



**Universidade do Estado do Pará  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia  
Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e  
Sustentabilidade na Amazônia  
PPGTEC – Mestrado**

**Valéria Monteiro Carrera Moraes**

**Tecnologia Sustentável: Uso do Sensoriamento  
Remoto para Prognóstico do Índice de Estado  
Trófico da Baía de Portel-Pa**

Belém  
2023

Valéria Monteiro Carrera Moraes

**Tecnologia Sustentável: Uso do Sensoriamento Remoto para Prognóstico do Índice de Estado Trófico da Baía de Portel-Pa**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará.

Orientadora: Profa. Dra. Hebe Morganne Campos Ribeiro

Coorientador: Prof. Dr. Éder Silva de Oliveira

Belém  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),  
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

---

M828t Moraes, Valéria Monteiro Carrera

Tecnologia sustentável: uso do sensoriamento remoto para prognóstico do Índice de Estado Trófico da Baía de Portel-Pa. / Valéria Monteiro Carrera Moraes; Orientadora Hebe Morganne Campos Ribeiro; Coorientador Éder Silva de Oliveira. -- Belém, 2023.

66 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, 2023.

1. Sensoriamento remoto - Portel (PA). 2. Água - Qualidade. 3. Monitorização ambiental. 4. Solo - Uso. 5. Tecnologia ambiental. I. Ribeiro, Hebe Morganne Campos. II. Oliveira, Éder Silva de. III. Título.

**CDD**

**621.3678**

---


Valéria Monteiro Carrera Moraes

## Tecnologia Sustentável: Uso do Sensoriamento Remoto para Prognóstico do Índice de Estado Trófico da Baía de Portel-Pa

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará.


Data da aprovação: 01 de junho de 2023

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente  
 HEBE MORGANNE CAMPOS RIBEIRO  
Data: 04/06/2023 11:57:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


— Orientadora

Prof. Dra. Hebe Morganne Campos Ribeiro  
Doutora em Engenharia Elétrica  
Universidade do Estado do Pará

Documento assinado digitalmente  
 EDER SILVA DE OLIVEIRA  
Data: 26/07/2023 20:16:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

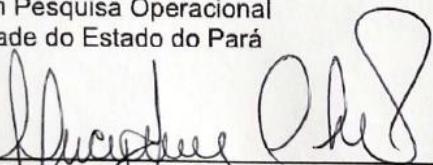
— Coordenador

Prof. Dr. Eder Silva de Oliveira  
Doutor em Agronomia  
Universidade do Estado do Pará

Documento assinado digitalmente  
 AILSON RENAN SANTOS PICANÇO  
Data: 01/08/2023 14:50:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

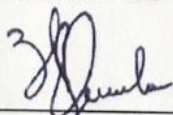
— Coordenador

Prof. Dr. Ailson Renan Santos Picanço  
Doutor em Pesquisa Operacional  
Universidade do Estado do Pará



— 1ª Examinadora

Prof. Dra. Lucy Anne Cardoso Lobão Gutierrez  
Doutora em Geologia e Geoquímica  
Universidade do Estado do Pará



— 2º Examinador

Prof. Dr. Wanderson Gonçalves e Gonçalves  
Doutor em Oncologia e Ciências Médicas  
Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, ao meu pai "*in memoriam*" e a minha mãe que sempre incentivaram meus estudos me dando todo o suporte que necessitei, a minha filha que sempre foi minha fonte de inspiração e motivo para nunca desistir, ao meu marido que contribuiu para o meu crescimento com muito zelo e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Nesses anos de mestrados de muita dedicação e estudo, gostaria de agradecer a algumas pessoas que foram essenciais para a realização de mais este sonho. Em virtude disso, expresso aqui, em palavras sinceras, um pouco da importância que tiveram e ainda possuem na minha vida para a conquista dessa etapa. Primeiramente agradeço a Deus, pela sua imensa bondade comigo, que mesmo sem merecer, me proporcionou e proporciona muitas oportunidades inimagináveis. Sou grata também aos meus pais, Valmir e Regina; à minha irmã, Vanda; ao meu marido, Wesley; a minha filha, Ana Lis, pela compreensão, ao serem privados em muitos momentos da minha companhia e atenção e pelo profundo apoio nos momentos mais difíceis na carreira acadêmica até aqui. Obrigado por sempre desejarem o melhor para mim e pelo imenso esforço que fizeram para que eu pudesse superar os obstáculos em meu caminho e chegar aqui, e principalmente, pelo grande amor que cada um tem por mim. Minha gratidão especial à Profa. Dra. Hebe Ribeiro, minha orientadora, e acima de tudo uma querida amiga, pela pessoa e profissional que é. Obrigada por sua dedicação, que a fez, por muitas vezes, deixar de lado seus momentos de descanso para me ajudar e me orientar, quero agradecer principalmente por ter acreditado e depositado sua confiança ao longo desses dois anos, em mim. Sem sua orientação, apoio, confiança e amizade, não somente neste trabalho mas em todo caminho percorrido até aqui, nada disso seria possível. Um obrigada especial para o meu coorientador, Prof. Dr. Éder Oliveira, pela sua disponibilidade e incentivo que foram fundamentais para prosseguir este estudo. Saliento o apoio incondicional prestado, a forma interessada, extraordinária e pertinente que acompanhou esta pesquisa. As suas críticas construtivas, as discussões e reflexões foram fundamentais ao longo de todo o percurso, não posso esquecer a sua grande contribuição para o meu crescimento como pesquisadora, eternamente grata por todo o apoio. Sou imensamente grata pelo apoio dos meus amigos, Felipe Silva, Rafael Ribeiro, Tayany Coelho e Washington Aleksander, a quem realmente considero como irmãos, e que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e torcendo por mim, independente da distância entre nós, e a todos aqueles envolvidos nos projetos do Labágua (Adriana, Patricia, Ailson, Auricélia, Danielle, Carla e Pedro) cujo os esforços e auxílio tornaram possível esse projeto. Aos coordenadores (Prof. Dr. Alberto Lima e Profa. Dra. Eliane Coutinho) e professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia (PPGTEC) que compartilharam seus conhecimentos e juntamente

conosco, primeira turma do programa, evoluímos com o passar desses dois anos através das experiências obtidas, estando do nosso lado, prontos para ajudar sempre que necessário. Obrigada a turma 2021 do PPGTEC, que juntos realizamos descobertas e compartilhamos alegrias e aflições, sempre com uma palavra de apoio e suporte em momentos de dificuldades. Quero agradecer também aos membros da banca de defesa da dissertação, Profa. Dra. Lucy Anne Gutierrez e Dr. Wanderson Gonçalves, que acompanharam a evolução do estudo e contibuiram com argumentos e sugestões valiosos para este trabalho.

*"O próprio Senhor irá à sua frente e estará com você; ele nunca o deixará, nunca o abandonará. Não tenha medo! Não se desanime!"*

Deuteronômio 31:8

## RESUMO

O desenvolvimento da sociedade está intrinsecamente relacionado com a água, sendo este recurso natural, essencial para a vida no planeta. A contaminação ou poluição da água geram diversos fenômenos, um deles é a eutrofização. Dessa forma, o objetivo deste estudo é compreender a capacidade do sensoriamento remoto de prever o Índice de Estado Trófico da Baía do Portel no estado do Pará. A presente pesquisa é composta por duas etapas divididas em artigos. Primeiro foram caracterizadas as atividades de uso da terra do entorno da baía por meio do levantamento histórico do município, registros fotográficos, tratamento de imagens de satélites e determinação do NDVI. No segundo artigo, foram identificados os padrões da distribuição espacial da Clorofila "a" da Baía de Portel utilizando o satélite Sentinel 2, após isso, comparou-se os níveis tróficos obtidos por meio das análises do sensoriamento remoto com as análises de água em laboratório. Através disso, identificou-se diferentes usos múltiplos da água ao longo da orla da cidade, inclusive atividades que requerem padrões de qualidade da água distintos. Ademais, observou-se por meio de imagens de satélites que após seis anos ocorrem avanços de atividades antrópicas na região central de Portel, como o desmatamento. No segundo artigo, pode-se observar que em todos os pontos os valores de IET verificados pelo sensoriamento remoto estão próximos da análise feita em laboratório, identificando, predominantemente, a classe mesotrófica. Logo, o monitoramento preventivo constante dessa área, onde os moradores possuem uma forte relação com a água da orla da cidade, é viável através de programas ambientais, os quais utilizem o IET como ferramenta em associação com o sensoriamento remoto e considerem o CONAMA nº 357/2005 como parâmetro de clorofila "a", com um alerta para qualquer identificação nas análises por sensoriamento remoto de aproximação deste com o valor máximo permitido pela legislação.

**Palavras-chave:** Usos Múltiplos da água; Eutrofização; Detecção Remota.

## ABSTRACT

The society's development is intrinsically related with the water, as a natural resource essential for life in the planet. The contamination or pollution of the water leads to variables phenomena, being on them the eutrophication. Following, aiming the sustainable management of the water resources, the Trophic State Index was developed to make possible the water classification in different degrees of trophic, and the remote sensing is one of the tools capable to measure this index. That being the case, the objective of this research is to comprehend the capacity of the remote sensing of predict the Trophic State Index in Portel bay, Pará state. The following research is composed by two phases divided in papers. First it was characterized the land use in the surroundings of the bay through historic research of the county, local photographs registers, image treatment in SIG and NDVI determination. In the second paper, it were identified the standards of spatial distribution of the chlorophyll a in Portel bay using images from the satellite Sentinel 2, after that, it was compared the trophic levels obtained through the remote sensing analysis and the laboratorial analysis. Through this method, it was identified the water multiple uses along the city bay, including activities that require different water standards. In addition, it was observed through the satellite images that after six years occurs advances in human activities in the central region of Portel, as an example the deforestation. In the second paper, it can be observed that in all the points, the values of TSI verified by the remote sensing are close to the laboratorial analysis, reaching, predominantly, the mesotrophic class. Before along, the preventive monitoring of this area, where the population have a strong relation with the water of the bay, are viable through environmental programs, which uses the TSI as a tool in association with the remote sensing and considering the CONAMA nº 357/2005 as a parameter of the chlorophyll a, with an alert for any identification in the analysis by remote sensing of approaching the maximum value allowed by law.

**Key-words:** Water Multiple Uses; Eutrophication; Remote Detection.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição dos pontos de coleta .....	42
Tabela 2	Classificação do Estado Trófico Modificado Segundo Lamparelli (2004) .....	. 43
Tabela 3	Resultados da análise laboratorial de clorofila “a” e IET (CL).....	44
Tabela 4	Resultados da análise com sensoriamento remoto de clorofila “a” e IET (CL) . .....	. 48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização de área de estudo.....	22
Figura 2	Fluxograma da metodologia .....	23
Figura 3	Serrarias na orla de Portel. A) grande Serraria as margens do rio. B) Comércios de madeira.....	26
Figura 4	Orla do município de Portel. A) Posto de combustível. B)Portos com área de balneabilidade .....	26
Figura 5.	Mercado municipal de Portel .....	27
Figura 6	Praia do Tucano em Portel .....	28
Figura 7	Cemitério de Portel .....	28
Figura 8	Bares e Restaurantes em Portel .....	29
Figura 9	Mapa de uso e ocupação do entorno da baía de Portel no ano de 2016 .....	30
Figura 10	Mapa de uso e ocupação do entorno da baía de Portel no ano de 2019 .....	30
Figura 11	Mapa de uso e ocupação do entorno da baía de Portel no ano de 2021 .....	31
Figura 12	Área em km <sup>2</sup> e ha das classes nos anos de 2016, 2019 e 2021 .....	31
Figura 13	NDVI da área de Estudo .....	33
Figura 14	Histograma dos valores de pixels do NDVI para os anos de 2016 (a) e 2022 (b) .....	34
Figura 15	Mapa de localização da área de estudo .....	41
Figura 16	Pontos de coleta de amostras de água.....	42
Figura 17	Amostragem dos sete pontos na camada raster da baía .....	43
Figura 18	Clorofila “a” na baía de Portel .....	44
Figura 19	Concentração de clorofila “a” na Baía de Portel em 2022 .....	45
Figura 20	Baronesa na Baía de Portel.....	46
Figura 21	Destaque para zona de mistura de águas.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(ANA)	(Agência Nacional de Águas)
(SNIS)	(Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento)
(IET)	(Índice de Estado Trófico)
(IDH)	(Índice de Desenvolvimento Humano)
(PIB)	(Produto Interno Bruto)
(SIG)	(Sistemas de Informações Geográficas)
(NDVI)	(Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
(ESA)	(Agência Espacial da Europa)
(AMACOL)	(Amazonas Compensados e Laminados)
(CONAMA)	(Conselho Nacional do Meio Ambiente)
(pH)	(Potencial Hidrogeniônico)
(ETE)	(Estação de Tratamento de Esgoto)
(CETESB)	(Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)
(PT)	(Fósforo Total)
( <i>Ch</i> )	(Clorofila “a”)
(IET(CL))	(Índice de Estado Trófico a partir da Clorofila “a”)
(ha)	(hectare)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	19
	OBJETIVO GERAL .....	19
	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	19
<b>3</b>	<b>ARTIGO 1 (Revista Caderno Prudentino de Geografia)</b>	
	(USO E OCUPAÇÃO NO ENTORNO DA BAÍA DE PORTEL NO MARAJÓ E O POTENCIAL DE DEGRADAÇÃO HÍDRICA) .....	20
	RESUMO .....	20
	ABSTRACT .....	20
	RESUMEM .....	21
	INTRODUÇÃO .....	21
	MATERIAL E MÉTODOS .....	22
	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS .....	35
<b>4</b>	<b>ARTIGO 2 (Revista Brasileira de Geografia Física)</b>	
	(Avaliação Comparativa entre Dados de Sensor Remoto e In Situ para Predição do Índice de Estado Trófico a partir da Clorofila “a” no Marajó) .....	39
	RESUMO .....	39
	ABSTRACT .....	39
	INTRODUÇÃO .....	40
	MATERIAL E MÉTODOS .....	40
	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
	CONCLUSÃO.....	50
	AGRADECIMENTOS .....	50
	REFERÊNCIAS .....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	54
	<b>REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	55
	<b>APÊNDICES</b> .....	60

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento da sociedade está intrinsecamente relacionado com a água, sendo este recurso natural, essencial para a vida no planeta. Apesar de sua abundância, apenas uma fração ínfima está disponível para o consumo humano (OLIVEIRA et al., 2017). Segundo Silveira et al. (2018), Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2022) o planeta terra é constituído por uma grande porcentagem de água, 109 mil km<sup>3</sup> de água em toda extensão territorial, desse total, cerca de 97,5% da água existente no mundo é salgada e apenas 2,5% doce e desse volume, menos da metade (31%) está disponível para ser utilizada pela sociedade.

Nesse cenário mundial, a região amazônica é descrita por Silva (2018) como a região hidrográfica com a maior bacia fluvial do mundo que abrange uma área de 6,2 milhões de km<sup>2</sup> por vários países como Peru, Colômbia, Bolívia, e o Brasil, que possui a maior parte de sua extensão (4 milhões de km<sup>2</sup>). Nos períodos de chuvas, o rio Amazonas, maior rio em volume de água do mundo, alcança 16 metros acima de nível normal.

Apesar de toda a sua dimensão, vários estudos com objetivo de analisar a qualidade da água amazônica apontam resultados negativos com baixo nível de qualidade, principalmente causados por despejos de esgoto doméstico sem o tratamento adequado (SANT'ANA; VITAL; SILVA, 2020; QUEIROZ; MELO, 2017; SILVA *et al.*, 2020). De acordo com o diagnóstico temático de água e esgoto elaborado pelo SNIS no ano de 2021, o Norte é a região com o menor índice de população total atendida com rede pública de esgoto do país (13,1%).

Este panorama é consequência da despreocupação quanto à quantidade de água para o abastecimento populacional, pois, devido à grande disponibilidade quantitativa induz a sociedade a desperdiçar e poluir os recursos hídricos, diminuindo a disponibilidade qualitativa (SOARES DE SOUZA, 2017; FERREIRA, 2017). Segundo o Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006) a região Norte detém do maior índice de disponibilidade per capita de água doce do país, conciliando alta vazão específica com baixa densidade populacional. Associado a isso, a região norte apresentou o maior índice de perdas de água com 51,2% (SNIS,2021), o que contribui para a afirmação da ausência de consciência no que tange a importância da água.

As questões supracitadas tornam-se mais alarmantes quando se trata de população urbana. Monte *et al.* (2021) relata que nos centros urbanos da Amazônia, a relação entre sociedade e recursos hídricos tem uma dinâmica específica, se comparada aos outros biomas do país, povos tradicionais e cidades inteiras utilizam a água como fonte de alimento, transporte, moradia e comunicação com outras partes do território brasileiro, sendo dependentes da disponibilidade hídrica para a sobrevivência e a manutenção das atividades cotidianas, em alguns casos, tais atividades, quando não há um monitoramento ambiental, por estarem nas adjacências de um corpo hídrico, amplificam o transporte de nutrientes e sedimentos para as águas receptoras.

