coleta (P1 e P2), variação interanual (2017, 2018 e 2019) e fases do regime fluvial (enchente, águas altas, vazante e águas baixas).

As variáveis dependentes foram os nove parâmetros indicadores de condição de qualidade da água e os valores de IQA. Os anos de 2017, 2018 e 2019 também funcionaram como repetições de possíveis fontes de variação temporal.

De maneira geral, foi utilizada estatística descritiva, como tabelas, gráficos e medidas de tendência central para a apresentação dos resultados (Ayres et al., 2000). Para a interpretação das variações dos parâmetros de qualidade da água entre os anos e entre as fases do regime fluvial foram utilizadas análises de variância ANOVA do tipo um critério. Quando os testes da ANOVA apresentaram nível de significância ( $p < 0,05$ ), foi aplicado o teste de Tukey *a posteriori* para comparação das médias amostrais.

Para verificar possíveis diferenças de IQA entre o local de coleta na área de operação portuária (P2) e o ponto controle a montante (P1) foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis (Ayres et al., 2000).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Parâmetros de Qualidade da Água e Condição de Qualidade Frente à Resolução 357 do CONAMA

As concentrações médias e seus respectivos desvios padrões para os nove parâmetros indicadores de qualidade da água que foram considerados para a obtenção do IQA, estão apresentados na tabela 4 por fase do regime fluvial (águas altas, vazante, águas baixas e enchente) e por ponto de coleta (P1 e P2) do rio



Tapajós em Santarém na área de influência do porto da CDP ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019.

O rio Tapajós ainda não foi enquadrado em uma classe de qualidade pelo órgão competente (Agencia Nacional de Águas – ANA), sendo assim, conforme dispõe a resolução 357/2005, rios ainda não enquadrados devem ser tratados como de classes 2 no que tange a análise de conformidade de parâmetros de qualidade da água superficial.

**Tabela 4** – Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) dos parâmetros analisados considerando os dados dos anos 2017, 2018 e 2019, por ponto de coleta e por fase hidrográfica do regime fluvial do rio Tapajós.

<b>Parâmetros Indicadores de Qualidade</b>										
<b>Ponto de coleta</b>	<b>Fase hidrográfica</b>	<b>pH</b>	<b>OD (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>DBO (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>NO3 (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>PT (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>TEMP. (°C)</b>	<b>TURB. (UNT)</b>	<b>TDS</b>	<b>CTERM (UFC)</b>
<b>PT - 01</b>	Águas altas	6,23 ( $\pm$ 0,37)	6,20 ( $\pm$ 0,52)	2,29 ( $\pm$ 1,94)	0,66 ( $\pm$ 1,94)	0,00093 ( $\pm$ 0,00070)	29,26 ( $\pm$ 1,17)	8,57 ( $\pm$ 1,93)	6,81 ( $\pm$ 2,06)	0 ( $\pm$ 0)
	Vazante	6,47 ( $\pm$ 0,46)	7,24 ( $\pm$ 0,48)	0,75 ( $\pm$ 0,24)	0,41 ( $\pm$ 0,13)	0,00157 ( $\pm$ 0,00109)	30,67 ( $\pm$ 0,53)	2,21 ( $\pm$ 0,82)	8,575 ( $\pm$ 1,08)	0 ( $\pm$ 0)
	Águas baixas	6,14 ( $\pm$ 0,13)	6,69 ( $\pm$ 0,16)	1,00 ( $\pm$ 0,14)	0,42 ( $\pm$ 0,01)	0,00040 ( $\pm$ 0,00042)	29,70 ( $\pm$ 2,26)	6,05 ( $\pm$ 0,30)	12,85 ( $\pm$ 1,48)	0 ( $\pm$ 0)
	Enchente	5,96 ( $\pm$ 0,55)	6,68 ( $\pm$ 0,91)	1,26 ( $\pm$ 0,57)	0,86 ( $\pm$ 0,48)	0,00690 ( $\pm$ 0,01134)	29,50 ( $\pm$ 0,52)	12,06 ( $\pm$ 4,51)	10,10 ( $\pm$ 3,96)	0 ( $\pm$ 0)
<b>PT - 02</b>	Águas altas	6,07 ( $\pm$ 0,33)	6,09 ( $\pm$ 0,45)	3,00 ( $\pm$ 3,42)	0,63 ( $\pm$ 0,16)	0,00086 ( $\pm$ 0,00086)	29,43 ( $\pm$ 0,45)	9,00 ( $\pm$ 2,28)	6,96 ( $\pm$ 1,97)	0 ( $\pm$ 0)
	Vazante	6,24 ( $\pm$ 0,36)	6,81 ( $\pm$ 0,62)	1,16 ( $\pm$ 0,46)	0,64 ( $\pm$ 0,19)	0,00146 ( $\pm$ 0,00118)	30,50 ( $\pm$ 0,53)	2,01 ( $\pm$ 1,05)	9,32 ( $\pm$ 1,81)	200 ( $\pm$ 346,41)
	Águas baixas	6,64 ( $\pm$ 0,50)	5,93 ( $\pm$ 0,62)	0,55 ( $\pm$ 0,36)	0,52 ( $\pm$ 0,51)	0,00070 ( $\pm$ 0,00054)	30,10 ( $\pm$ 1,01)	15,99 ( $\pm$ 8,38)	13,25 ( $\pm$ 3,96)	0 ( $\pm$ 0)
	Enchente	6,05 ( $\pm$ 0,75)	6,07 ( $\pm$ 1,12)	2,26 ( $\pm$ 1,53)	0,92 ( $\pm$ 0,74)	0,01700 ( $\pm$ 0,02858)	29,46 ( $\pm$ 0,57)	14,45 ( $\pm$ 6,63)	11,33 ( $\pm$ 3,68)	0 ( $\pm$ 0)

Fonte: Autores (2022).