Com o contexto regulatório nacional, é possível controlar estes fatores, para isso, vale destacar o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), um documento essencial para orientar e coordenar nas três escalas (federal, estadual e municipal) a gestão dos recursos hídricos. Ademais, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) disponibiliza resoluções com diretrizes direcionadas a conservação das águas, como a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Além dessa, a Resolução nº 430/2011 que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para lançamento de efluentes em corpos de água. Além dessas, a Portaria GM/MS nº 888 de 2021 que alterou o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Em virtude disso, visando a preservação da qualidade da água a ampla legislação hídrica deve ser largamente aplicada, principalmente, em corpos d'água próximos a conglomerados urbanos que sofrem impactos de forma mais intensa, visto que a malha urbana se torna uma fonte difusa de poluição. Logo, para o conhecimento das principais ameaças à qualidade da água é indispensável a classificação do uso e ocupação do solo no entorno dos mananciais e compreender suas possíveis influências sobre estes, a fim de auxiliar a gestão hídrica (PAULA; BENEDETTI; FILHO, 2016). Consoante a isso, Bittencourt et al. (2006) corroboram que o conhecimento da distribuição espacial das várias formas de ocupação é fundamental para obter informações detalhadas e desenvolver técnicas voltadas ao monitoramento hídrico. Visto que, esse processo pode contribuir para o comprometimento das

características físico-químicas da água com o lançamento de resíduos orgânicos e compostos químicos (GONÇALVES; ROCHA; FERREIRA, 2011).

Como resultado dos despejos inadequados, surgem fenômenos como a eutrofização, um problema presente em todo o planeta e as consequências de tal fenômeno não atingem somente a saúde do ecossistema, mas também a prestação sustentável de produtos e serviços. Richardson e Jorgensen (1996) destacam que a eutrofização pode ocorrer de duas formas, natural ou antropogênica, sendo a natural caracterizada pela ressurgência de águas oceânicas, movimento ascendente de água fria vinda das profundezas enriquecidas por nutrientes. Enquanto, a antropogênica é gerada nas atividades humanas, considerada um estresse proveniente do despejo de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, e isto, avança com o crescimento desordenado da população, com os usos múltiplos da água e o saneamento inadequado.

A dinâmica de reação do recurso hídrico ao lançamento excessiva de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) pode ser variada no espaço e no tempo, dentro da mesma bacia hidrográfica, considerando fatores como geologia, solos, clima, fluxo d'água, biologia e atividades antrópicas (SILVA, 2019). Independente da dinâmica dos nutrientes, como resultado da entrada demasiada destes no ambiente aquático, tem-se a clorofila "a", um dos pigmentos responsáveis pelo processo fotossintético e primeiro sintoma de eutrofização, se tornando o principal aspecto indicador do fenômeno, ou seja, por meio da clorofila "a" é possível identificar biomassa fitoplanctônica (BAUMGARTEN; POZZA, 2021).

A partir dos fatos, é notória a eutrofização de rios e lagos como um evento extremamente prejudicial para o ecossistema e para população. Apesar disso, a disponibilidade de dados referentes a qualidade da água é baixa em muitos locais, potencializando assim a crise hídrica em diversos países, pois, essa realidade dificulta a tomada de decisões e de estratégias sustentáveis (ERISMAN *et al.*, 2013; NIETO, 2011; OELKERS; HERING; ZHU, 2011).

Desse modo, a solução para este obstáculo necessita da aplicação de ações de políticas públicas em consonância com a comunidade acadêmica e civil, além do cumprimento da completa legislação sobre recursos hídricos. Portanto, é fundamental a realização de estudos abordando esta temática para maior entendimento da real situação da qualidade da água, principalmente, na região amazônica, detentora da

maior bacia hidrográfica do mundo.

Como parte da amazônia, no município de Portel no estado do Pará também são encontrados efeitos negativos sobre os recursos hídricos. Conforme o Instituto Trata Brasil com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SNIS (2021) o município não possui um sistema de tratamento de esgoto, a população, basicamente, utiliza fossa séptica ou fossa rudimentar, este cenário, por sua vez, torna a água inacessível, na região cerca de 97% da população local não tem acesso a água tratada por rede de distribuição pública. Hodiernamente, esse panorama já tem sido discutido no âmbito acadêmico (BARROS et al., 2017; SEABRA, 2019; RIBEIRO, 2021; OLIVEIRA, 2021; OLIVEIRA; SILVA; NUNES, 2021).

Para este fim, é indispensável a utilização de ferramentas que auxiliem no planejamento e monitoramento dos ecossistemas aquáticos. Entre as opções pode-se salientar o Índice de Estado Trófico (IET), que foi avaliado segundo Silva et al. (2018) como uma técnica satisfatória para análise do nível trófico de rios e lagos. Como instrumentos de comunicação com a comunidade, os índices de qualidade são eficientes para a avaliação do estado de degradação hídrico (BATISTA; CABRAL, 2017). Desde a Conferência de Estocolmo, em 1972, estudos são realizados voltados a construção de índices que abordassem o campo ambiental, considerando que esta técnica representa de maneira sucinta, econômica e com um significativo grau de abrangência, a realidade do ambiente (FERREIRA; SANTOS; LIMA, 2016).

Além disso, como forma de tornar a análise ainda mais simples e com maior abrangência, o sensoriamento remoto se mostra como um instrumento adequado. Visto que, por meio do tratamento de imagens de satélites é possível averiguar a realidade da área estudada de forma ampla e econômica (DUTRA et al., 2019). Segundo Feyisa *et al.* (2014), Toming *et al.* (2016) e Grendaite *et al.* (2018) nas últimas décadas os estudos ambientais realizados com sensoriamento remoto e análise de imagens de satélites avançam como metodologia alternativa para a realização do monitoramento do meio ambiente. Dentre as diversas aplicações destas ferramentas no cenário ambiental, pode-se citar a avaliação superficial dos corpos hídricos e a caracterização de bacias hidrográficas (FERREIRA; XAVIER, 2018).

O sensoriamento remoto oferece diversas vantagens como baixo custo, dados constantes e sinópticos, facilidade de coleta e atualização de informações de várias propriedades dos alvos, possibilitando o estudo da dinâmica de variáveis limnológicas em corpos hídricos, em diferentes escalas espaciais e temporais, fator vital para a

correta avaliação e gestão dos corpos d'água (HUNTER *et al.*, 2008; SAYERS *et al.*, 2019). Em virtude disso, Gholizadeh, Melesse e Reddi (2016) confirmam a eficiência dos métodos de sensoriamento remoto nas questões de monitoramento da qualidade da água de corpos hídricos em larga escala.

Gholizadeh, Melesse e Reddi (2016) corroboram afirmando que apesar do método de análise *in loco* ser bastante preciso as lacunas das medições está na dificuldade em realizá-las de forma suficientes para viabilizar a criação de mapas de distribuição estaticamente significativas para a região inteira que se quer analisar, e na exigência de grande esforço laboratorial. Além disso, Vieira (2019) critica esse tipo de amostragem por ela não possibilitar o monitoramento contínuo sistemático dos ambientes aquáticos.

O método do sensoriamento remoto é aplicável por meio das interações físico-químicas da água com as radiações eletromagnéticas (REM), nas quais existem padrões de absorção, espalhamento e atenuação de uma água pura com os encontrados na massa d'água em análise (CASSOL *et al.*, 2013). Tais radiações sofrem variações espectrais no seu caminho, desde a fonte até os sensores orbitais, estas variações são classificadas em reflectância atmosférica, resultante das interações das REM com a atmosfera e que não chega à superfície; reflectância de superfície, que corresponde uma pequena quantidade da radiação solar que consegue atravessar a atmosfera, e penetrar aproximadamente 1mm na superfície hídrica; reflectância volumétrica, que corresponde a radiação que penetra no corpo hídrico e efetivamente interage com a água e com os componentes opticamente ativos (COAs), sem interações com o fundo e a reflectância de fundo, resultante da reflexão com a superfícies do fundo de corpos hídricos rasos (MOURA *et al.* 2020).

Em virtude disso, há diversos fatores que podem ser avaliados por meios de informações espectrais de imagens de satélites, tais como: distribuição de cianobactérias (OYAMA; MATSUSHITA; FUKUSHIMA, 2015), fitoplâncton (CICERELLI; GALO, 2015) e vegetação aquática (LUO *et al.*, 2016), além da transparência e turbidez da água (ALIKAS; KRATZER, 2017; GONZÁLEZ-MÁRQUEZ *et al.*, 2018). Segundo Gholizadeh, Melesse e Reddi (2016) Um dos parâmetros da água mais estudado recentemente através de técnicas de sensoriamento remoto tem sido a clorofila "a" que possui características de refletância, principalmente, de energia eletromagnética nos comprimentos de onda correspondentes à cor verde, e de absorção da maior parte da energia correspondente às cores azuis-violetas e laranja-

vermelha, fato que faz que com este pigmento seja visto como verde.

Consoante a isso, as potencias mundiais como Estados Unidos e China, possuem, juntos, 29% de seus trabalhos publicados na área, mais da metade dessas pesquisas correspondem a estudos de clorofila a partir de tecnologias do sensoriamento remoto (SOUZA; ESPINDOLA; SILVA, 2020). Diante dos fatos expostos, é notório que o estudo da qualidade da água por meio do sensoriamento remoto tem se expandido, sobretudo em países desenvolvidos como Estados Unidos e China. Ademais, a qualidade da água está intrinsecamente relacionada à eutrofização dos corpos hídricos e essa, por sua vez, a comunidade fitoplanctônica e a clorofila.

## **2. OBJETIVOS**

### **Geral**

Compreender a capacidade do sensoriamento remoto de predizer o Índice de Estado Trófico da Baía do Portel no estado do Pará.

### **Específicos**

- Caracterizar as atividades de uso da terra realizadas no entorno da baía de Portel no Marajó apresentando os potenciais impactos decorrentes dessas;
- Classificar a distribuição espaço-temporal da Clorofila “a” da Baía de Portel utilizando como ferramenta imagens do satélite Sentinel 2;
- Comparar os níveis tróficos obtidos por meio das análises do satélite com as análises limnológicas de amostras em laboratório.

## USO E OCUPAÇÃO NO ENTORNO DA BAÍA DE PORTEL NO MARAJÓ E O POTENCIAL DE DEGRADAÇÃO HÍDRICA

### Resumo

O crescimento desordenado da população mundial, paulatinamente leva os recursos naturais a serem extintos, entre os recursos tem-se a água. Por esse motivo, a caracterização do uso do solo do entorno de uma bacia urbana é uma ferramenta que permite a identificação de fontes de poluição hídrica. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi caracterizar as atividades de uso da terra realizadas no entorno da baía do município de Portel no Marajó apresentando os potenciais impactos decorrentes dessas. Para esse fim, o processo metodológico inclui quatro etapas, iniciou-se com o levantamento histórico, logo após duas visitas em campo e registros fotográficos, em seguida a classificação do uso e ocupação da terra e a determinação do NDVI. Através disso, identificou-se com as visitas em campo, diferentes usos múltiplos da água ao longo da orla da cidade, inclusive de atividades que requerem padrões de qualidade da água distinto. Ademais, observou-se por meio de imagens de satélites após seis anos ocorrem avanços de atividades antrópicas na região central de Portel, como a agropecuária e o desmatamento, apesar da predominância da vegetação no município, identificada pelo NDVI. Portanto, ao realizar comparações com outros estudos citados nesta pesquisa, concluiu-se que a realidade da área de estudo necessita de atenção por partes dos órgãos competentes, no que tange o monitoramento dos pilares social, ambiental e econômico, visando estratégias sustentáveis e legais para a comunidade de Portel, aprimorando os baixos indicadores socioambientais.

**Palavras-chave:** Impactos Ambientais; Usos Múltiplos da Água; NDVI.

## USE AND OCCUPATION IN THE SURROUNDINGS OF PORTEL BAY IN MARAJÓ AND THE POTENTIAL FOR WATER DEGRADATION

### Abstract

The disorderly growth of the world's population gradually leads to the extinction of natural resources, among which there is water. For this reason, the characterization of land use around an urban basin is a tool that allows the identification of sources of water pollution. Thus, the objective of this research was to characterize the land use activities carried out around the bay in the municipality of Portel in Marajó, presenting the potential impacts arising from these. To this end, the methodological process includes four stages, starting with the historical survey, then two field visits and photographic records, then the classification of land use and occupation and the determination of the NDVI. Through this, it was identified with the field visits, different multiple uses of water along the edge of the city, including activities that require different water quality standards. In addition, it was observed through satellite images, after six years, advances in anthropic activities in the central region of Portel, such as agriculture and deforestation, despite the predominance of vegetation in the municipality, identified by the NDVI. Therefore, when making comparisons with other studies cited in this research, it was concluded that the reality of the study area needs attention from the competent bodies, regarding the monitoring of the social, environmental and economic pillars, aiming at sustainable and legal strategies to the community of Portel, improving the low socio-environmental indicators.

**Key words:** Environmental impacts; Multiple Uses of Water; NDVI.

## USO Y OCUPACIÓN EN LOS ALREDEDORES DE LA BAHÍA DE PORTEL EN MARAJÓ Y EL POTENCIAL DE DEGRADACIÓN DEL AGUA)

### Resumen

El crecimiento desordenado de la población mundial conduce paulatinamente a la extinción de los recursos naturales, entre los que se encuentra el agua. Por ello, la caracterización del uso del suelo alrededor de una cuenca urbana es una herramienta que permite identificar las fuentes de contaminación del agua. Así, el objetivo de esta investigación fue caracterizar las actividades de uso del suelo realizadas alrededor de la bahía en el municipio de Portel en Marajó, presentando los impactos potenciales derivados de estos. Para ello, el proceso metodológico contempla cuatro etapas, iniciando con el levantamiento histórico, luego dos visitas de campo y registros fotográficos, luego la clasificación de uso y ocupación del suelo y la determinación del NDVI. A través de esto, se identificó con las visitas de campo, diferentes usos múltiples del agua a lo largo del borde de la ciudad, incluyendo actividades que requieren diferentes estándares de calidad del agua. Además, se observó a través de imágenes de satélite, luego de seis años, avances en actividades antrópicas en la región central de Portel, como la agricultura y la deforestación, a pesar del predominio de la vegetación en el municipio, identificado por el NDVI. Por lo tanto, al realizar comparaciones con otros estudios citados en esta investigación, se concluyó que la realidad del área de estudio necesita atención de los órganos competentes, en cuanto al seguimiento de los pilares sociales, ambiental y económico, visando estrategias sostenibles y legales para la comunidad de Portel, mejorando los bajos indicadores socioambientales.

**Palabras-clave:** Impactos ambientales; Usos Múltiples del Agua; NDVI.

### Introdução

O crescimento exponencial e desordenado da população mundial, paulatinamente leva os recursos naturais a serem extintos ou inutilizáveis para o próprio ser humano (VIANNA, 2015). Nesse contexto, a urbanização e a realização ilegal de atividades antrópicas contribuem significativamente para o este panorama. Embora muitos entendam a importância dos recursos naturais para a funcionalidade da vida, é crescente a exploração predatória e degradação do meio ambiente. De acordo com Casarin e Santos (2018), o resultado ambiental e social da exaustão dos recursos naturais fundamentais para a humanidade, pode se apresentar através da fome, doenças, disputa políticas e até mesmo guerras.

Como constituinte do rico ecossistema terrestre, tem-se a água, elemento determinante para a sobrevivência da presente e futura geração, sua presença ou ausência escreve a história, na qual existe uma verdadeira dependência entre seres vivos e recurso natural (BACCI; PATACA, 2008). A contaminação da água está diretamente relacionada com a construção de cidades próximo a corpos d'água sem qualquer planejamento e sem infraestrutura, o uso e ocupação do solo irregular reduz a capacidade de autodepuração de rios, lagos, represas, entre outros (SOUZA et al., 2017).

Por esse motivo, a caracterização do uso do solo do entorno de uma bacia urbana permite a identificação de fontes de poluição hídrica. Nesse sentido, existem diversas atividades potencialmente poluidoras que podem estar presentes próximo a corpos d'água, a

agricultura, pecuária, centros urbanos e industriais são exemplos dessas atividades, uma vez que áreas urbanas, industriais e agropecuárias estão associadas a poluição orgânica, bem como metais pesados e nutrientes (LI et al., 2009; KANG et al., 2010). Além disso, a instalação de empreendimentos poluidores exige a operação dos serviços sanitários com qualidade e eficiência, Ribeiro e Rooke (2010) destacam que as falhas na administração ambiental de empresas ou departamentos de água e esgotos das cidades resultam em graves problemas socioambientais.

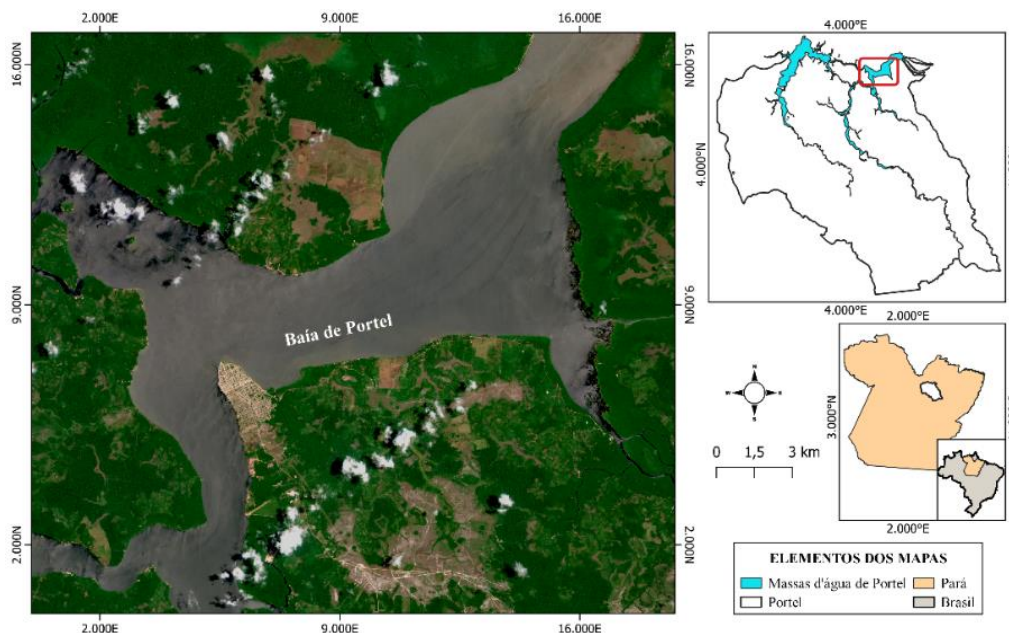
Mediante o exposto, o objetivo do presente estudo é caracterizar as atividades de uso da terra realizadas no entorno da baía de Portel no Marajó apresentando os potenciais impactos decorrentes das atividades antrópicas realizadas na área urbana do município.

## Materiais e Método

### *Caracterização da Área de Estudo*

O objeto de estudo dessa pesquisa é a região do entorno da baía de Portel na mesorregião do arquipélago do Marajó no Estado do Pará. O município possui fronteiras com os municípios de Melgaço a norte; Oeiras do Pará a leste; Itupiranga e Porto de Moz a sul e Senador José Porfírio a oeste (AMUT, 2022). A Figura 1 apresenta a localização da baía do Portel.

**Figura 1-** Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autores (2022).

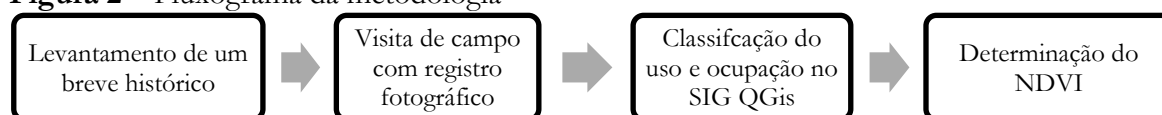
A região se distâcia da capital, Belém, 270 km via terrestre, no entanto, o acesso a cidade se dá apenas por meio da navegação com duração de aproximadamente 16h de viagem, o município ocupa uma área de 25.384,960 km<sup>2</sup> e sua densidade demográfica é de 2,06 hab/km<sup>2</sup>, possui uma população estimada para 2021 de 63.831 pessoas. Além disso,

possui um PIB per capita de aproximadamente R\$ 12.703, com a maior contribuição vindo da agricultura, o IDH da região é de 0.483, considerado muito baixo (IBGE, 2010; PNUD, 2010; AMUT, 2022).

#### *Método da Pesquisa*

O processo metodológico para descrever as atividades realizadas no local, incluem quatro etapas. A primeira etapa se deu por meio do levantamento histórico da ocupação do município, posteriormente foram realizadas visitas de campo com registros fotográficos, na etapa seguinte classificou-se o uso e ocupação com o software livre Qgis, versão 3.28, e assim determinou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Como observado na Figura 2.

**Figura 2** – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autores (2022).

#### *Coleta e Análise dos Dados*

O levantamento do breve histórico é essencial para entender as influências passadas na realidade atual. Por esta razão, o histórico de ocupação do município de Portel, principalmente o que tange a região central, foi fundamental nesse estudo. Esta etapa foi efetivada através de um levantamento nos documentos disponíveis em plataformas digitais, relatos públicos, artigos acadêmicos, entre outras fontes de informações acessíveis. O período de busca foi definido desde a fundação do município até os dias atuais.

Na etapa da visita de campo, segunda fase, possibilitou a visualização na prática das atividades em funcionamento no local, neste estudo foram realizadas duas visitas sendo uma no dia 17/03/2022 e outra no dia 19/06/2022, em ambos os momentos foram registradas fotografias dos empreendimentos instalados na região.

Na terceira etapa, foi classificado o uso da terra em maior escala, com o auxílio do software Qgis, versão 3.28, com as bandas na composição RGB do satélite Sentinel 2A disponíveis na plataforma *Copernicus* da Agência Espacial da Europa (ESA), utilizou-se a metodologia supervisionada para a determinação das classes, neste processo são utilizados algoritmos para nomear os pixels em uma imagem de forma a representar tipos específicos de cobertura terrestre (LILLESAND; KIEFER, 1994). Considerou-se nessa etapa, o ano de lançamento do satélite a órbita, 2015, e as cenas com mínima cobertura de nuvens, a pesquisa em questão realizou a classificação para os anos de 2016, 2019 e 2021 como forma de comparação entre as atividades, basicamente as rurais, no decorrer dos seis anos.

Na última etapa, analisou-se a vegetação do local estudado, calculou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), um indicador simples de biomassa fotossinteticamente ativa ou, em outros termos, um cálculo do pigmento de clorofila “a”. O pigmento de clorofila na planta saudável absorve a maior parte da luz vermelha visível, e a estrutura celular de uma planta reflete a maior parte da luz quase infravermelha (HUANG et al., 2020), essa relação foi observada neste trabalho através da modelagem da Equação 1 em ambiente SIG utilizando as Bandas B04 e B08, vermelho e infravermelho, respectivamente, do satélite supracitado, para os anos 2016 e 2022.

Equação 1

$$\frac{(\text{Infra.próximo-vermelho})}{(\text{infra.próximo}+\text{vermelho})}$$

## **Resultados e Discussão**

### *Histórico da Ocupação de Portel*

Primitivamente, no século XVII o município de Portel era uma aldeia de índios, que foi reorganizada pelo Padre Antônio Vieira, que após tal iniciativa, os fundadores desta entregaram-na sob a direção dos Padres da Companhia de Jesus, passando a se chamar Arucarã. Em 1758, com a expulsão dos jesuítas do Brasil, a aldeia foi promovida a vila com a denominação de Portel, nomenclatura de origem portuguesa que significa “porto pequeno”. Contudo, em 1833, a vila foi extinta sendo o território de Portel anexado ao município de Melgaço, essa integração durou cerca de 10 anos, após esse período Portel readquiriu o predicado de vila (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTEL, 2022).

O município possuía uma economia atrasada, com sua população assentada principalmente nas margens de rios nos interiores, visto que sua sede era utilizada mais como estratégia comercial. Então em 1950, foi instalada na foz do rio Pacajá e Camarapi a empresa norte-amerina madeireira Companhia Amazonas Compensados e Laminados, na época, a primeira grande indústria no interior do Pará. Após alguns anos a mesma empresa passou a se chamar AMACOL (Amazonas compensados e Laminados). A partir de então a economia passa a crescer, a chegada da empresa abre portas de emprego para os moradores locais, o comércio expande, a educação avança, além das mudanças na política e na cultura influenciadas pela convivência com estrangeiros (MONTEIRO, 2014).

Contudo, com o passar do tempo no início da década de 80 aconteceu a grande greve na AMACOL, em um cenário de ditadura militar e de desvalorização do compensado, ela passou a receber bem menos em real por cada caixa de compensado vendida nos Estados Unidos.

Com quase 50 anos, no início do ano 2000, já, não fazia mais sentido manter em funcionamento a velha fábrica, e assim esta fechou as portas. Não contentes, numa ação rápida e desordenada, aproximadamente 1600 famílias, no dia 20 de abril de 2008, ultrapassam os cercados da empresa falida, dando início à grande ocupação. Desde então, o local ocupado mostra outra realidade para o povo de Portel, pois mesmo com as dificuldades, ruas tomaram formas e ganharam nomes, construções de casas são cada vez mais constantes, o comércio está presente, a paisagem geográfica é outra e os moradores carinhosamente chamam o local, onde se instalava a antiga fábrica, de “A Portelinha” (ALVES, 2010).

#### *Atividades Comerciais Realizadas na Cidade*

Hodiernamente, o município de Portel faz parte do polo turístico da região do marajó, em virtude do legado deixado pelos povos indígenas, pioneiros da cidade, destaca-se pela cultura, muito bem exposta no museu do município que relembra sua história, desde os povos indígenas até a ocupação por famílias portuguesas. Além disso, é reconhecido pela sua produção artesanal, como as peças de cerâmica, madeira, cipós e sementes, pela culinária baseada em pratos feitos a partir do pescado local, e ainda por suas belas praias (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTEL, 2022; AMAM, 2012).

De acordo com o Ministério da Economia (2022), no que tange atividades econômicas do município, existem 1.282 empresas ativas, sendo que 1.016 são microempresas, 212 são empresas de pequeno porte e 54 são outros tipos de empresas. Ademais, a atividade mais realizada no centro da cidade são os estabelecimentos do ramo alimentício (minimercados, mercearias e armazéns) com 214 empresas, dentre outras atividades, pode-se encontrar na grande orla de Portel, serrarias, postos de combustível flutuante, o mercado municipal, porto de embarcações, praias, realização da pesca, bares e restaurantes, unidade básica de saúde, vendedores ambulantes e até mesmo o cemitério da cidade.

Em duas visitas de campo registrou-se a variedade de atividades realizadas e a possível pressão antrópica sobre o rio em frente a cidade. Entre as atividades mais frequentemente observada na orla tem-se as serrarias (Figura 3-A, Figura 3-B), resultado deixado pela economia passada com a empresa AMACOL.

**Figura 3** – Serrarias na orla de Portel. A) Grande serraria as margens do rio. B) comércios de madeira.



Fonte: Autores (2022).

As serrarias instaladas próximo a cursos d'água são consideradas potenciais fontes de poluição, isto pois, os resíduos de madeira, se descartados incorretamente contribuem diretamente na degradação dos recursos hídricos, como foi observado por um estudo realizado por Silva e Silva (2020) em igarapés do município de Uruará também no estado do Pará, o qual identificou que os resíduos do beneficiamento da madeira são levados pela chuva para o leito dos igarapés no período chuvoso e causaram a diminuição do nível da água e a seca no período de estiagem.

Pode-se encontrar em outro ponto da orla, próximo a prefeitura, outras atividades como postos de combustível flutuantes, portos, inclusive com embarcações utilizadas como moradia e área de balneabilidade (Figura 4-A e Figura 4-B).

**Figura 4** – Orla do município de Portel. A) Posto de combustível. B) Portos com área de balneabilidade.



Fonte: Autores (2022).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 273 de 2000, postos de combustíveis são considerados empreendimento potencialmente poluidores, uma vez que podem poluir as águas superficiais e subterrâneas, o solo e o ar. Dado que, os hidrocarbonetos derivados do petróleo contido nos combustíveis podem permanecer por muito tempo no meio físico, tornando o ambiente extremamente perigoso

para os ser humano por conter substâncias carcinogênicas e depressoras do sistema nervoso central (VALENTINO; CARNIETO; ESCANDIEL, 2018).

Outra fonte de degradação da água é a produzida pela população residente das embarcações ancoradas nos portos, as quais, é comum encontrar despejo de esgoto doméstico diretamente nos corpos d'água, além de utilizarem desta água para suprir algumas necessidades pessoais de higiene. Nesse sentido, Santos (2022); Melo (2018) e Renês, Santos e Silva (2022) corroboram que a poluição hídrica causada por lançamento de esgoto bruto nos cursos de água altera os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água podendo contaminar o homem com patógenos ou metais presentes no esgoto.

Vale ressaltar que, no local foi constatado vários usos que requerem qualidades de água diferentes, principalmente no que tange a balneabilidade, a qual não poderia ocorrer no mesmo manancial onde está sendo lançado esgoto doméstico. Os corpos d'água contaminados por esgotos sanitários expõem os banhistas a riscos de doenças e o uso de recreação, está entendido como contato direto e prolongado com a água, onde a possibilidade de ingerir quantidades apreciáveis de água é elevada (PEREIRA; TOCCHETTO, 2005).

O mercado municipal também está localizado a margem do rio (Figura 5) e abriga aproximadamente 70 microempreendedores que comercializam peixes e hortifruti (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2022). Próximo ao mercado é possível encontrar outras embarcações ancoradas e algumas residências.

**Figura 5** – Mercado Municipal de Portel



Fonte: Autores (2022).

Pesquisas apresentam as potenciais degradações que as atividades realizadas em um mercado geram no meio aquático, devido à alta quantidade de resíduos gerados, tanto sólidos como líquidos, onde, o processamento de carnes e pescados geram grandes volumes de efluentes caracterizados por flutuações de pH, em função do uso de agentes de limpeza ácidos e básicos, altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal, flutuações de temperatura e

alta carga orgânica, devido à presença de sangue, gordura, conteúdo estomacal não digerido e conteúdo intestinal (CETESB, 2008; NASCIMENTO *et al.*, 2010).

O turismo também está presente na região, com algumas praias ao redor do centro da cidade. A praia do Tucano (Figura 6) é uma delas, reconhecida por suas barraquinhas de palha.

**Figura 6** – Praia do Tucano em Portel



Fonte: Autores (2022).

Araújo e Costa (2016) listam em seu estudo os principais problemas e impactos associados presentes em praias urbanas, como resíduos sólidos na areia e na água, descarga de água residual, presença de animais, atividade comercial elevada, construções irregulares no ambiente praial (verticalização excessiva da orla) e a ausência de infraestrutura. Considerando a praia do Tucano como urbana, pode-se afirmar que está sujeita a esses problemas, refletindo-os nas águas. Além dessas, uma das ocupações encontradas na área central da cidade, foi o cemitério (Figura 7), que está à uma curta distância da margem do rio.

**Figura 7** – Cemitério de Portel



Fonte: Google Earth (2022).

Os cemitérios são classificados como atividades que apresentam riscos de poluição ambiental. Tal situação coloca a população da redondeza como suscetível e necessita de um

tratamento com políticas públicas de forma especial (KEMERICH *et al.*, 2014; ANJOS, 2013). Uma pesquisa desenvolvida por Costa, Silva e Antunes (2020) que objetivou analisar a qualidade da água superficial próximo aos cemitérios do município de Presidente Prudente-SP, evidenciou que pode ocorrer contaminação nas águas superficiais, pois observaram alterações nos parâmetros analisados como DBO, cromo, ferro, fosfato, bactérias heterotróficas, coliformes totais, *Escherichia coli*, em quase todos os cemitérios analisados no estudo.

**Figura 8** – Bares e Restaurantes em Portel



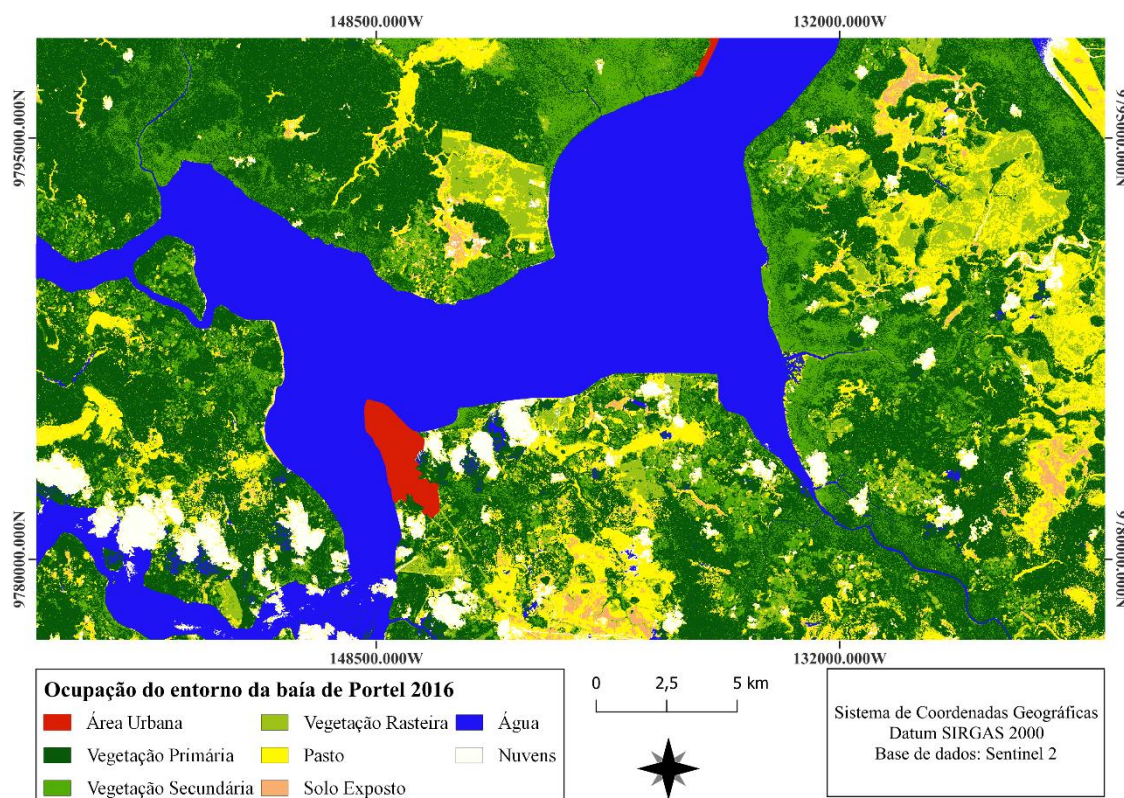
Fonte: Autores (2022).

Da mesma forma, bares e restaurantes presentes nas margens do rio (Figura 8) podem também impactar negativamente o corpo d'água. As instalações para uso de turismo e lazer, essencialmente, bares e restaurantes, se utilizarem inadequadamente os recursos naturais podem provocar grandes desequilíbrios ambientais, tais como, contaminação de recursos hídricos, devido a maior geração de esgotos não tratados, aumento da geração de resíduos sólidos devido à grande quantidade de insumos requerida, aumento no consumo de água potável principalmente devido a existência de banheiros e cozinha (DIAS; GRANADO, 2014).