A partir dos resultados absolutos que geraram os valores de tendência central resumidos na tabela 4 e, ao se realizar a análise estatística individual para cada parâmetro que compõe o IQA foi possível identificar que dos nove parâmetros somente três – pH, temperatura e sólidos totais dissolvidos, apresentaram pelo menos uma diferença estatisticamente significativa entre os anos de 2017, 2018 e 2019. Quando considerados os testes para a identificação de variação significativa entre as fases do regime fluvial (águas baixas, enchente, águas altas e vazante), as variações foram para temperatura, turbidez e sólidos totais dissolvidos. Os detalhes destas fontes de variação por parâmetro serão abordados nas seções a seguir.

### 5.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Considerando a escala de pH, as águas do rio Tapajós no trecho em estudo apresentaram condição levemente ácida.

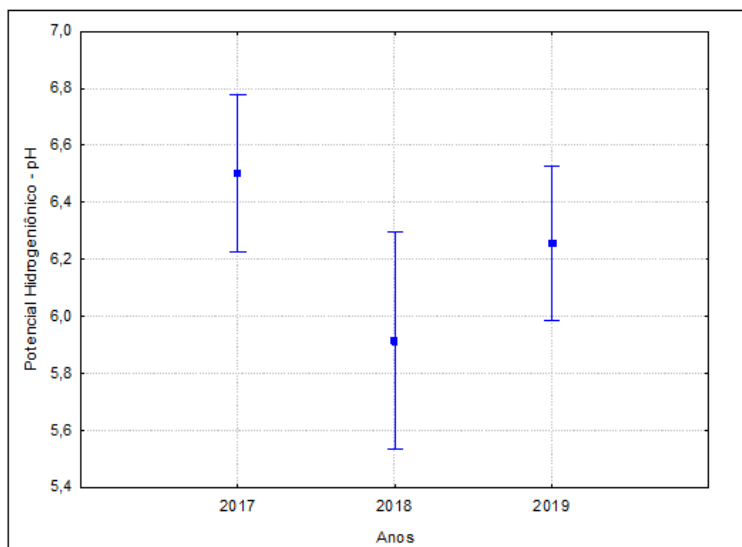
Constatou-se valores médios para o PT-01 variando de 5,96 na fase de enchente a 6,47 na vazante, já o PT-02 teve pH de 6,05 na enchente e 6,64 na vazante. Portanto é notório que existe uma variação maior do pH nas fases de enchente e vazante. É provável esta ocorrência pela instabilidade que as águas estão sofrendo nesses períodos, na enchente onde o pH aparece mais ácido é também o período com maior incidência de precipitação.

Fazendo um comparativo com a resolução CONAMA 357/2005 que estabelece o pH de 6,0 a 9,0 para águas doces, o pH esteve em conformidade para todo o período de estudo.

Esses valores são menores se comparados aos de Miranda (2009), onde este avaliou o mesmo rio no município de Santarém e obteve um valor médio de pH 7,44. Por outro lado, Piratoba *et al* (2017) que avaliou a área portuária de Barcarena-Pará reportou valores de pH na faixa de 7,01 a 7,18.

Considerando a análise individual do pH para identificar fonte de variação significativa entre os anos (2017, 2018 e 2019) e entre as fases do regime fluvial, registrou-se variação significativa apenas para o primeiro fator ( $F_{2, 20} = 5,0266$ ,  $p = 0,017$ ). É possível identificar na (Figura 2) que do ano de 2017 ao ano de 2018 houve uma redução significativa nos valores de pH, no ano de 2019 ocorreu uma recuperação, mas não o suficiente para retornar ao patamar de 2017.

**Figura 2** - Distribuição dos valores médios de pH entre os anos, independente de fase do regime fluvial.



**Fonte:** Autores (2022).

### 5.2.2 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido apresentou variação média no PT-01 de 6,2 mg/L nas águas altas a 7,24 mg/l na vazante, no PT-02 a variação foi de 5,93 mg/L nas águas baixas a 6,8 mg/L na vazante. As concentrações médias de oxigênio dissolvido, ao longo de todo o período, estiveram de acordo com a Resolução 357 de 2005, que define um valor não inferior a 5 mg/L O<sub>2</sub>.

Sales et al (2021) reportou para o ano de 2015 no período de águas baixas do rio Tapajós valor de 4,5 mg/L. Para o referido autor é possível que baixos níveis de OD estejam associados a ocorrência de intenso movimento de embarcações na área portuária assim como descartes de dejetos barqueiros, além da presença de vários esgotos despejando efluentes domésticos nas águas do rio Tapajós na orla de Santarém.

### 5.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Ao longo dos três anos de monitoramento a DBO apresentou no PT-01 menor média de 0,75 mg/L na fase de vazante e maior na fase de águas altas 2,29 mg/L, já no PT-02 a menor média registrada foi de 0,55 mg/L nas águas baixas e a maior de 3 mg/L nas águas altas. Nota-se que para este parâmetro a elevação do nível OD rio representa uma importante fonte variação, contudo estas variações ainda não

ultrapassaram o limite previsto pela resolução CONAMA 357/05 que estabelece a DBO de 5 dias a 20°C o valor limite de até 5 mg/L O<sub>2</sub>.

Sabe-se que a DBO é indicadora da presença de matéria orgânica na água, sendo responsável pelo principal problema de poluição das águas, que é a redução na concentração de oxigênio dissolvido, consequência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização da matéria orgânica (FUNASA, 2014). A amostra do PT-02 é mais próxima do píer do porto, no qual geralmente ocorre o atraque de navios e outras embarcações, sendo uma possível justificativa para qualquer alteração no resultado da DBO, ou seja, é uma área de descarga de efluentes de embarcações. Supõe-se que essa alteração seja dada em virtude de despejos de esgoto, provocando um aumento no teor de matéria orgânica, tendo como consequência a diminuição do oxigênio dissolvido por oxidação, o que pode causar a morte de animais; além de alterar tanto o cheiro quanto o sabor da água (CETESB, 2009).

#### **5.2.4 Nitrato (NO<sub>3</sub>)**

O nitrato na pesquisa apresentou uma variação média no PT-01 de 0,41 mg/L na vazante e 0,86 na enchente, já o PT-02 apresentou uma variação de 0,52 mg/L nas águas baixas e 0,92 mg/L na enchente. Essas concentrações são suficientes para atender a Resolução CONAMA 357 de 2005 que estabelece o limite de 10,0 mg/L N. A maior média de concentração de nitrato aparece na fase de enchente, provavelmente a razão para isso se dá por ser a época do ano com maior incidência de chuvas na região, com isso a possibilidade de lixiviação do solo é muito maior.

#### **5.2.5 Fósforo Total (PT)**

O fosforo total apresentou uma concentração média variando no PT-01 de 0,0004mg/L nas águas baixas a 0,0009 mg/L nas águas altas, no PT-02 a média varia de 0,0007mg/L nas águas baixas a 0,017 na enchente, amplitude de variação última significativamente mais acentuada que aquela do primeiro ponto controle. Assim, todos os valores médios de fósforo total estiveram de acordo com a Resolução 357/2005 que estipula o limite de 0,1 mg/L P para ambiente de rios.

#### **5.2.6 Temperatura (T)**

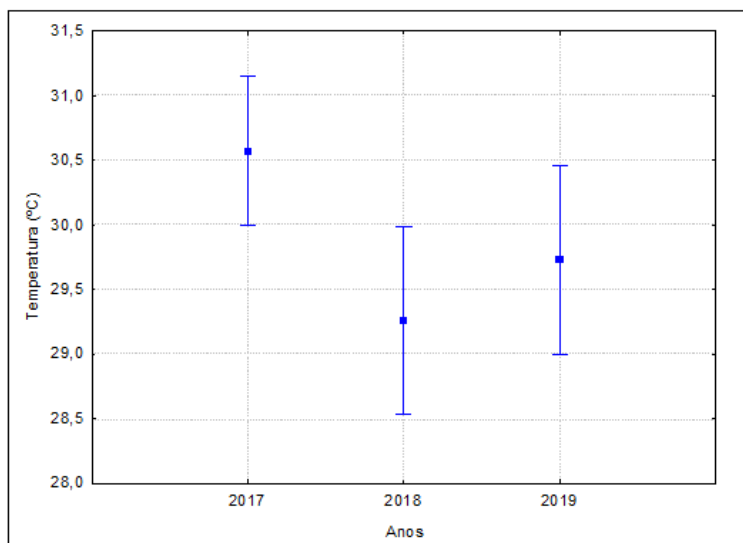
A temperatura média encontrada na pesquisa no PT-01 variou de 29,26°C nas águas altas a 30,67°C na vazante, já o PT-02 variou de 29,43°C nas águas altas a

30,5°C na vazante. No estudo verificou-se que na fase de águas altas a temperatura geralmente é menor, enquanto na vazante aumenta, naturalmente pelo fato do menor volume de água e maior incidência solar nesse período do ano, portanto os valores médios encontrados estão de acordo com outras médias de rios amazônicos, assim como foi encontrado no estudo de Monte (2021), no qual a variação reportada foi de 28°C a 31,4°C ao longo do rio Tapajós, realizado em maio de 2018, na da orla da cidade de Santarém.

Quando confrontados com a Resolução 357 de 2005 que determina o valor da temperatura inferior a 40°C pode-se dizer que os valores obtidos na pesquisa estão de acordo com a legislação. Sales et al (2021) avaliou também as temperaturas médias do Rio Tapajós as margens da orla de Santarém, perímetro portuário e registrou médias de 27,2°C na estação chuvosa e 29,9°C no período de seca.