#### *Classificação do Uso e Cobertura da Terra*

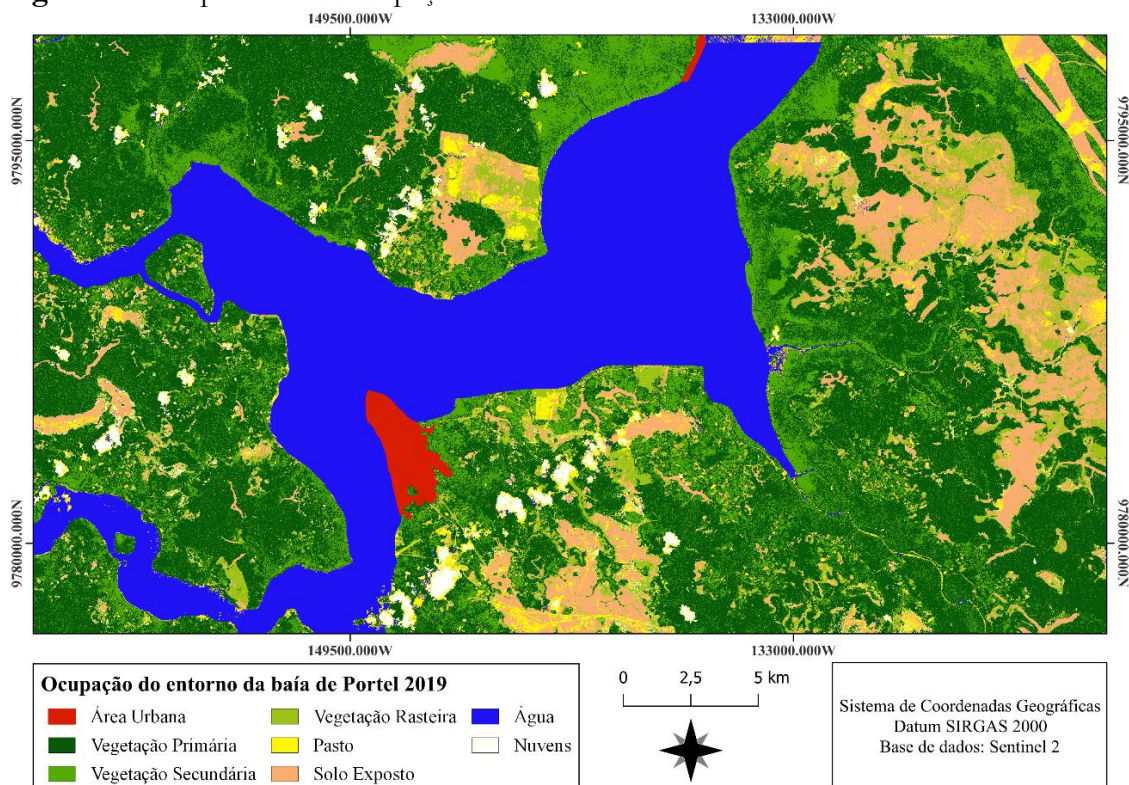
Através do tratamento das imagens obtidas no SIG gerou-se os mapas de uso e ocupação do solo da região central de Portel, para os anos de 2016, 2019 e 2021, estes estão apresentados nas Figuras 9, 10 e 11, respectivamente. Por meio da comparação entre os mapas, verificou-se algumas mudanças ocorridas no local de estudo após os seis anos estudados.

**Figura 9** – Mapa de uso e ocupação do entorno da baía de Portel no ano de 2016



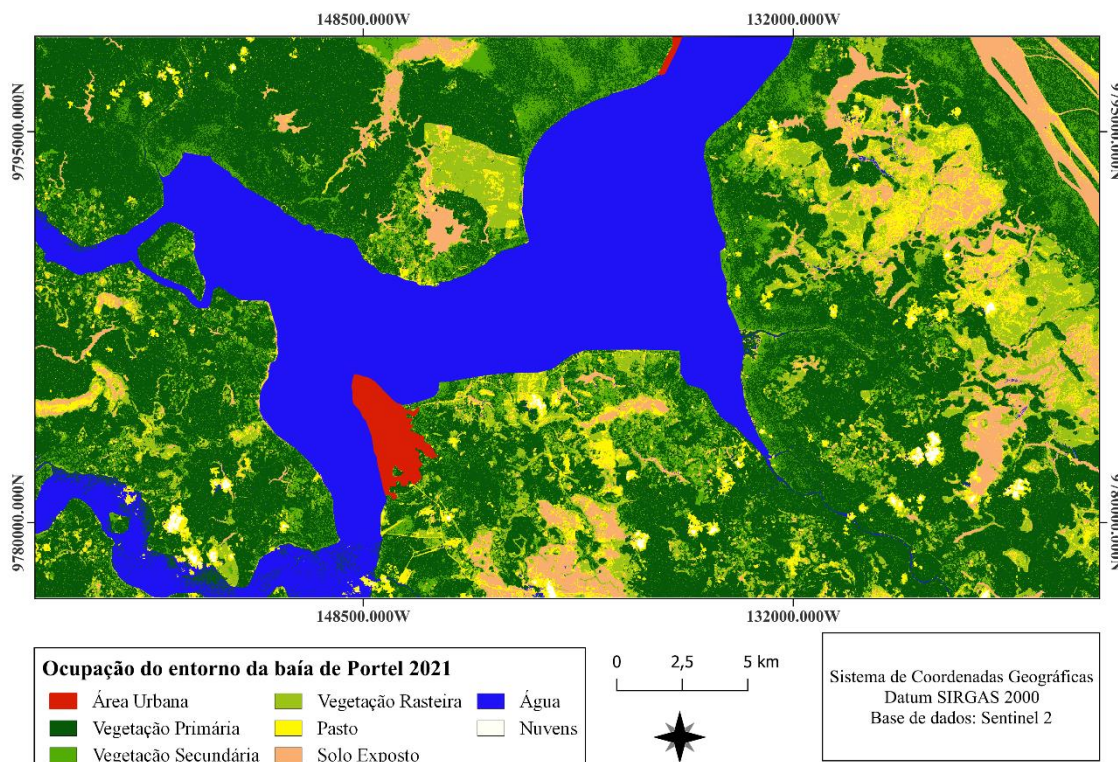
Fonte: Autores (2023)

**Figura 10** – Mapa de uso e ocupação do entorno da baía de Portel no ano de 2019



Fonte: Autores (2023)

**Figura 11** – Mapa de uso e ocupação do entorno da baía de Portel no ano de 2021



Fonte: Autores (2023)

**Figura 12** – Áreas em km<sup>2</sup> e ha das classes nos anos de 2016, 2019 e 2021

Ano	Classe	Área km <sup>2</sup>	Área ha	Ano	Classe	Área km <sup>2</sup>	Área ha	Ano	Classe	Área km <sup>2</sup>	Área ha
2016	Área Urbana	4,908	490,794	2019	Área Urbana	5,170	516,956	2021	Área Urbana	6,471	647,107
	Vegetação Primária	363,988	36398,779		Vegetação Primária	414,605	41460,481		Vegetação Primária	419,064	41906,415
	Vegetação Secundária	114,736	11473,630		Vegetação Secundária	144,431	14443,113		Vegetação Secundária	80,545	8054,489
	Vegetação Rasteira	68,819	6881,933		Vegetação Rasteira	78,712	7871,246		Vegetação Rasteira	101,466	10146,576
	Pasto	117,349	11734,919		Pasto	51,229	5122,914		Pasto	59,639	5963,935
	Solo Exposto	12,305	1230,487		Solo Exposto	99,472	9947,226		Solo Exposto	57,076	5707,642
	Água	170,808	17080,770		Água	182,277	18227,750		Água	177,609	17760,863
	Nuvem	50,518	5051,841		Nuvem	19,893	1989,324		Nuvem	3,124	312,439

Fonte: Autores (2023)

Observou-se nos mapas e na Figura 12 a crescente expansão da área urbana destacada em vermelho. Nesse contexto, em sua pesquisa, Neto (2019) identificou a intensa degradação ocasionada pelo elevado número de imóveis nas margens de um curso d'água, onde os imóveis podem estar lançando esgoto doméstico ou comercial sem qualquer tratamento no recurso hídrico. Levando em consideração o cenário do saneamento de Portel, esta situação pode também está ocorrendo com o rio Pacajá, além do rio, a preocupação também se estende aos lençóis freáticos da cidade que por não oferecer serviço de coleta de esgoto, as

residências possuem fossas sépticas que, segundo Mattos, Silva e Cardozo (2020) indiretamente acabam contaminando a água das proximidades com cargas microbiológica.

Além disso, identificou-se uma redução significativa na área de pastos entre os anos de 2016 e 2019, em contrapartida, nesse mesmo período, a área de solo exposto aumentou consideravelmente, entretanto, nos anos de 2019 e 2021, acontece o oposto, a área de pasto aumenta e a de solo exposto diminui. As áreas com solo exposto ocorrem associadas as atividades agropecuárias em decorrência do sobrepastoreio (SANTOS; GUERRA, 2021), ou seja, no ano de 2019 os pastos estavam inutilizáveis, sem qualquer tipo de flora, quando se trata do ano de 2021, nota-se a regeneração na área de pasto. Segundo Resende (2002), por meio das atividades agropecuárias e do solo exposto, tem-se a lixiviação do solo devido o fluxo maior de escoamento superficial, causando a contaminação por fósforo e nitrogênio, e o aumento do número de moléculas de nitrato na água, essa atividade indica risco potencial na presença de outras substâncias, tais como moléculas sintéticas de defensivos agrícolas, enquanto o fósforo acelera o processo de eutrofização de corpos d'água.

Ademais, no que se refere a área de água superficial calculada, observa-se o aumento de 2016 a 2019, e uma ligeira redução de 2019 a 2021. Alguns fatores podem ter interferido nesse resultado, no ano de 2016 foram identificadas nuvens e algas sobre o corpo d'água, já em 2019 houve a presença de menos nuvens e algas sobre o recurso hídrico. Enquanto a redução do espelho d'água de 2019 a 2021 pode ser explicado pela presença de algas na região sudoeste do mapa. Contudo, tendo em vista o aumento da instalação de imóveis as margens da baía o assoreamento é um evento que pode explicar essa oscilação na área de água. O processo de assoreamento dos corpos aquáticos, originado pelo acúmulo de sedimento no leito dos corpos hídricos, também é incluído como uma das consequências negativas decorrentes da ação antrópica dentro da bacia hidrográfica, a qual intensifica esse fenômeno natural nos grandes centros urbanos. Dentre os efeitos negativos desse fenômeno pode ser citada a redução do armazenamento do volume de água do manancial, podendo, assim, causar inundações em suas proximidades (TORQUATO, 2017).

Da mesma forma, verificou-se na classificação a variação dos estágios sucessionais da vegetação entre os anos analisados. No que tange a vegetação primária, foi identificado o crescimento da área de 2016 a 2019, no entanto, no ano de 2016 a área coberta por nuvens é maior que em 2019, prejudicando a análise dos resultados. Enquanto a vegetação secundária é quase a mesma em 2016 e no ano de 2019, embora, haja uma enorme perda de área, entre os anos de 2019 e 2021, como observado na Figura 3.12, criando assim, um alerta sobre a supressão vegetal. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA (2016), estudos mostram a importância das florestas secundárias na mitigação de impactos

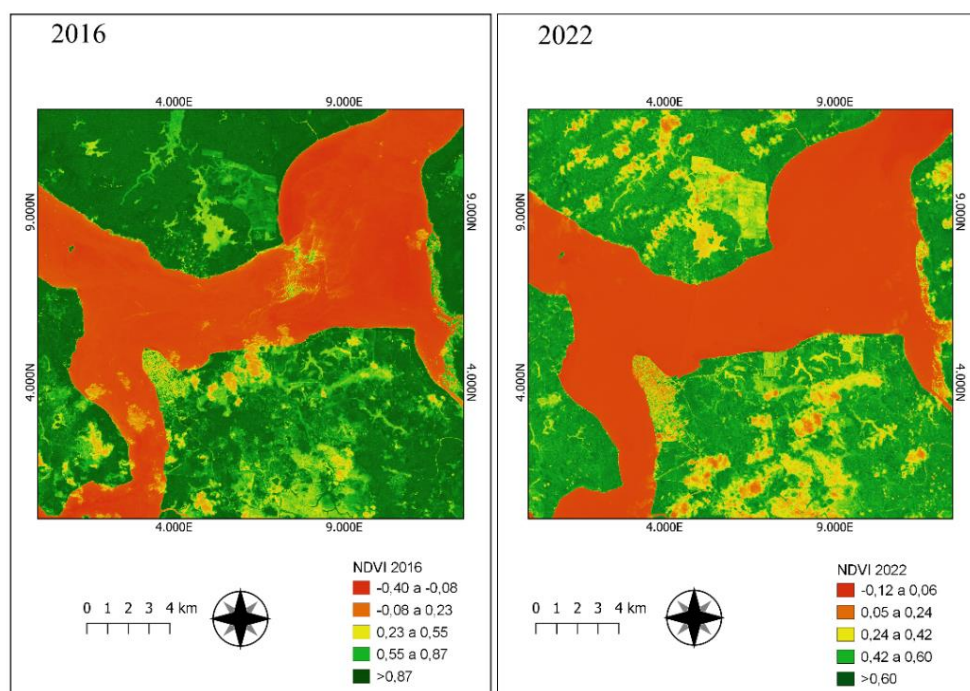
ambientais, através da regulação hidrológica, controle climático e da erosão dos solos, habitat para espécies, principalmente formando corredores ecológicos, e ofertando produtos florestais não madeireiros para populações tradicionais.

De modo geral, a região ainda apresenta uma grande área coberta por vegetação nativa, apesar da expansão urbana e das atividades agropecuárias. De acordo com o MapBiomas (2022) 88,37% do município corresponde a floresta, seguido de 7,16% de área ocupada por atividades agropecuaristas, os corpos d'água representam 3,42% e o restante é considerado formação natural não florestal.

#### *Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI*

De maneira complementar foi estimado o NDVI (Figura 13). Proposto por Rouse et al. (1974) o Normalized Difference Vegetation - NDVI é calculado utilizando dados espectrais e demonstra um bom desempenho para analisar mudanças na cobertura do solo possibilitando avaliar o teor de clorofila da vegetação através das bandas espectrais do infravermelho próximo e vermelho-visível.

**Figura 13** - NDVI da área de estudo

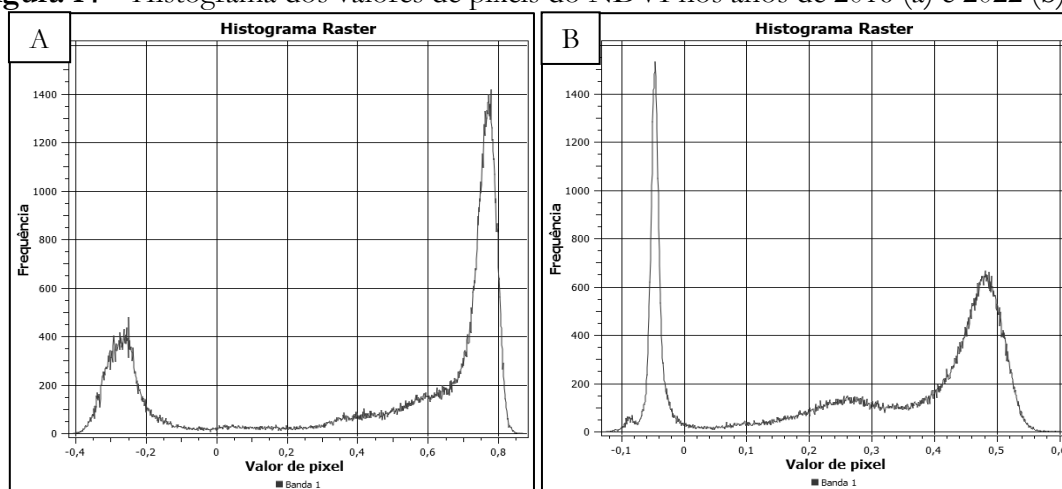


Fonte: Autores (2022).

A determinação do NDVI apresentou a predominância de índices positivos próximos de 1 o que indica a maior frequência de vegetação saudável na região da pesquisa, contudo, ao comparar os anos verificou-se a redução do índice máximo de 0,87 para 0,60, de 2016 e 2022 respectivamente, sugerindo a redução da vegetação densa do centro de Portel,

como a área está principalmente no entorno da baía, a redução da mata ciliar resulta em incontáveis impactos.

**Figura 14** – Histograma dos valores de pixels do NDVI nos anos de 2016 (a) e 2022 (b).



Fonte: Autores (2022).

Na observação das Figuras 14-A e 14-B, no ano de 2016 as maiores frequências estão nos valores de pixels entre 0,5 e 0,8, essa frequência altera no histograma de 2022 onde a frequência é maior entre -0,1 e 0, isto ressalta a diminuição da vegetação densa e saudável da área entre os anos. Como afirmam Viganó, Borges e Rocha (2011), os maiores valores de NDVI correspondem aos ND (Número Digital) mais elevados, relacionam-se às áreas de vegetação com maior vigor. Enquanto os menores valores equivalem aos ND baixos, representam as áreas de vegetação estressada ou áreas desnudas.

### Conclusão

Portanto, o presente estudo revela a realidade de uma cidade com um centro comercial altamente diversificado e em funcionamento simultâneo à margem da baía do Portel, essas atividades são fundamentais para o desenvolvimento econômico e social do município. Contudo, na perspectiva ambiental destaca-se um alerta sobre as possíveis consequências e riscos em que um manancial está exposto, notado por meio da comparação com estudos que analisaram as mesmas atividades, sem planejamento e monitoramento ambiental, próximas a corpos d'água.

Além disso, pode-se afirmar que as imagens da classificação do uso e ocupação do solo mostram o avanço da degradação do solo e a ocorrência de impactos ambientais, como a lixiviação de nutrientes até as águas superficiais ao longo dos anos. Ademais, por meio do NDVI, constatou-se a supressão vegetal na região da pesquisa, com a maior frequência de índices positivos no ano de 2016 e maior frequência de índices negativos no ano de 2022.