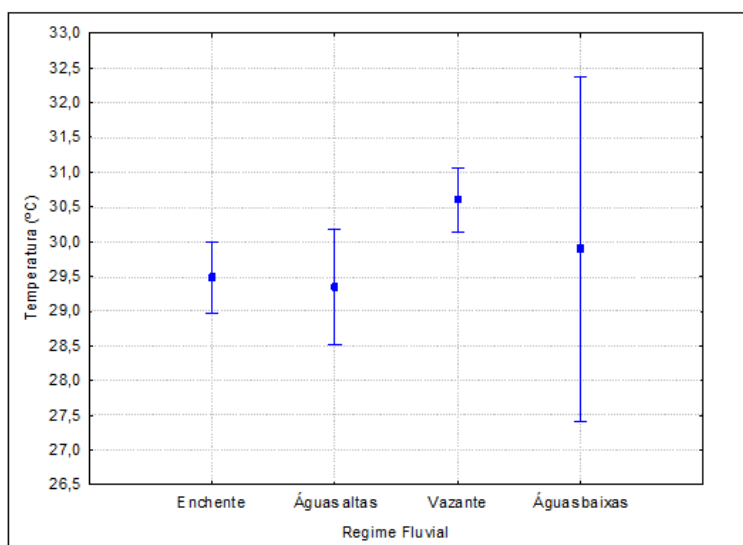
A temperatura quando avaliada para considerar se houve variação entre os anos e fases do regime fluvial, apresentou variação tanto entre os anos ( $F_{2, 20} = 5,7416$ ,  $p = 0,0107$ ) (Figura 3) quanto entre as fases do regime fluvial  $F_{3, 19} = 3,0170$ ,  $p = 0,055$  (Figura 4). Quanto à variação interanual a média de temperatura mais elevada ocorreu no ano de 2017, provavelmente este ano alcançou um verão bastante intenso. Já para o regime fluvial a média de temperatura mais elevada revelou-se na fase de vazante fluvial.

**Figura 3:** Distribuição dos valores médios de temperatura entre os anos, independente de fase do regime fluvial



Fonte: Autores (2022).

**Figura 4:** Distribuição dos valores médios de temperatura entre as fases do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano.



Fonte: Autores (2022).

### 5.2.7 Turbidez

A turbidez no presente estudo registrou média no PT-01 variando de 2,21 UNT na vazante a 12,06 UNT na enchente, no PT-02 variou de 2,01 UNT na vazante a 15,99 nas águas baixas, sendo assim a turbidez apresentou aspecto natural de águas claras, ou seja, com pouco material particulado em suspensão. As concentrações médias de turbidez no presente são menores se comparadas aos valores obtidos por Miranda (2009) no mesmo rio no município de Santarém onde a média reportada foi

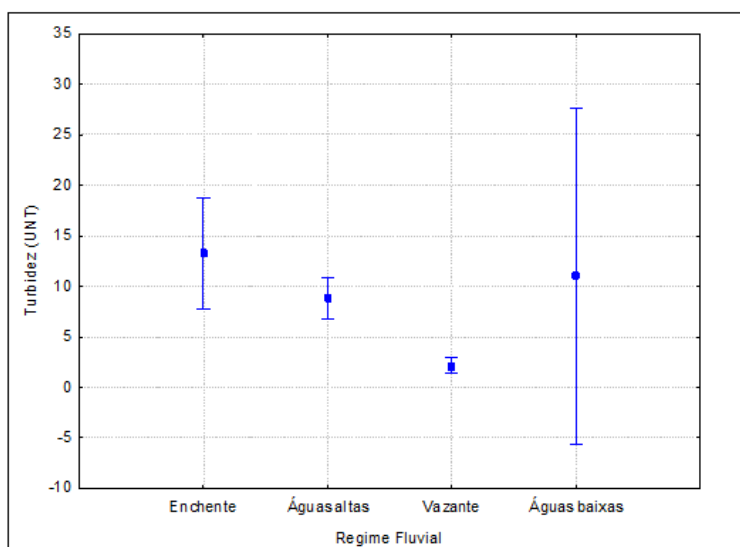
de 76,4 mg/L com uma variação de 70 a 85 UNT, uma possível justificativa para médias elevadas é a influência do rio Amazonas sobre o rio Tapajós, já que sua pesquisa foi realizada nas proximidades da confluência do rio Tapajós com o Amazonas.

Conforme a Resolução CONAMA 357 de 2005 o valor padrão de turbidez para águas doces classe 2 é de até 100 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), em vista disso os valores registrados ao longo dos três anos estiveram todos em conformidade com o previsto pela legislação.

Considerando a análise individual da turbidez para identificar se ocorreu alguma variação significativa, entre os anos e entre as fases do regime fluvial, foi possível observar variações estatisticamente significativas somente para as fases do regime fluvial ( $F_{3, 19} = 5,7766$ ,  $p = 0,005$ ) (ver Figura 5).

Na figura 5 é possível identificar que a fase de águas baixas foi a que apresentou os resultados com maior amplitude de variação. Por outro lado, a fase de vazante fluvial foi a que se destacou com as águas mais transparente e com o menor valor médio de turbidez e com baixíssima amplitude de variação. Por outro lado, foi na fase de enchente fluvial que as águas do rio Tapajós, no trecho em estudo, se destacaram com o maior valor médio de turvação.

**Figura 5:** Distribuição dos valores médios de Turbidez entre as fases do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano.