Dessa forma, é essencial uma visão holística e maior atenção por partes dos órgãos competentes, no que tange o monitoramento dos pilares social, ambiental e econômico,

visando estratégias sustentáveis e legais para a comunidade de Portel, aprimorando os baixos indicadores e alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável.

### Referências Bibliográficas

ALVES, R. **A Grande Ocupação de Portel: dois anos de lutas e vitórias**. Disponível em: <<https://pontodepauta.com/2010/06/09/a-grande-ocupacao-de-portel-dois-anos-de-lutas-e-vitorias/>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

AMAM. **AMAM - Marajó - Associação dos Municípios do Arquipélago do Marajó**. Disponível em: <[https://www.amam-marajo.org/municipios/portel/noticia\\_detalhes.asp?codigo=522](https://www.amam-marajo.org/municipios/portel/noticia_detalhes.asp?codigo=522)>. Acesso em: 17 maio. 2023.

AMUT. **Levantamento da Oferta Turística do Município de Portel**. Disponível em: <<http://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/pdf/inventarioportel.pdf>>.

ANJOS, R. M. dos. Cemitérios: uma ameaça à saúde humana. Portal CREA/SC. 2013. Disponível em: <<https://portal.crea-sc.org.br/cemiterios-uma-ameaca-a-saude-humana/?print=pdf>>. Acesso em : 25 de Setembro de 2022.

ARAÚJO, M. C. B.; COSTA, M. F. Praias Urbanas: o que há de errado com elas? **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 11, n. 05, 22 dez. 2016.

BACCI, D. DE L. C.; PATACA, E. M. Educação para a água. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 211–226, 2008.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000**. , 2000. Disponível em: <[http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/17\\_01\\_2011\\_17.30.47.12d8482d5a7677bddba4bbc18cc3bcbb.pdf](http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/17_01_2011_17.30.47.12d8482d5a7677bddba4bbc18cc3bcbb.pdf)>

CETESB. **Guia Técnico Ambiental de Frigoríficos Industrialização de Carne (Bovina e Suína)-Série P+L**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/frigorifico.pdf>>.

COSTA, L. A.; SILVA, P. A. DA; ANTUNES, P. A. Análise da atividade cemiterial na qualidade da água no município de Presidente Prudente-SP. **Geosul**, v. 35, n. 76, p. 298–325, 27 out. 2020.

DIAS, G.; GRANADO, D. Lazer e Recreação Associados aos Ambientes Aquáticos numa Pequena Cidade do Interior Paulista. **Colloquium Humanarum**, v. 11, n. Especial, p. 678–686, 20 dez. 2014.

ESA. **Copernicus Open Access Hub**. Disponível em: <<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>>.

FÁTIMA CASARIN; MÔNICA DOS SANTOS. **Água: o ouro azul**. [s.l.] Editora Garamond, 2018.

HUANG, S. et al. A commentary review on the use of normalized difference vegetation

index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 1, p. 1–6, 31 maio 2020.

IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/portel/panorama>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

INPA. **Estudo mostra importância das florestas secundárias na mitigação das alterações do clima | ONF Brasil**. Disponível em: <<http://reflorestamentocarbono.com.br/2016/05/20/estudo-mostra-importancia-das-florestas-secundarias-na-mitigacao-das-alteracoes-do-clima/#:~:text=%E2%80%9CAI%C3%A9m%20disso%2C%20a%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20secund%C3%A1ria>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

KANG, J.-H. et al. Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan River basin. **Water Research**, v. 44, n. 14, p. 4143–4157, jul. 2010.

KEMERICH, P. D. DA C. et al. A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 3777–3785, 26 nov. 2014.

LI, S. et al. Water quality in the upper Han River basin, China: The impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. **Journal of Hazardous Materials**, v. 165, n. 1-3, p. 317–324, 15 jun. 2009.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, Inc, 2015.

MAPBIOMAS. **Mapbiomas Brasil | Estatísticas**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/estatisticas>>.

MATTOS, J. C. P.; SILVA, J. L. DA; CARDOZO, C. DE F. Avaliação da qualidade das águas superficiais em áreas turísticas na microbacia do Igarapé Preto em Cruzeiro do Sul-AC. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 1, 7 maio 2020.

MELO, A. G. DOS S. Impactos da contaminação ambiental do rio Imbassá por lançamento de esgotos domésticos. **repositorio utfpr**, 11 ago. 2018.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Painel Mapa de Empresas**. Disponível em: <<https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/mapa-de-empresas/painel-mapa-de-empresas>>.

MONTEIRO, H. **Portel Revista: Companhia AMACOL: Mitos e Ilusões da População de Portel**. Disponível em: <<http://portelrevista.blogspot.com/2015/05/companhia-amacol-mitos-e-ilusoes-da.html>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

NASCIMENTO, J. et al. **Avaliação da Percepção Ambiental. Um estudo de caso com os feirantes do Mercado Público das Mangueiras, em Jaboaão dos Guararapes – PE**. Disponível em: <<http://congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/368/250>>.

NETO, D. O. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil Análise de**

**Ocupações Marginais ao Açude Senador Epitácio Pessoa na Cidade de Cajazeiras/Pb com Auxílio de Técnicas do Geoprocessamento.** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<[https://estudante.ifpb.edu.br/media/cursos/25/documentos/TCC\\_D%C3%81RIO\\_O\\_LIVEIRA\\_NETO.pdf](https://estudante.ifpb.edu.br/media/cursos/25/documentos/TCC_D%C3%81RIO_O_LIVEIRA_NETO.pdf)>. Acesso em: 17 maio. 2023.

PEREIRA L C; TOCCHETTO M R L. Balneabilidade e Riscos à Saúde Humana e Ambiental. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 05/jan./2021.

PNUD. **IDHM Municípios 2010.** Disponível em: <<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTEL. **História.** Disponível em: <<https://portel.pa.gov.br/o-municipio/historia/#:~:text=O%20top%C3%B4nimo%20de%20origem%20portuguesa>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

RÊNES, C.; SANTOS, E.; SILVA, G. S. A busca por soluções para a poluição hídrica: um estudo de caso sobre tratamento de efluentes / The search for solutions to water pollution: a case study on wastewater treatment. **Brazilian Journal Of Development**, v. 8, n. 2, p. 14115–14122, 23 fev. 2022.

RESENDE, Á. **Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da Água por Nitrato.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24718/1/doc\\_57.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24718/1/doc_57.pdf)>.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. **Universidade Federal de Juiz de Fora Saneamento Básico e sua Relação com o Meio Ambiente e a Saúde Pública.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoSa%C3%BAde.pdf>>.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., Vol. 1, Sect. A**, v. 1, 1 jan. 1974.

SANTOS, P. Avaliação temporal da qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento do esgoto sanitário de Rio Claro/SP. **Handle.net**, 2022.

SANTOS, R. C.; GUERRA, A. J. T. Avaliação da erosão dos solos na bacia hidrográfica do rio Pequeno, Paraty-RJ. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 12, n. 1, p. 23–43, 2021.

SILVA, P.; SILVA, M. **Igarapés Impactados pela Ação Antrópica no Município de Uruará, Pará.** Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2020A/igarapes.pdf>>.

SOUSA, A. et al. INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PELO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO NO BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO. 1 jan. 2017.

TORQUATO, A. L. Estimativa do assoreamento e avaliação da qualidade das águas do Açude Velho na cidade de Campina Grande/PB. **Ufcg.edu.br**, 2017.

VALENTINO, C. H.; CARNIETO, F.; ESCANDIEL, A. Susceptibilidade de poluição do solo e da água relacionados aos postos de combustíveis em área urbana / Susceptibility of soil and water pollution related to fuel stations in the urban area. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 55, 30 out. 2018.

VIANNA, A. M. Poluição ambiental, um problema de urbanização e crescimento desordenado das cidades. **Revista Sustinere**, v. 3, n. 1, p. 22–42, 16 jul. 2015.

VIGANÓ, H.; BORGES, E.; ROCHA, W. **Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster**. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.14.17.45/doc/p1364.pdf>>.

## **Avaliação Comparativa entre Dados de Sensor Remoto e *In Situ* para Predição do Índice de Estado Trófico a partir da Clorofila “a” no Marajó**

### **Resumo**

A contaminação ou poluição da água, geram diversos fenômenos, um deles é a eutrofização. Em virtude disso, com a finalidade de gestão sustentável dos recursos hídricos, o Índice de Estado Trófico foi desenvolvido para possibilitar a classificação das águas de corpos hídricos em diferentes graus de trofia, sendo o sensoriamento remoto uma das ferramentas capazes de determinar tal índice. Dessa forma, o objetivo deste estudo é comparar os níveis tróficos obtidos por meio das análises do sensoriamento remoto com as análises limnológicas de amostras de clorofila “a” em laboratório. A presente pesquisa é composta por três etapas de análises, primeiro serão coletadas amostras de água ao longo de sete pontos da baía de Portel-PA, que por sua vez serão analisadas em laboratório, em seguida, será feita a coleta e o tratamento das imagens de satélite para a predição da clorofila “a”, e então a comparação qualitativa dos valores obtidos com as etapas anteriores através do IET. A aplicação da metodologia permitiu observar que em todos os pontos os valores de IET verificados pelo sensoriamento remoto estão próximos da análise feita em laboratório tendo como classificação predominante entre os pontos a mesotrófica. Logo, análises espaciais como esta, demonstram a importância do sensoriamento remoto como ferramenta para a identificação das áreas de ocorrência de clorofila “a”, contudo, as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho, não foram capazes de substituir os trabalhos de campo. Elas apenas permitiram um planejamento e monitoramento remoto mais eficiente das ações a serem realizadas na etapa conclusiva.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Qualidade da água; Imagem de satélite.

## **Comparative Evaluation between Remote Sensor and In Situ Data for Predicting the Trophic State Index from Chlorophyll “a” in Marajó**

### **Abstract**

Contamination or water pollution generates several phenomena, one of which is eutrophication. As a result, with the aim of sustainable management of water resources, the Trophic State Index was developed to enable the classification of water resources in different degrees of trophicity, with remote sensing being one of the tools capable of determining such an index. Thus, the objective of this study is to compare the trophic levels obtained through remote sensing analyzes with limnological analyzes of Sample of chlorophyll “a” in the laboratory. This research consists of three stages of analysis, first a water sample will be collected along seven points in the bay of Portel-PA, which in turn will be laboratory results, then the collection and treatment of satellite images will be carried out. for the prediction of chlorophyll “a”, and then the qualitative comparison of the values obtained with the previous steps through the IET. The application of the methodology allowed observing that at all points the TSI values verified by remote sensing are close to the analysis carried out in the laboratory, with the predominant classification among the points being mesotrophic. Therefore, spatial analyzes such as this one, demonstrate the importance of remote sensing as a tool for identifying the areas of occurrence of chlorophyll “a”, however, as remote sensing techniques used in this work, they were not able to replace field work. They only allowed a more efficient remote planning and monitoring of the actions to be carried out in the final stage.

Key-words: Sustainability; Water quality; Satellite images.

## Introdução

A água pode ser considerada elemento chave para a existência da vida, nenhum ambiente se torna apropriado ao desenvolvimento de seres vivos sem água (Bacci e Pataca, 2008). Nesse sentido, a região amazônica é privilegiada por obter a maior bacia fluvial do mundo que abrange uma área de 6,2 milhões de km<sup>2</sup>, aspecto que reflete na não uniformidade dos corpos d'água amazônicos onde são encontradas diferenças tanto morfológicas quanto químicas e biológicas (Silva, 2018).

Apesar de toda a sua dimensão, vários estudos com objetivo de analisar a qualidade da água amazônica apontam resultados negativos com baixo nível de qualidade, principalmente causados por despejos de esgoto doméstico sem o tratamento adequado (Queiroz e Melo, 2017; Sant'Ana et al., 2019; Silva et al., 2020). Este cenário é consequência da despreocupação quanto à quantidade de água para o abastecimento populacional, pois, a grande disponibilidade quantitativa induz a sociedade a desperdiçar e poluir os recursos hídricos, diminuindo a disponibilidade qualitativa (Soares de Souza, 2017; Ferreira, 2017)

Tal contaminação ou poluição da água, geram diversos fenômenos, um deles é a eutrofização, que foi definida por Chen et al. (2016) como o enriquecimento de um determinado corpo d'água por nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo, que ao serem lançados de maneira excessiva no meio aquático provocam o aumento do crescimento de biomassa algal, ou seja, resulta no aparecimento da clorofila "a", um pigmento fotossintético e primeiro sintoma de eutrofização, se tornando o principal aspecto indicador da degradação (Baumgarten e Pozza, 2021).

Esses pigmentos verdes são comuns em todas as células fotossintéticas, ou seja, estão presentes em todos os organismos que realizam fotossíntese oxigênica (Streit, 2005). Devido esta propriedade, Kirk (1986) e Vieira Barreto et al. (2013) afirmaram que o parâmetro pode se estimado através de sensores ópticos, uma vez que a clorofila "a" absorve parte da radiação eletromagnética no visível, esta absorção depende da concentração e das características do pigmento e das características da água.

Dessa forma, com a finalidade de gestão sustentável dos recursos hídricos, o Índice de Estado Trófico foi desenvolvido para possibilitar a classificação das águas de corpos hídricos em

diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes, com esta ferramenta é possível realizar o cálculo do índice de rios e reservatórios por meio da análise laboratorial da clorofila "a" (Lamparelli, 2004).

Contudo, Gholizadeh et al. (2016) corroboram afirmando que apesar do método de análise *in loco* ser bastante preciso as lacunas das medições está na dificuldade em realizá-las de forma suficiente para viabilizar a criação de mapas de distribuição estaticamente significativo para a região inteira que se quer analisar, e na exigência de grande esforço laboratorial. Além disso, Bodulla et al. (2016) criticam esse tipo de amostragem por ela não possibilitar o monitoramento contínuo sistemático dos ambientes aquáticos.

Por meio desse contexto, o sensoriamento remoto se torna uma alternativa promissora, pois oferece diversas vantagens como baixo custo, dados constantes e sinópticos, facilidade de coleta e atualização de informações de várias propriedades dos alvos, possibilitando o estudo da dinâmica de variáveis limnológicas em corpos hídricos, em diferentes escalas espaciais e temporais, fator vital para a correta avaliação e gestão dos corpos d'água (Hunter et al., 2008; Sayers et al., 2019).

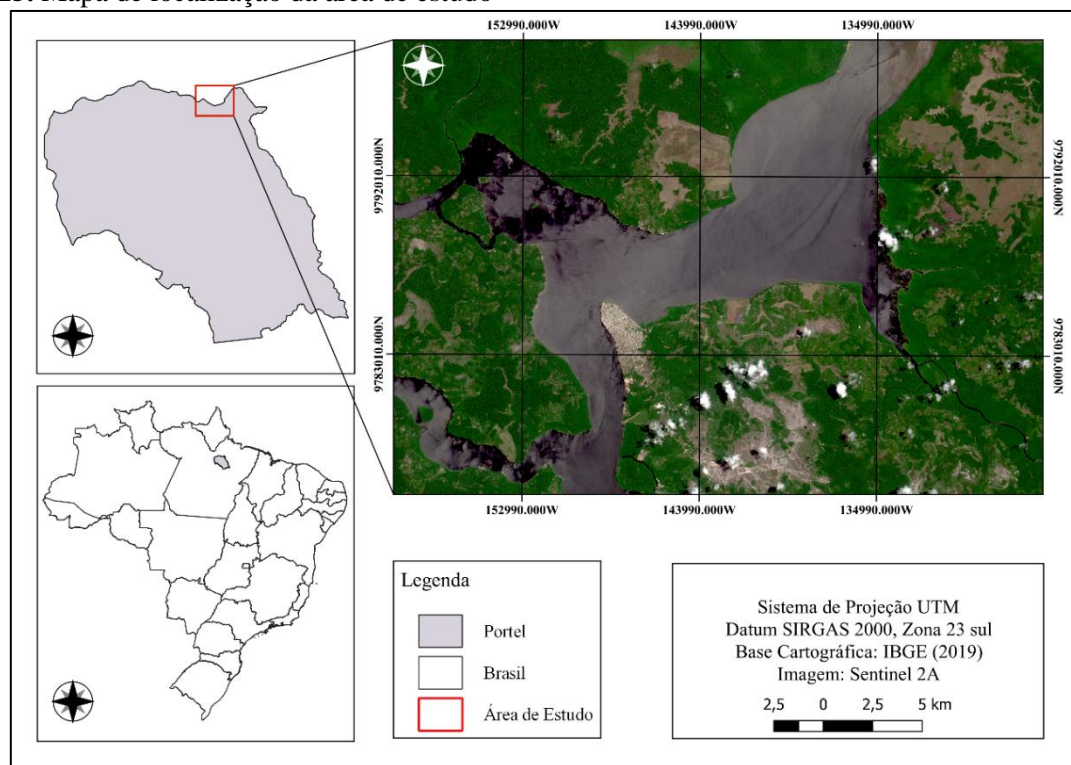
Ademais, Gholizadeh et al. (2016) confirmam que um dos parâmetros da água mais estudado recentemente através de técnicas de sensoriamento remoto tem sido a clorofila "a" que possui características de refletância, evidenciando a intensa expansão dos métodos de detecção remota nas questões de monitoramento da qualidade da água de corpos hídricos.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é comparar os níveis tróficos obtidos por meio das análises do sensoriamento remoto com as análises limnológicas de amostras de clorofila "a" em laboratório.