**Fonte:** Autores (2022).



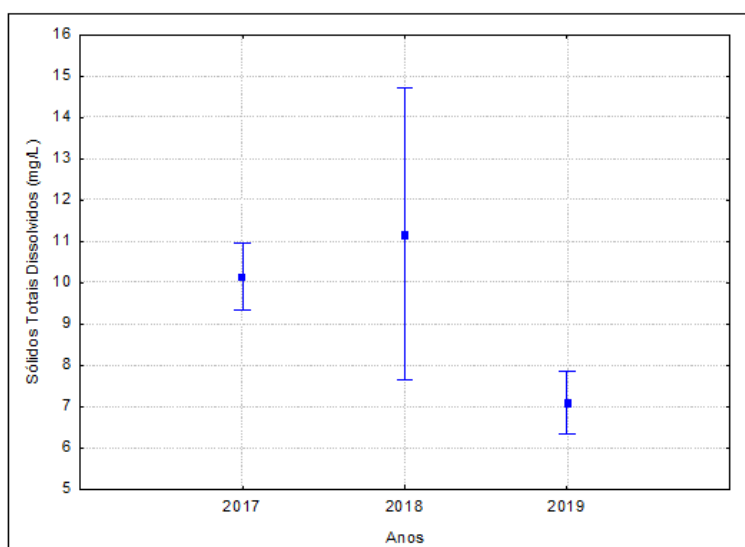
### 5.2.8 Sólidos totais dissolvidos (TDS)

O parâmetro sólidos totais dissolvidos (TDS), apresentou no PT-01 uma variação média de 6,8 mg/L nas águas altas a 12,8 mg/L nas águas baixas. O PT-02 teve uma variação média de 6,9 mg/L nas águas altas a 13,2 mg/L nas águas baixas.

Os valores médios obtidos de TDS na pesquisa mostraram-se inferiores a 500mg/L, estando em conformidade com a resolução CONAMA 357 de 2005. Nos dois pontos de coleta as menores medias foram registradas na fase de águas altas enquanto as maiores nas águas baixas, talvez essas maiores concentrações se deem por razões do rio está com menor volume com isso ocasionando maior acúmulo de componentes e maiores taxas de ressuspensão de substâncias do leito fluvial.

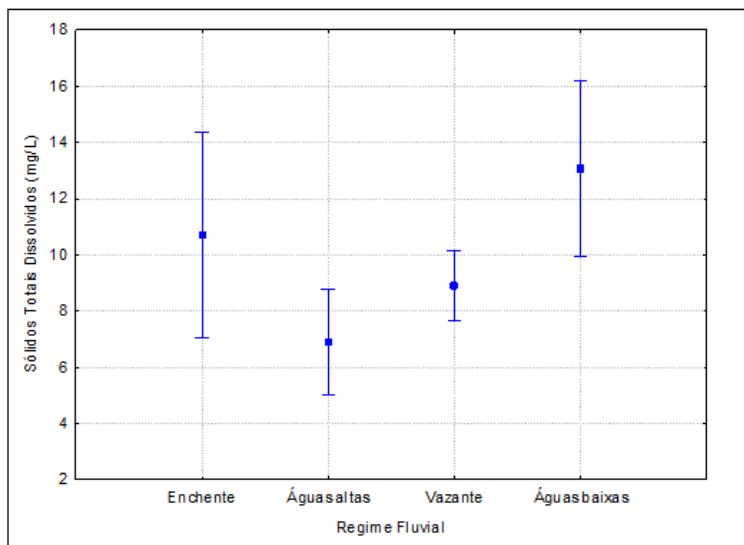
O parâmetro sólidos totais dissolvidos quando testado para avaliar se houve variação estatisticamente significativa interanual e também entre as fases do regime fluvial, revelou variação significativa tanto entre os anos ( $F_{2, 20} = 4,8841$ ,  $p = 0,018$ ) (Figura 6) quanto entre as fases do regime fluvial ( $F_{3, 19} = 6,5220$ ,  $p = 0,003$ ) (Figura 7). Referente à variação interanual a maior e menor concentração média foram registradas em 2018 e 2019, respectivamente. Referente ao regime fluvial são nas fases de águas altas e águas baixas que as águas do rio Tapajós apresentam as menores e maiores cargas médias de sólidos dissolvidos.

**Figura 6:** Distribuição dos valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos entre os anos, independente de fase do regime fluvial.



**Fonte:** Autores (2022).

**Figura 7** - Distribuição dos valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos entre as fases do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano.



**Fonte:** Autores (2022).

### 5.2.9 Coliformes Termotolerantes

A resolução 357 do CONAMA de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, preconiza que a densidade de coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser avaliada à luz da Resolução CONAMA no 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

Isto posto, o cenário encontrado no presente trabalho para os indicadores de qualidade da água do tipo microbiológico (bacteriológico) para os dois pontos de coleta monitorados (PT-01 e PT-02) foi bastante satisfatório. Pois, para os três anos de estudo, à exceção de um resultado positivo na fase de vazante no PT-02, as análises revelaram ausência (< 1 UFC/ 100 mL de amostra) de *Coliformes termotolerantes* em todas as demais amostragens.

Portanto, frente ao padrão de qualidade estabelecido pela resolução 357 de 2005, que preconiza não exceder um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o

período de um ano, com frequência bimestral, as águas do rio Tapajós no trecho monitorado estiveram praticamente em conformidade constante.

### 5.2.10 Índice de Qualidade da Água - IQA

A partir dos resultados dos parâmetros indicadores de qualidade da água da tabela 4, foram gerados os valores médios de IQA por ponto de coleta e por fase do regime fluvial, que variaram de  $78 \pm 2,64$  na fase de enchente no PT-02 a  $86,25 \pm 2,98$  no PT-01 na fase de vazante.

Os valores médios de IQA obtidos por ponto de coleta, por fase da hidrógrafa fluvial e sua classificação qualitativa estão apresentados na tabela 5.

**Tabela 5** – Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) e classificação qualitativa do IQA do rio Tapajós por local de coleta e fase do regime fluvial.

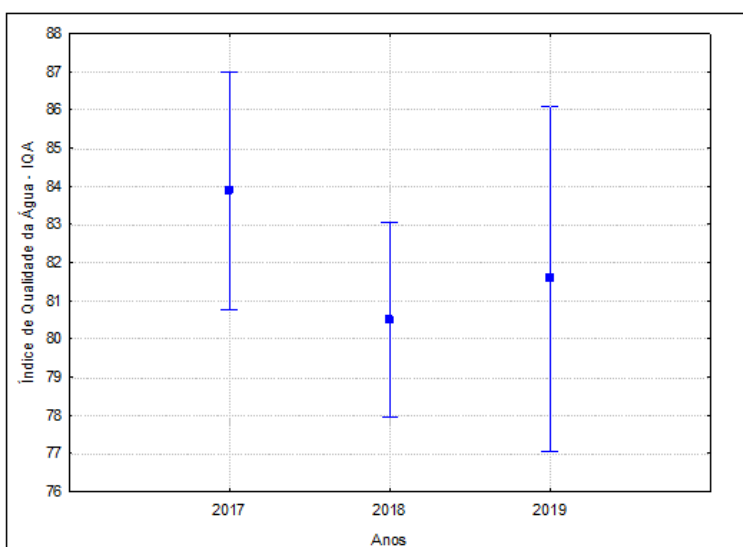
Pontos	Fase do Regime Fluvial	IQA Quantitativo	Classe de Qualidade
PT - 01	Águas altas	81,33 ( $\pm 2,08$ )	Ótima
	Vazante	86,25 ( $\pm 2,98$ )	Ótima
	Águas baixas	84,00 ( $\pm 0,00$ )	Ótima
	Enchente	80,33 ( $\pm 4,16$ )	Ótima
PT - 02	Águas altas	81,33 ( $\pm 2,51$ )	Ótima
	Vazante	81,00 ( $\pm 6,55$ )	Ótima
	Águas baixas	83,50 ( $\pm 3,59$ )	Ótima
	Enchente	78,00 ( $\pm 2,64$ )	Boa

**Fonte:** Autores (2022).

No presente trabalho a faixa de IQA; 78 – *Classe Boa* a 84 – *Classe Ótima*; permite facilmente concluir que a condição de qualidade se manteve relativamente constante durante o período avaliado que foi de 2017 a 2019, predominando a condição de qualidade ótima. Este cenário se assemelha ao de outros rios nos quais também foram observados pouca variação na qualidade da água, como no rio Pará, Barcarena/PA, cuja qualidade foi considerada entre Boa e Ótima, com IQA médio variando de 55 a 90 (Piratoba et al., 2017) e no rio Caiabi, estado de Mato Grosso, com índice de qualidade variando de 74 a 87 se enquadrando na classe de qualidade Boa (Andrietti et al., 2016).

A Figura 10 evidencia a comparação dos valores médios de IQA para os anos de 2017, 2018 e 2019. O teste de confrontamento de médias através de análise de variância não revelou diferença significativa entre os anos ( $F_{2, 20} = 1,5464$ ,  $p = 0,237$ ). Contudo avaliando a figura 10 é possível observar um aparente decaimento nos valores de IQA do ano de 2017 para o ano de 2019.

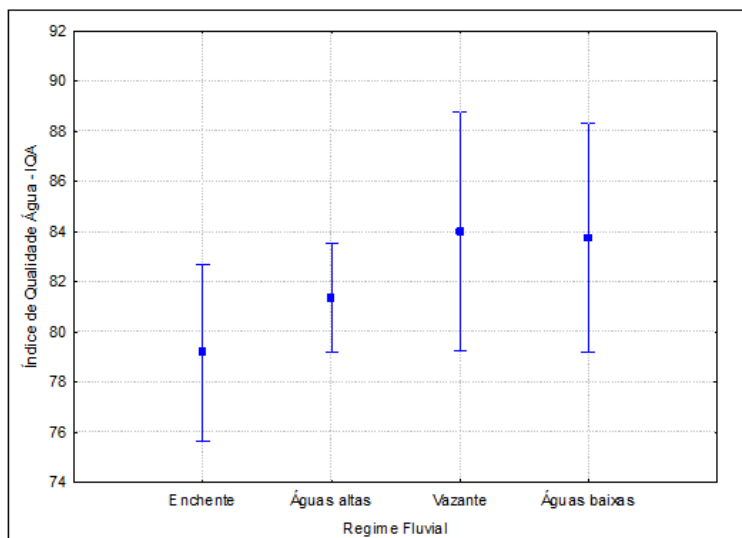
**Figura 8:** Valores médios de índices de Qualidade da Água – IQA por ano de coleta, independente de fase e pontos de coleta.



**Fonte:** Autores (2022).

Quando se confrontou os valores médios de IQA por fases do regime fluvial, a análise estatística revelou uma tendência para diferenças de IQA entre as quatro fases ( $F_{2, 12} = 3,3877$ ,  $p = 0,068$ ), tendendo a valores de IQA mais rebaixados nas fases de enchente e águas altas e valores mais satisfatórios e na mesma ordem de magnitude na vazante e águas baixas (figura 11).