## Materiais e método

**Área de Estudo** - A presente pesquisa determinou a Baía localizada no município de Portel na mesorregião do Marajó no estado do Pará, como apresenta a Figura 15, a baía pertence à região hidrográfica Portel-Marajó. O município faz parte do arquipélago do Marajó e se distancia da capital Belém, 270 km, via terrestre, no entanto, o acesso ao local se dá apenas por meio da navegação com viagem de 16 horas de duração.

**Figura 15.** Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autores (2023).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima do município é caracterizado como tropical úmido, com precipitação mais intensa em fevereiro, março e abril e menos intensa em agosto, setembro e outubro, a variação da temperatura em média tem como mínima 23°C atingindo 35°C ao longo do ano (INPE, 2022).

No município de Portel são encontrados índices sanitários preocupantes. Conforme o Instituto Trata Brasil apresenta utilizando dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento- SNIS (2021), o município não possui um sistema de tratamento de esgoto, a população, basicamente, utiliza fossa séptica ou fossa rudimentar, este cenário, por sua vez, reflete na indisponibilização do acesso à água por rede de abastecimento público, que nesta região chega a 97% da população local. Hodiernamente, pouco se discute no âmbito acadêmico acerca dos reflexos dessa realidade, principalmente, no que tange a qualidade da água.

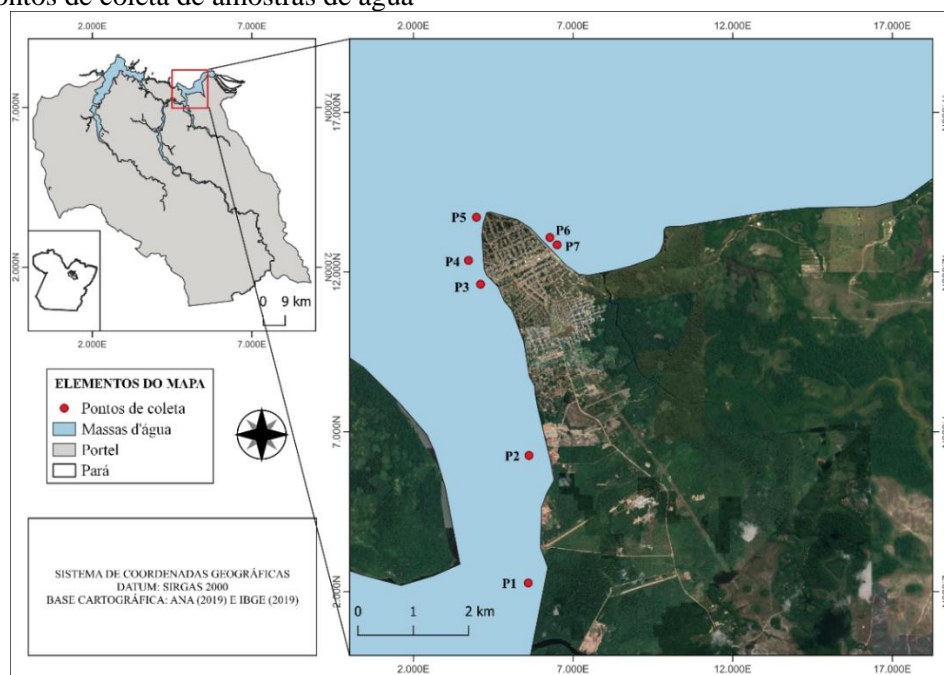
**Método da Pesquisa** – O estudo de caso em questão pode ser classificado como descritivo de caráter exploratório. Para a pesquisa do tipo descritiva Gil (2008) e Oliveira e Oliveira (1999) definem como aquela que permite a identificação de relações entre variáveis ou a simples descrição de uma população ou um fenômeno, e ainda

ressalta que a principal característica desta pesquisa está na padronização de técnicas de coleta de dados, dessa maneira, esta forma de pesquisa requer planejamento rigoroso para a aplicação de tal coleta.

No entanto, quando o tema em estudo foi pouco explorado. A pesquisa exploratória é desenvolvida no sentido de proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato, procurando buscar padrões, ideias ou hipóteses (Collis e Hussey, 2005).

O procedimento metodológico dessa pesquisa é composto por três etapas, primeiro serão coletadas amostras de água, em pontos pré-definidos, na baía de Portel, as amostras por sua vez serão analisadas em laboratório, em seguida, será feita a coleta e o tratamento das imagens de satélite para a predição da clorofila “a”, e então a comparação qualitativa dos valores obtidos com as etapas anteriores através do Índice de Estado Trófico (IET) a partir do parâmetro clorofila “a”.

**Coleta das amostras de água** - As amostras de água da baía, para a análise de clorofila “a”, foram coletadas no dia 18 de setembro de 2022 entre 09:00 e 12:00 horas em sete pontos da área de estudo (Figura 16).

**Figura 16.** Pontos de coleta de amostras de água

Fonte: Autores (2023).

Estes pontos foram escolhidos seguindo o critério de atividades realizadas a margem da baía descritos na Tabela 1 e ainda fundamentado no orçamento para a realização da amostragem e

análises. Para a execução das campanhas de amostragem seguiu-se as orientações proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011).

**Tabela 1.** Descrição dos pontos de coleta

<b>P1</b>	Ponto de controle (perto da vegetação)
<b>P2</b>	Serraria
<b>P3</b>	Portos e Postos de combustível
<b>P4</b>	Mercado municipal
<b>P5</b>	Praia do Tucano
<b>P6</b>	Cemitério
<b>P7</b>	Bares e Restaurantes

Fonte: Autores (2022).

A análise das amostras de clorofila “a” coletadas *in situ* foi fundamentada no método de determinação de clorofila e feofitina da CETESB (2014), que dispõe das diretrizes e equipamentos necessários para as etapas de filtração, extração e leitura das amostras. As verificações foram realizadas dentro de 48h, tempo limite para filtração das amostras, no Laboratório de Qualidade de Água da Amazônia – Labágua da Universidade do Estado do Pará. Após a leitura no espectrofotômetro, os dados foram tabulados e tratados no software *Excel* 2016 para a determinação da clorofila “a” de cada ponto em  $\mu\text{g/L}$ .

**Coleta e Tratamento das Imagens de Satélite** - O estudo utilizou como entrada de dados bandas do satélite Sentinel 2A, considerando o livre acesso na plataforma da Agência Espacial da Europa (ESA).

Buscou-se a data de imageamento do satélite mais próximo da data da coleta *in loco* e com a menor cobertura de nuvens no local, considerando os aspectos supracitados e o tempo de retorno do Sentinel 2A de cinco dias, a melhor varredura a ser coletada foi a do dia 15 de setembro de 2022, observando que todas as imagens do sensor são feitas às 13:00 horas.

As bandas utilizadas foram as correspondentes as faixas do visível (RGB-B04, B03 e B02) de 10 m de resolução espacial e do infravermelho próximo (B08) do espectro de 20 m de resolução espacial. Após a coleta, o tratamento das imagens foi realizado através do software *QGIS* versão 3.22, no qual foi delimitada a área de estudo por meio do recorte da baía de Portel em todas as camadas raster das bandas selecionadas. Em seguida, quantificou-se a clorofila “a” para o recorte de toda a Baía de Portel por meio da

adaptação do modelo de Londe et al. (2013) apresentado na Equação 2, em função das bandas vermelho (B04) e infravermelho (B08) do satélite.

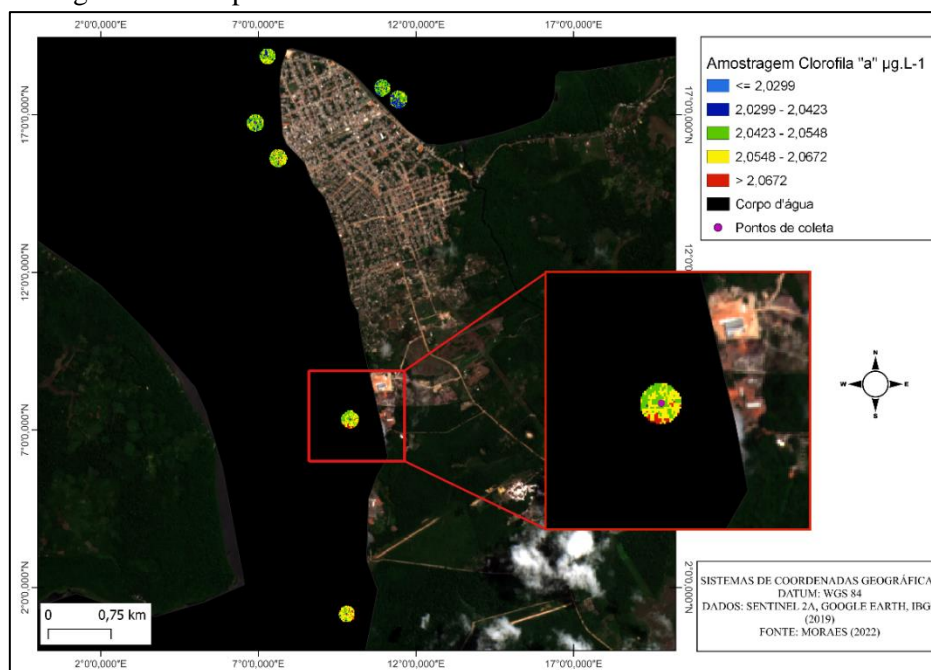
**Equação 2.** Modelo de concentração de clorofila “a”

$$Chl = 2,1171 + 1,68 \log_{10}\left(\frac{B08}{B04}\right)$$

Para destacar os valores de teor de clorofila “a” vizinhos aos pontos de coleta das amostras de

água *in loco*, recortou-se circunferências na camada raster da baía de diâmetro de aproximadamente 200 metros em volta de cada coordenada do ponto de coleta (Figura 17). Após esse processamento, gerou-se sete circunferências com concentrações de clorofila “a”, além disso, para adquirir esses valores em tabela de atributos, converteu-se os pixels do raster em pontos e extraiu-se separadamente os valores, em formato *xlsx*, integrantes de cada circunferência determinada.

**Figura 17.** Amostragem dos sete pontos na camada Raster da Baía



Fonte: Autores (2023).

Utilizando o *software Excel* 2016, verificou-se o desvio padrão, a média, o valor máximo e o valor mínimo das concentrações que compõe cada uma das sete circunferências, com o intuito de melhor discutir os resultados.

**Determinação do IET** - Para a realização da comparação verificou-se as médias das concentrações de clorofila “a” obtidas com o sensoriamento remoto e os valores da amostragem no local de estudo em cada um dos sete pontos. Além disso, com os resultados das análises tanto de sensoriamento remoto quanto laboratorial,

determinou-se o IET em função do parâmetro clorofila “a”, conforme a Equação 3 definida por Carlson (1977) alterado por Lamparelli (2004) para ecossistemas tropicais em ambiente lótico.

**Equação 3.** Índice de Estado Trófico a partir da clorofila “a”

$$IET (CL) = 10 \times \left[ 6 - \left\{ \frac{-0,7 - 0,6x \ln[CL]}{\ln[2]} \right\} \right] - 20$$

Através da equação foi possível classificar o nível trófico da baía de Portel, de acordo com os intervalos da Tabela 2.

**Tabela 2.** Classificação do estado trófico modificado segundo Lamparelli (2004)

Estado trófico	Clorofila a (µg/L)	IET (CL)(µg/L)
Ultraoligotrófico	CL ≤ 0,74	IET (CL) ≤ 47
Oligotrófico	0,74 < CL ≤ 1,31	47 < IET (CL) ≤ 52
Mesotrófico	1,31 < CL ≤ 2,96	52 < IET (CL) ≤ 59
Eutrófico	2,96 < CL ≤ 4,70	59 < IET (CL) ≤ 63
Supereutrófico	4,70 < CL ≤ 7,46	63 < IET (CL) ≤ 67
Hipereutrófico	7,46 < CL	67 < IET (CL)

Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

## Resultados e discussão

Dada a coleta das amostras em campo, analisou-se em laboratório com os procedimentos padrões para clorofila “a”, as informações estão dispostas na Tabela 3. Considerando o limite do

parâmetro clorofila “a”, da Resolução do CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2, nota-se que os valores encontrados em todos os pontos de coleta, na análise em laboratório estão de acordo com que estabelece a resolução (até 30 µg/L).

**Tabela 3.** Resultados da análise laboratorial de Clorofila “a” e IET (CL).

Pontos	Clorofila "a" µg.L <sup>-1</sup>	Classificação	IET (CL)	Classificação
P1	1,6038	Mesotrófico	54,1878	Mesotrófico
P2	2,8512	Mesotrófico	59,1683	Eutrófico
P3	2,1384	Mesotrófico	56,6781	Mesotrófico
P4	3,2076	Eutrófico	60,1878	Eutrófico
P5	1,2474	Oligotrófico	52,0124	Mesotrófico
P6	0	-	0	-
P7	1,4256	Mesotrófico	53,1683	Mesotrófico

■ Oligotrófico      ■ Mesotrófico      ■ Eutrófico

Fonte: Autores (2023)

É necessário destacar em P6, em frente ao cemitério, na análise pelo laboratório não foi possível identificar concentração de clorofila “a”, esse resultado é justificado pela agitação da água neste ponto no dia da coleta degradando a clorofila “a” e prejudicando a leitura, impossibilitando a classificação trófica. Apesar disso, em uma avaliação visual macroscópica é possível identificar fragmentos de clorofila “a” no rio, como observado na Figura 18.

Segundo Neves et al. (2006) e Marino (2016), o aumento da velocidade da corrente d’água está associada a ressuspensão do sedimento de fundo, elevando a turbidez da água e dificultando a passagem de luz, um dos fatores limitantes ao desenvolvimento da clorofila “a”.

Ademais, em P4, próximo ao Mercado Municipal, foi classificado como eutrófico (CL=3,20 e IETCL= 60,18), ou seja, com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos (Lamparelli, 2004). Condição alarmante para um corpo de água lótico, esse comportamento também foi observado no estudo de Ribeiro et al. (2014) ao analisar o IET do rio Maratauíra no município de Abaetetuba-PA, no qual os maiores valores do índice estavam próximo ao mercado municipal.

**Figura 18.** Clorofila “a” na baía de Portel



Fonte: Autores (2022)

Nos pontos P2 e P5 ocorreram diferentes classificações tróficas entre as análises da clorofila “a” e do IET (CL). Apesar disso, na verificação dos valores limites na Tabela 2, nota-se que, o intervalo classificatório do IET (CL) é de  $52 < \text{IET (CL)} \leq 59$  para mesotrófico, dessa forma, o valor do IET (CL) em P2 (59,1683) pode ser considerado mesotrófico, devido a pouca variação entre os valores 59 e 59,1683. De maneira semelhante acontece em P5, no entanto, o valor do IET (CL) de 52,0124, pode ser classificado como oligotrófico, tendo em vista as justificativas anteriormente citadas. Neste contexto, P5 foi o único ponto que apresentou a classe oligotrófica caracterizada por corpos d’água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.

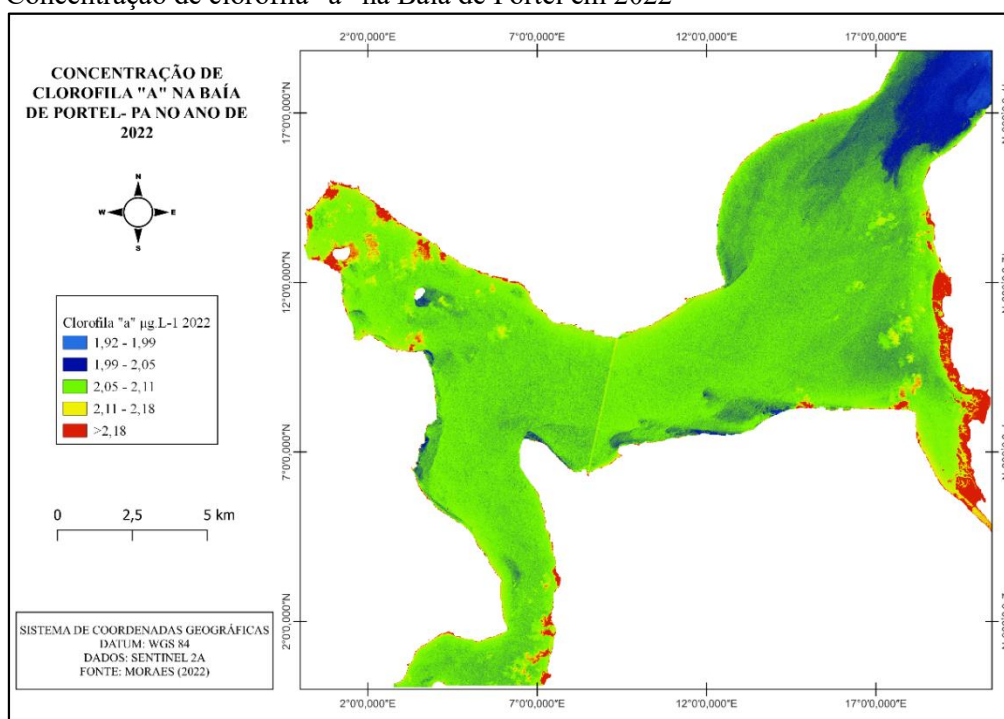
Embora, as dificuldades da coleta, e a sensibilidade do parâmetro clorofila à inúmeros fatores, foi possível constatar que o nível de trofia mais frequente entre os pontos é o mesotrófico, nessa classe se enquadram corpos d’água com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em

níveis aceitáveis, na maioria dos casos (Lamparelli, 2004). Outras pesquisas também identificaram tal predominância de classificação em rios brasileiros (Gomes e Paula, 2019; Chagas et al., 2020; Farias et al., 2020; Costa et al., 2022).