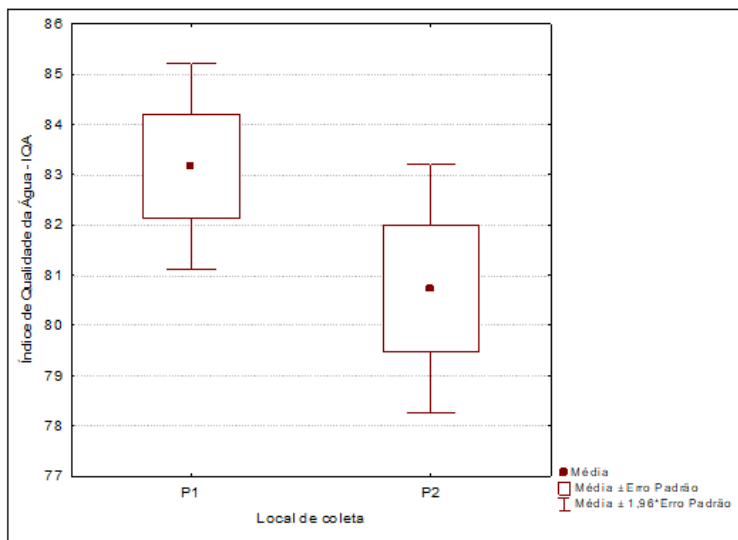
**Figura 9:** Valores médios de índices de Qualidade da Água – IQA por fase do regime fluvial do rio Tapajós, independente de ano e pontos de coleta.



**Fonte:** Autores (2022).

Por fim, no sentido de se visualizar se os dados acumulados dos índices de qualidade da água ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019, independente de fase do regime fluvial do rio Tapajós se diferenciavam significativamente entre o ponto de coleta inserido na área de operação portuária (PT-02) e o ponto considerado como background/controle (PT-02), situado aproximadamente três quilômetros à montante do porto, a comparação múltipla das médias dos pontos não revelou diferença significativa ( $KW-H_{1,23} = 1,86$ ;  $p = 0,172$ ) (Figura 12). Os IQAs médios para os pontos PT-01 e PT-02 foram respectivamente, 83 e 80,7.

**Figura 10:** Valores médios de índices de Qualidade da Água – IQA entre os locais de coleta no rio Tapajós, independente de Ano e fase do regime fluvial.



**Fonte:** Autores (2022).

Apesar dos valores médios dos índices de qualidade da água ainda não se diferenciarem estatisticamente entre o ponto de coleta de operação portuária e o ponto considerado como controle à montante do porto, uma avaliação conservadora da Figura 10 permite inferir que já há uma aparente degradação do índice de qualidade da água no PT-02 (área portuária).

O decaimento nos valores de índices de qualidade da água também tem sido associado à proximidade de ambientes urbanos e a atividades agrícolas (Zanini et al., 2010; Amorim et al., 2016; Menezes et al., 2016). Por exemplo, Toledo & Nicolella (2002) reportaram que tanto trechos fluviais que recebem efluentes urbanos quanto trechos com predominância de atividades agrícolas são responsáveis pela diminuição de IQAs, principalmente pelo efeito do aporte de fósforo e amônia, porém a contribuição do ambiente urbano na deterioração da qualidade da água é mais relevante.

Para o estado do Pará, já foi reportado que águas de rios na área de influência de operação de portos, como as águas da praia do Caripi na cidade de Barcarena, no rio Pará, o decaimento do IQA esteve diretamente associado aos despejos de efluentes das atividades nativas do município e por aqueles advindos dos navios em operação na área portuária (Piratoba et al., 2017).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os nove parâmetros quando avaliados individualmente para o cálculo de qualidade da água, verificou-se que poucos dos parâmetros considerados para o cálculo do IQA somente três – pH, temperatura e sólidos totais dissolvidos apresentaram variação entre os anos e as fases do regime fluvial. Entre os anos (2017, 2018 e 2019) e as fases (águas altas, vazante, águas baixas e enchente) o IQA também se apresentou bastante satisfatório entre os dois pontos, todavia devido as operações portuárias existe um pequeno comprometimento PT-02, sendo suficientes para determinar um decaimento da área portuária em relação a área controle à montante que está aproximadamente a 3km de distância, apesar de não significativas, porém está evoluindo para diminuição do IQA.

As atividades operacionais realizadas na área de influência do Porto da CDP em Santarém podem estar contribuindo para pequenas flutuações das concentrações de parâmetros de qualidade da água superficial do rio Tapajós ao longo dos anos.

Como foi demonstrado nos resultados não houve diferenças significativas entre os anos e nem entre os pontos de coleta para o índice de qualidade da água, porém houve tendência de diferenças significativas entre as fases do regime fluvial, o que significa que as diferenças nos valores dos parâmetros indicadores de qualidade da água na área de operação do Porto da CDP em Santarém, estão mais sujeitas a flutuações temporais hidrométricas. Estas diferenças podem ser resultado de variação na intensidade e tipo de determinada atividade operacional do porto ao longo do ano. Variações nas condições ambientais também podem somar-se às consequências da intensidade e tipo de atividade operacional temporalmente.

Contudo, tais flutuações ainda não são suficientes para distanciar os parâmetros de qualidade da água da faixa estabelecida como adequada para rios nacionais de água doce de classe 2.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALABURDA, Janete; NISHIHARA, Linda. **Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços**. Rev. Saúde Pública, São Paulo, v. 32, n.2, Apr. 1998.

ALVES, E. C. **Monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Pirapó. 2006**. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2006.

AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. R. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. **Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés rabo de porco e precuá, localizados na área da refinaria premium i, município de Bacabeira (MA)**. Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1-9. 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016131212.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). 2004. **Ministério da Saúde, Brasil. Resolução nº 518, 25 de março de 2004**. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria\\_518\\_2004.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf)

AYRES, M.; AYRES, M. J.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. S. **Bio Esta 2.0: aplicações estatísticas nas áreas biológicas e médicas**. Belém: sociedade civil Mamirauá; Brasília: CNPq, XII. 2000. p. 272.