De acordo com Lamparelli (2004) a alta relação entre o volume de água e a região marginal, em ambientes lóticos, além de maior velocidade das águas, quando comparados aos ambientes lênticos, são encontradas menores concentrações de clorofila “a”. Entretanto, não se diminui a importância da realização de estudos a respeito da eutrofização em rios, visto que, o conhecimento das classificações possibilita a criação de medidas de monitoramento dos recursos hídricos, principalmente os da região amazônica.

Na determinação da clorofila “a” utilizando as imagens do satélite Sentinel 2 no recorte da baía de Portel observada na Figura 19, obteve-se uma variação entre  $1,92$  e  $2,98 \mu\text{g.L}^{-1}$ , como apresentado na Figura 4. Portanto, todos os valores estão de acordo com o que preconiza a resolução do CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2, considerando os limites dos parâmetros de clorofila “a” (até  $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ ).

**Figura 19.** Concentração de clorofila “a” na Baía de Portel em 2022



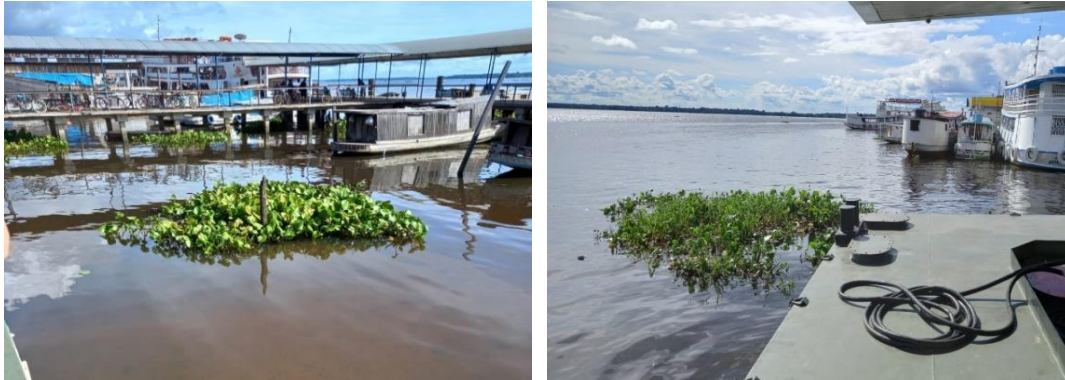
Fonte: Autores (2022).

Ademais, pode-se observar a presença de um trecho no rio a leste com a coloração vermelha, onde foram encontrados os maiores valores de clorofila “a” ( $>2,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) nessa área se encontra fortemente a presença de baronesa (Figura 20), ao longo de toda baía de Portel é notada a presença

dessa planta aquática (*Eichornia Crassipes*) uma planta originária da América do Sul, com ampla distribuição nos rios da bacia amazônica, é considerada como uma das 100 plantas de maior potencial invasor e se desenvolve em ambientes poluídos e são capazes de se deslocarem do local

de origem para outros locais, podendo ser um indicador do alto nível de poluição (Vásquez, 2019).

**Figura 20.** Baronesa na Baía de Portel

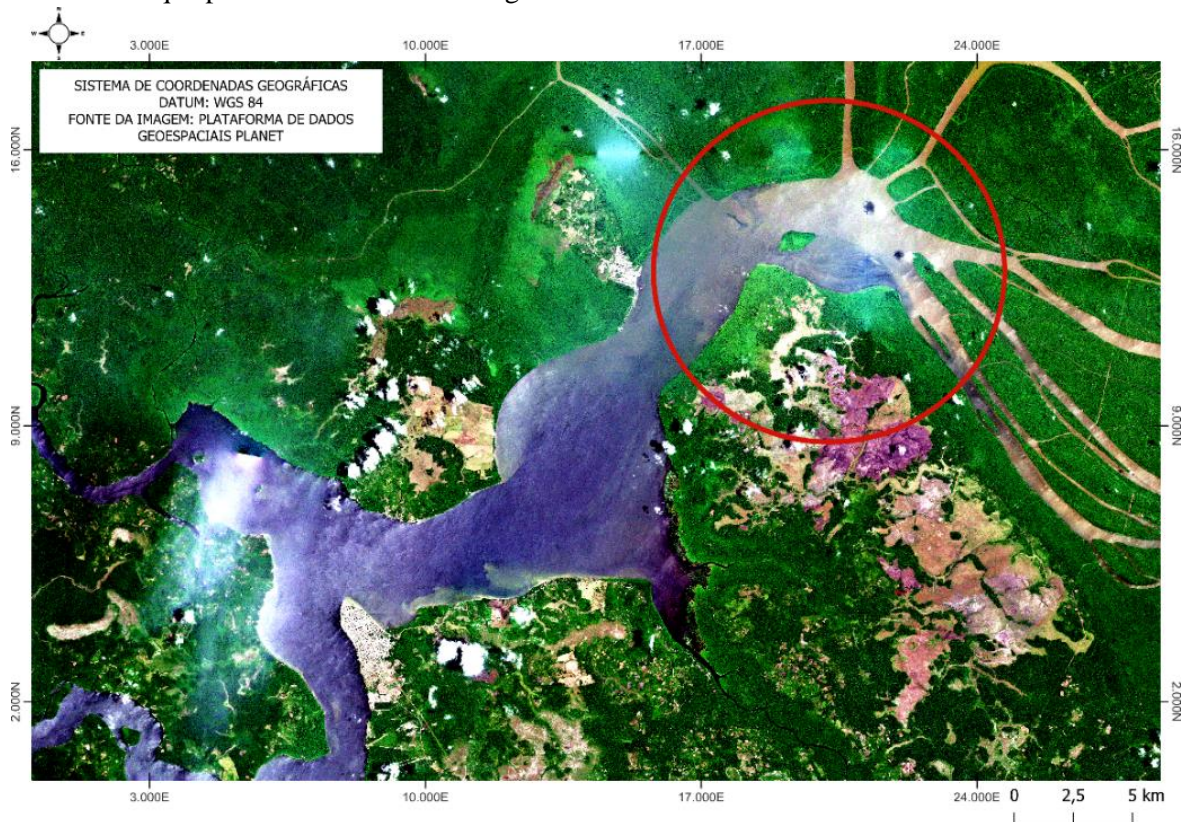


Fonte: Autores (2022)

No estudo desse mesmo autor onde ele aplicou a *Eichhornia crassipes* no tratamento de efluentes da ETE do distrito de Copallín na Provincia de Bagua no Peru, concluiu que a aplicação se mostrou significativamente eficiente para depurar o efluente, já que a planta diminuiu 46,1653%.

Além disso, vale ressaltar que as menores concentrações de clorofila “a” estão apresentadas a nordeste do mapa próximo a cidade de Melgaço, com a coloração azul, nessa região encontra-se uma zona de mistura (Figura 21) entre águas brancas e águas pretas de acordo com a classificação de Harold Sioli de 1956.

**Figura 21.** Destaque para zona de mistura de águas



Fonte: Autores (2022).

As águas Brancas possuem altas cargas de sedimentos, são materiais argilosos e siltos em suspensão, advindo dos processos erosivos causado

por rios andinos, por isso a coloração barrenta, caracterizada por baixa transparência (Barros e Carvalho, 2020). Enquanto, as águas pretas são

caracterizadas com a coloração escura devido os ácidos húmicos presentes na água, com aparência de “chá de folhas”, possuem maior transparência.

Dessa maneira, os sólidos na região supracitada alteram os resultados de reflectância da água para os sensores, pois possuem menor zona fótica, dificultando a determinação da concentração da clorofila “a”, de maneira oposta, essa condição não acontece na região próxima da área urbana de Portel, permitindo uma melhor leitura do sensor e consequentemente resultados mais próximos da realidade.

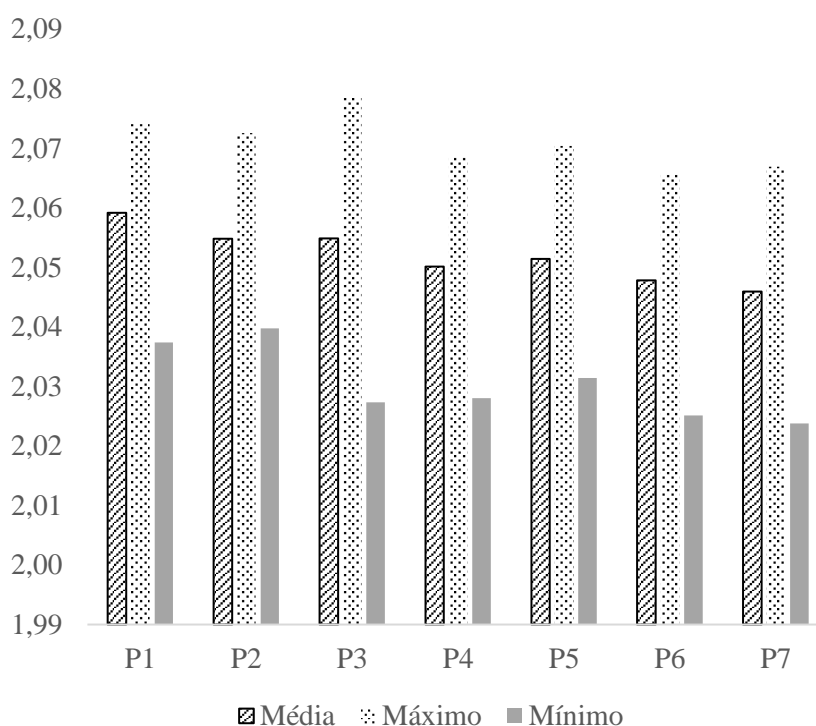
Além desses resultados, na avaliação também se identificou, a oeste do local estudado, a concentração em larga escala de clorofila “a”, no entorno desta região é predominante a vegetação densa e possui alta transparência da água, e ainda é curso do rio Anapu que leva a Unidade de Conservação da Floresta Nacional de Caxiuanã. Em uma pesquisa de relação entre transparência da água e clorofila “a” de Filho et al (2019) verificou

que a melhor correlação entre a clorofila “a” e a reflectância foi nas amostras obtidas nas maiores profundidade do disco de *Secchi*, equipamento utilizado para medição do parâmetro transparência.

Após a análise de maneira geral da baía de Portel, realizou-se a delimitação para próximo dos pontos de coleta com uma circunferência de 200 m de diâmetro.

Através desse processo foram obtidos um total de 1946 valores de pixels nas sete circunferências recortadas, sendo que para cada ponto foram estabelecidos 278 valores. Neste recorte, houve a redução significativa nos intervalos de concentração de clorofila “a” variando de 2,02 a 2,079  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Portanto, determinou-se as concentrações médias, máximas e mínimas de clorofila “a” para cada conjunto de dados exportados. O Gráfico 1 expõe os valores médios, máximos e mínimos para os dados dos sete pontos.

**Gráfico 1.** Média, Máximo e Mínimo dos recortes de valores dos pixels.



Fonte: Autores (2023).

Na análise do Gráfico 1 foi constatado em P1 a predominância de valores altos e a maior média (2,0591), isso se deve a presença de nuvens próximo a este ponto no momento da varredura do satélite, os pixels interferidos por nuvens contaminam os valores calculados pois são tratados como válidos, essa problemática é inevitável, prejudicando a análise quantitativa da imagem (Silva e Liporace, 2016).

Também é possível observar com o Gráfico 1 o maior valor de clorofila “a” em P3, se aproximando de  $3,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ , neste ponto localizam-se postos de combustível e portos, nos quais, ribeirinhos de regiões distantes se instalam por longos dias e vivendo nas embarcações despejam os resíduos e efluentes domésticos diretamente no rio, o que justificava a maior produtividade nesse ponto, isto pois, esgoto doméstico possui uma alta carga de nitrogênio e fósforo, nutrientes causadores do surgimento de clorofila “a”. Oliveira (2023)

exemplifica as origens dos nutrientes presentes nos efluentes domésticos, como o nitrogênio tem formas variadas e pode ser adquirido até mesmo através da retirada do ar por algumas algas, o fósforo total é o nutriente com maior eficiência de análise da poluição devido ter sua origem principalmente em detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas.

Em contrapartida, em P7 revelou-se o menor valor de clorofila “a” ( $2,0238 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), por estar em um meandro do rio, nessa região há maiores turbulências na água que por sua vez ocasiona a suspensão de sólidos e reduz a transparência do rio, mascarando os resultados reais.

Mediante as médias encontradas para as concentrações de clorofila “a” em cada ponto avaliado, estimou-se o IET (CL) permitindo a classificação trófica como expõe a Tabela 4.

**Tabela 4.** Resultados da Análise com sensoriamento remoto de Clorofila “a” e IET (CL).

Pontos	Clorofila SR* $\mu\text{g.L}^{-1}$	Classificação	IET (CL) SR*	Classificação
P1	2,0591	Mesotrófico	56,3508	Mesotrófico
P2	2,0568	Mesotrófico	56,3411	Mesotrófico
P3	2,0550	Mesotrófico	56,3338	Mesotrófico
P4	2,0497	Mesotrófico	56,3114	Mesotrófico
P5	2,0514	Mesotrófico	56,3185	Mesotrófico
P6	2,0479	Mesotrófico	56,3036	Mesotrófico
P7	2,0449	Mesotrófico	56,2909	Mesotrófico

\*SR= sensoriamento Remoto ■ Mesotrófico

Fonte: Autores (2023)

Consoante a Tabela 4 verificou-se a baixa variação entre os valores numéricos dos pixels resultando no enquadramento de todos os pontos de amostragem na categoria mesotrófica, tanto para a concentração de clorofila “a” quanto para o IET (CL). Os resultados apresentados podem conter interferências da média/baixa resolução espacial do satélite Sentinel 2A, que com a falha de falta de detalhes nas fotos de sensoriamento remoto de baixa e média resolução espacial, apenas se pode distinguir recursos extensos, como pontes, canais e padrões de ruas, ou seja, a dimensão do pixel define a resolução espacial da imagem, quanto menor a sua dimensão, maior é a resolução espacial da imagem, e maior a capacidade de distinguir e definir alvos pequenos (EOS data analytics, 2023).

Problemas semelhantes foram identificados no estudo de Amaral (2009), que avaliou a comparação entre métodos de classificação de imagens para o mapeamento de

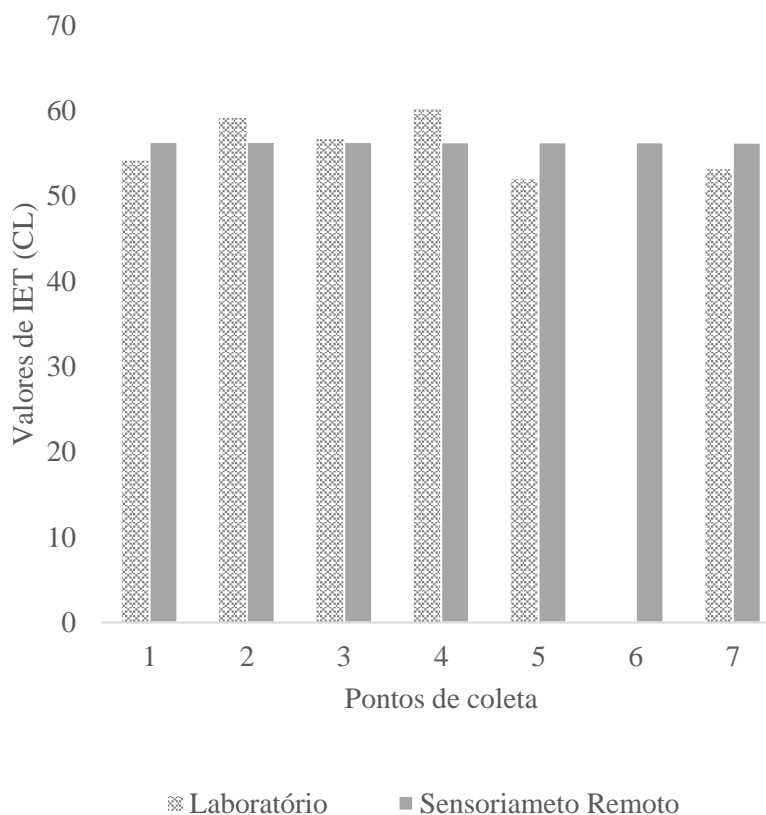
sucessão vegetal e a separação entre as classes resultaram em valores com baixo nível de exatidão, o que pode ser explicado pela semelhança espectral existente entre os alvos (estádios inicial, médio e avançado de sucessão florestal), pequena variação entre os valores numéricos dos pixels, existência de sobreposição entre classes e pela baixa resolução espectral dos sensores.

Contudo, em uma avaliação qualitativa das análises de amostras de água e do sensoriamento remoto, nota-se o predomínio da classe mesotrófica, não isentando o uso da metodologia para o prognóstico do nível de trofia do rio, visto que, a classificação em destaque foi a mesma nas duas análises, permitido o uso da detecção remota, com a posterior validação dos dados em campo.

Com a finalidade de melhor visualização, os dados do índice de estado trófico a partir da clorofila “a” determinados em laboratório e por

sensoriamento remoto foram plotados graficamente, demonstrados no Gráfico 2.

**Gráfico 2.** Comparação entre IET (CL) determinado no laboratório e por sensoriamento remoto.



Fonte: Autores (2023).

No Gráfico 2 constata-se a proximidade dos valores de IET (CL) verificados pelo sensoriamento remoto das análises feitas em laboratório em todos os pontos de coleta. Vale enfatizar a ausência de dados de laboratório em P6, como justificado anteriormente, além disso, verificou-se que a menor diferença encontrada entre os métodos de análises foi em P3 com 0,3443 de diferença, e a maior foi observada em P4 com 3,8744 de diferença.