BARRETO et al. **Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio**. Rev. Ambiente & água, Taubaté, v.9, n.1, mar. 2014.

BORSUK, M.E.; STOW, C.A. **Bayesian parameter estimation in a mixed-order model of BOD decay**. Water Research, 2000. v.34, n.6; p.1830-1836

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do território nacional**. Brasília: Conama, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde**. – Brasília: Funasa, 2014.112p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005.

CETESB. **Coliformes totais, coliformes termotolerantes e Escherichia coli - Determinação pela técnica de tubos múltiplos**. São Paulo, 2018. Disponível em : [https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/Para-enviar-ao-PCSM\\_-NTC-L5.202\\_5%C2%AAed-\\_dez.-2018.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/Para-enviar-ao-PCSM_-NTC-L5.202_5%C2%AAed-_dez.-2018.pdf)



CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade.pdf> Acesso em: 19 de fev. 2022.

CORREIA, A. et al. **Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento: viii ermac 8 o encontro regional de matemática aplicada e computacional**, 8., 2008, Natal. Anais... Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

CUNHA, D. G.F.; CALIJURI, M. C. **Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP)**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.15, n.4, p.337-346, 2010.

FERNANDES, P. **Validação e controlo de qualidade do fósforo total em águas residuais análise da qualidade da água**. Dissertação (Mestrado em química industrial) - Universidade da Beira Interior. Covilhão, p.1. 2015.

FREIRE, R. **Monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão maringá. 2010. 199f**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2010.

FROTA, E. B.; VASCONCELOS, N. M. S. **Química ambiental**. Fortaleza: EdUECE, 2019.

GODI, E. L. **Monitoramento de água superficial densamente poluída - o córrego Pirajuçara, região metropolitana de São Paulo, Brasil. 2008. 117 f**. Dissertação (Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES, São Paulo, SP, 2008.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T. & SOARES, J.H.P. **Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do rio Pomba, MG**. Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v. 16, n. 5, p.558-63, 2012.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ªedição ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.

LIMA et al. **Determinação da concentração de sólidos dissolvidos totais por meio da medição da condutividade elétrica**. In: XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 2017, Maceió - AL. Anais...

LIMA, J. B. M. (2004). **Estudo de redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais – o caso da bacia do rio descoberto**. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM-69/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p.

MIRANDA et al. **Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos**. Rev. Ambiente & água, Taubaté, v.4, n.2, ago. 2009.

MONTE et al. **A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA**. Revista Brasileira de Geografia Física v.14, n.06, mai. 2021.

OLIVEIRA, M.B.; CARVALHO, R.H.R. **Caracterização físico-química de amostras de água de Rios onde são depositados os rejeitos das salinas de porto do Mangue-RN**. 9 f. trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal Rural do Semiárido, 2019.

PINTO, M. C. F. **Medição in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio Dissolvido**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

PIRATOBA et al. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, Pará, Brasil**. Rev. Ambiente & água, Taubaté, v.12, n.3, jun. 2017.

POERSCH, A. C. C; SEBASTIEN, N. Y. **Aspectos climatológicos da demanda bioquímica de oxigênio (dbó) e as implicações do aumento da temperatura na realização da análise**. Research, Society and Development. v.10, nº 11, p. e225101119680, agosto de 2021.

PROTAZIO, L. TANAKA S.M.C.N; CAVALCANTE, P.R.S. **Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento**. Revista Analytica, v. 8, p. 35-41, 2004.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. 1ª Edição. Planaltina, DF: Embrapa cerrados,2022.

SALES et al. **Esse rio é minha rua: análise da qualidade da água do Rio Tapajós na orla portuária de Santarém-PA**. Educação Ambiental e Cidadania: Pesquisa e Práticas Contemporâneas - Volume 1, 2021.

SANTARÉM (2022). **“Prefeitura do município de Santarém”**. Disponível em <[http://santarem.pa.gov.br/pagina.asp?id\\_pagina=6](http://santarem.pa.gov.br/pagina.asp?id_pagina=6)>.

SANTOS, M.L.S. et al. **Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da plataforma continental do Amazonas**. Revista Quim. Nova, Vol. 30, No. 3, 569-573, 2007.

SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. 1ª Edição. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

SPERLING, M.V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: DESA; UFMG, 1996.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. **Índice de qualidade de Água em microbacia sob uso agrícola e urbano**. Scientia Agricola, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000100026>.

TUNDISI, J.G. et al. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

VALENTE, J. P. S. et al. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP**. Eclét. Química, 28 fev.1997

VIEIRA et al. **Quantificação de ânions inorgânicos em regiões antropizadas do rio Tapajós, no estado do Pará, Brasil**. Rev. Virtual Quim., Niterói-RJ, v.13, n.2, fev. 2021.

VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. princípios do tratamento biológico de águas residuárias (Vol. I)**.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Marcos Von Sperling. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.7). 588pp.2007.

ZANINI, H. L. H. T.; AMARAL, L. A.; ZANINI, J. R.; TAVARES, L. H. S. **Caracterização da água da microbacia do córrego rico avaliada pelo índice de qualidade de água e de estado trófico**. Engenharia Agrícola, v.30, n.4, p.732-741. 2010.