A estimativa do índice para rios por meio do sensoriamento remoto é de fato um grande desafio para a comunidade acadêmica, em virtude da alta dinâmica dos recursos hídricos e a velocidade do fluxo de água em ambientes lóticos. Pereira et al. (2020) ao avaliar o IET a partir da clorofila “a” no rio Urupá também observou a instabilidade da ferramenta para a avaliação do potencial de eutrofização do manancial, tendo em vista que o regime de escoamento do rio poderia estar mascarando o resultado ao inibir a floração de algas, e ressaltou que não necessariamente indica o não potencial.

A pesquisa de Valerio et al. (2015) que também objetivou a comparação entre os métodos de análise *in situ* e com o sensor MODIS-aqua identificou um alto desvio padrão com a verdade de campo originada da estimativa por sensoriamento remoto para uma pequena quantidade de amostras. Contudo, os autores concluíram que mesmo os testes estatísticos demonstrem que os dados *in situ* e de satélite não tenham diferença significativa, é necessário avaliar uma quantidade maior de dados para quantificar a acurácia entre as medidas.

Embora, o método de resposta óptica tenha suas limitações, esse quadro é eficientemente aproveitado para determinar o IET (CL) de corpos d’água interiores. Serbetto et al. (2020) aplicaram do modelo de distribuição da concentração de clorofila “a” em sua pesquisa, e o estudo obteve resultados satisfatórios no que tange ao monitoramento espacial e temporal da clorofila “a” auxiliando na gestão do reservatório. Além deste, o estudo de Aviz (2021) que utilizou o sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do lago água preta em Belém-PA, confirmou a utilização de dados a partir de

sensoriamento remoto como uma excelente ferramenta para a análise ambiental de ecossistemas aquáticos, podendo ser utilizada nas águas amazônicas, já que esta metodologia já foi aplicada em diversos outros climas e biomas.

Análises espaciais como estas e as da pesquisa em questão, demonstram a importância do sensoriamento remoto como ferramenta para a identificação das áreas de ocorrência de clorofila “a”, indicando uma possível poluição. Apesar de a classe identificada nesta pesquisa seja a de produtividade mediana, Stager et al. (2018) destaca que é mais fácil prevenir do que reverter o processo de eutrofização e que esse fenômeno necessita de um monitoramento intenso, sistemático e constante para manter esse cenário de equilíbrio ambiental.

### Conclusão

Portanto, o sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta eficiente para estudos de ecossistemas aquáticos na região de Portel no estado do Pará. Considerando que os dados obtidos através da análise das imagens do satélite se aproximaram das obtidas em laboratório, alcançando a mesma classificação de estado trófico. Ademais, a distância da capital até a cidade e apenas uma alternativa de acesso, limita as amostragens *in situ*, inclusive as condições exigem uma grande equipe, transporte de equipamentos, custos com passagens, hospedagem, alimentação, coletas, reagentes, equipamentos, entre outros.

Apesar das interferências de nuvens e sedimentos nas análises principalmente nos P1 e P2, o monitoramento pode ser feito continuamente na região de estudo e abranger para outros pontos, visto que o local não possui qualquer fiscalização no que tange a qualidade da água. Além disso, a realização desta pesquisa contribui para o pequeno acervo de trabalhos nesta temática, superando assim desafios encontrados no processo de consumação deste estudo.

Para trabalhos futuros sugere-se a coleta de dados de campo em diferentes épocas, a fim de analisar diferentes imagens de diferentes satélites, tendo uma gama maior de possibilidades a serem selecionadas, podendo dessa forma verificar os padrões temporais da clorofila “a” com resoluções espaciais variadas. Ademais, recomenda-se a ampliar a quantidade de amostras de água coletadas na região, a fim de tornar a estimativa mais próxima da realidade de campo.

Logo, pode-se constatar que as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho, para fins de comparação, não foram capazes de substituir os trabalhos de campo. Elas apenas permitiram um planejamento e monitoramento

remoto mais eficiente das ações a serem realizadas na etapa conclusiva.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade do Estado do Pará por possibilitar a realização desta pesquisa e ao Laboratório de Água da Amazônia – Labágua, que executou todas as análises necessárias do estudo. Aos financiamentos das seguintes agências de fomento: FAPESPA (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas) e CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

### Referências

- Amaral, M. V. F., Souza, A. L. de, Soares, V. P., Soares, C. P. B., Leite, H. G., Martins, S. V., Fernandes Filho, E. I., & Lana, J. M. de. (2009). Avaliação e compação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. *Revista Árvore*, 33(3), 575–582. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300019>
- ANA - Agência Nacional de Águas. (2022). *Atlas Esgotos*. [Atlasesgotos.ana.gov.br](http://atlasesgotos.ana.gov.br/#:~:text=No%20Brasil%2C%2043%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o). <http://atlasesgotos.ana.gov.br/#:~:text=No%20Brasil%2C%2043%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o>
- Aviz, M. D. de. (2021). Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Água Preta. *Www.bdta.ufra.edu.br*. <http://www.bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1924>
- Bacci, D. de L. C., & Pataca, E. M. (2008). Educação para a água. *Estudos Avançados*, 22(63), 211–226. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142008000200014>
- Barros, A. A. de O., & Carvalho, A. Á. dos S. (2022). ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS DE RIOS DE ÁGUAS BRANCAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM PARINTINS-AM. *Recursos Hídricos: Gestão, Planejamento E Técnicas Em Pesquisa - Volume 2*, 2, 102–113. <https://doi.org/10.37885/220207611>
- Baumgarten, M. da G. Z., & Pozza, S. A. (2021). Qualidade de águas: descrição de parâmetros referidos na legislação ambiental. In *repositorio.furg.br*. Ed. da FURG. <http://repositorio.furg.br/handle/1/9571>

- Boddula, V., Ramaswamy, L., Pasumarthi, R., & Mishra, D. (2016). Data Driven Analysis of Algal Bloom Activity for Effective Water Sustainability. *2016 IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing (BDCloud), Social Computing and Networking (SocialCom), Sustainable Computing and Communications (SustainCom) (BDCloud-SocialCom-SustainCom)*.  
<https://doi.org/10.1109/bdcloud-socialcom-sustaincom.2016.69>
- Carlson, R.E. (1977) ATrophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography*, 22, 361-369.  
<http://dx.doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- RESOLUÇÃO CONAMA N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005, (2005).
- CETESB. (2014). *Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico*. CETESB. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/L5306.pdf>
- CETESB, & ANA. (2011). *Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras*. CETESB. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>
- Chagas, P. F., Lucena, K. O. C. de, Castro, M. P. S., Santos, S. H. L. dos, Silva, F. J. A. da, & Araújo, J. K. de. (2020). Índice de estado trófico de um manancial receptor de efluente de estação de tratamento de esgoto baldo – RN / Trophic status index of an effluent waste receiver of baldo sewage treatment station – RN. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 6253–6260.  
<https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-069>
- Chen, C.-W., Ju, Y.-R., Chen, C.-F., & Dong, C.-D. (2016). Evaluation of organic pollution and eutrophication status of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 113, 318–324.  
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.03.024>
- Collis, J., & Hussey, R. (2005). *Pesquisa em administração : um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação*. Bookman.
- Costa, G. M. M., Ribeiro, H. M. C., & Pantoja, D. N. S. M. (2022). Classificação Do Nível De Trofia De Um Trecho Do Rio Guamá, Belém - Pará. *Revista Geoaraguaia*, 12(1), 176–191.  
<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/11681>
- Drose, A., Valentini, M., Duarte, V., Santos, G. B. dos, Nadaleti, W., & Vieira, B. M. (2020). Utilização de Métodos Estatísticos Multivariados no Monitoramento de Qualidade da Água da Lagoa Mirim. *Meio Ambiente (Brasil)*, 2(4).  
<https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/69>
- Dutra, V., Tavares, P., Trindade, A., Souto, J., Beltrão, N., & Ribeiro, H. (2019). AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DE UM LAGO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO POR MEIO DE IMAGEM SENTINEL-2 | Galoá Proceedings. Proceedings.science.  
<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/avaliacao-do-estado-trofico-de-um-lago-para-abastecimento-publico-por-meio-de-imagem-sentinel-2?lang=pt-br>
- EOS Data analytics. (2023, February 22). *Resolução Espacial No Sensoriamento Remoto: Tipos E Análise*. Eos.com.  
<https://eos.com/pt/blog/resolucao-espacial/>
- Ferreira, M. (2017). *O Desafio da Gestão Pública Hídrica Sustentável no Município de Belém e seus Aspectos Legais*.
- Filho, W., da Rosa, C., Kremer, G., & Dezordi, R. (2019). CLOROFILA-A NA COLUNA DE ÁGUA E REFLECTÂNCIA ESPECTRAL | Galoá Proceedings. Proceedings.science.  
<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/clorofila-a-na-coluna-de-agua-e-reflectancia-espectral?lang=pt-br>
- Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16(8), 1298.  
<https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*.  
<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf>
- Gomes, F. B. M., & De Paula, D. P. (2019). DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET) EM RIO URBANO LOCALIZADO NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL. *Revista Da Casa Da Geografia de Sobral (RCGS)*, 21(2), 730–744.  
<https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.487>
- Hunter, P. D., Tyler, A. N., Willby, N. J., & Gilvear, D. J. (2008). The spatial dynamics of vertical migration by *Microcystis aeruginosa* in a eutrophic shallow lake: A case study using high spatial resolution time-series airborne remote sensing. *Limnology and Oceanography*, 53(6), 2391–2406.  
<https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.6.2391>
- INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - INPE (2022) - Brasília / DF.

- Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/>>.
- Kirk, J., & Miller, M. (1986). *Reliability and Validity in Qualitative Research*. SAGE.
- Lamparelli, M. C. (2004, September 3). *Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. [Www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br). <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/pt-br.php>
- Londe, L. D. R., Novo, E. M. L. de M., Barbosa, C. C. F., Araujo, C. A. S. de, & Rennó, C. D. (2013). Proposal for a remote sensing trophic state index based upon Thematic Mapper/Landsat images. *Ambiente E Agua - an Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(3). <https://doi.org/10.4136/ambiente.1229>
- Marino, L. (2017). Relação entre clorofila-a e cianobactérias no estado de São Paulo. *Revista DAE*, 65(206), 32–43. <https://doi.org/10.4322/dae.2016.026>
- Neves, F. F., Silva, F. das G. B. da, & Crestana, S. (2006). Uso do modelo AVSWAT na avaliação do aporte de nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais de uma microbacia hidrográfica contendo atividade avícola. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 11(4), 311–317. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522006000400003>
- Oliveira, G. M. T. da S. de. (2023). Avaliação da concentração de nutrientes, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nos sedimentos de fundo do lago água preta (Belém- Pará). *Repositorio.ufra.edu.br*. <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1885>
- Oliveira, M., & Oliveira, M. (1999). *Investigações cognitivas*. Artmed.
- Pereira, E. da S., Souza, R. dos A. de, Silva, N. R. da, Webler, A. D., & Hurtado, F. B. (2020). Eutrofização e mudanças no regime hidrológico: um risco na bacia do Rio Urupá, Amazônia brasileira. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(7), 557–568. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0043>
- Queiroz, T. M. de, & Melo, M. T. de. (2017). Índices de qualidade da água do riacho queima pé no município de Tangará da Serra/MT, região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 8(4), 74–84. <https://doi.org/10.6008/spc2179-6858.2017.004.0007>
- Quinelato, R. V., Farias, E. da S., Santos, S. E. dos, Brito, J. M. S. de, & Silva, A. G. (2020). AVALIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DA VILA, BA. *Revista Multidisciplinar de Educação E Meio Ambiente*, 1(1), 47–47. <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rema/article/view/68>
- Ribeiro, H.M.C. (1992). Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém – PA). 205 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém.
- Ribeiro, H. M. C., Campos, S. P., Carneiro, C. R. de O., Costa, G. M. M., & Pantoja, D. N. S. M. (2020). Índice do Estado Trófico (IET) em águas amazônicas: baía do Marajó e baía do Guajará. *Research, Society and Development*, 9(9), e547997376. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7376>
- Ribeiro, H. M.C., Cruz, L.D.F., Picanço, A.R.S. & Morales, G.P. (2014). Avaliação de recursos hídricos a partir de indicadores de qualidade de água e níveis de btrx na região portuária de Belém. *Rev. Sodebras*. 9(101), 4-8.
- Sant'Ana, A., VITAL, M., & Silva, H. (2019). INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO BRANCO E AFLUENTES NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA, RORAIMA, AMAZÔNIA BRASILEIRA. *Revista de Gestão de Água Da América Latina*, 16(1), 6–6. <https://doi.org/10.21168/reg.v16e6>
- Sayers, M. J., Bosse, K. R., Shuchman, R. A., Ruberg, S. A., Fahnenstiel, G. L., Leshkevich, G. A., Stuart, D. G., Johengen, T. H., Burtner, A. M., & Palladino, D. (2019). Spatial and temporal variability of inherent and apparent optical properties in western Lake Erie: Implications for water quality remote sensing. *Journal of Great Lakes Research*, 45(3), 490–507. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.03.011>
- Serbeto, L. F., Mendes, G., Ribeiro, C. B. de M., & Pereira, R. de O. (2021). Determinação da Concentração de Clorofila-a por Sensoriamento Remoto no Reservatório de Chapéu d'Úvas (Mg), Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(6), 3561–3576. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3583-3598>
- Silva, A. M. C., Cunha, M. C. C., & Lopes, D. V. (2019). Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do Nordeste, Brasil. *Geosul*, 34(72), 102–123. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p102>

- Silva, J. P., Mesquita, K. F. C., Pereira, J. A. R., Sousa, R. R. de, Varela, A. W. P., Sousa, P. H. C., Santos, R. M., & Santos, M. de L. S. (2020). Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). *Scientia Plena*, 15(12). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.124301>
- Silva, M. A. O. da, & Liporace, F. dos S. (2016). DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE NUVEM E SOMBRA DE NUVEM EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(2), 369–388. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702016000200021>
- Silva, V. A. B. da. (2018). Cooperação internacional para proteção e utilização sustentável dos recursos hídricos da bacia amazônica. *Repositorio.uninter.com*. <https://repositorio.uninter.com/handle/1/253>
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2022). *DIAGNOSTICO TEMATICO GESTAO TECNICA DE ESGOTO AE SNIS 2022*. SNIS. [http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_GESTAO\\_TECNICA\\_DE\\_ESGOTO\\_AE\\_SNIS\\_2022.pdf](http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_ESGOTO_AE_SNIS_2022.pdf)
- Soares de Souza, D., Oliveira da Silva Araújo, R. C., Vera-Sousa, M., de São Pedro Filho, F., Aguilar Madeira, M. J., Soares de Souza, D., Oliveira da Silva Araújo, R. C., Vera-Sousa, M., de São Pedro Filho, F., & Aguilar Madeira, M. J. (2017). Estudo Socioambiental na Amazônia Brasileira com foco na Qualidade da Água. *Revista Internacional de Investigación En Ciencias Sociales*, 13(1), 76–92. <https://doi.org/10.18004/riics.2017.julio.76-92>
- Stager, J. C., Wiltse, B., Hubeny, J. B., Yankowsky, E., Nardelli, D., & Primack, R. (2018). Climate variability and cultural eutrophication at Walden Pond (Massachusetts, USA) during the last 1800 years. *PLOS ONE*, 13(4), e0191755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191755>
- Streit, N. M., Canterle, L. P., Canto, M. W. do, & Hecktheuer, L. H. H. (2005). As clorofilas. *Ciência Rural*, 35(3), 748–755. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782005000300043>
- Valerio, L., Kampel, M., & Gaeta, S. (2015). *Análise comparativa da concentração de clorofila-a estimada pelo sensor MODIS-Aqua e medidas in situ no litoral norte de São Paulo: Estação Antares-Ubatuba*. <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1109.pdf>
- Vásquez, R., & Enrique, C. (2019). *Eficiencia del jacinto acuático (Eichhornia crassipes) para la depuración del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Copallin, Provincia de Bagua, Región Amazonas*. *Repositorio.untrm.edu.pe*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1685>
- Vieira Barreto, L., Mariani Barros, F., Bonomo, P., Rocha, F., Da, J., & Amorim, S. (2013). *EUTROFIZAÇÃO EM RIOS BRASILEIROS*. <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>

## CONCLUSÃO GERAL

Deste modo, vale destacar inicialmente a importância da caracterização da área de estudo para compreender o uso e ocupação do solo, e assim conhecer as influências econômicas, ambientais e sociais desta, no que se refere a qualidade da água conhecer os diversos usos múltiplos desse manancial. Ademais, a realização do NDVI auxiliou na identificação de supressão de vegetação principalmente de mata ciliar, além da apresentação de áreas com pouca vegetação, como pastos.

Através do conhecimento da área pode-se aplicar a técnica da análise temporal com o sensoriamento remoto para a determinação de concentrações de clorofila “a”, esta técnica permitiu a visualização dinâmica desse parâmetro, onde identificou-se padrões de comportamento, além de indicar uma provável tendência longitudinal de crescimento das concentrações de clorofila “a”.

Para a validação dos dados obtidos pelo sensoriamento remoto, realizou-se a determinação da clorofila “a” em laboratório com amostras de água, onde foram alcançados resultados positivos, que ao comparar os dados qualitativamente entre os Índices de Estado Trófico analisados em laboratório e através do sensoriamento remoto, apresentaram valores bem próximos, classificando a maior parte da baía de Portel como mesotrófica, apesar disso, é necessário o monitoramento preventivo constante dessa área, onde os moradores possuem uma forte relação com a água da orla da cidade.

Dessa maneira, a fiscalização da qualidade da água pode ser realizada através de programas ambientais, os quais considerariam o IET como ferramenta de identificação do nível trófico da água com o auxílio do sensoriamento remoto e o CONAMA 357/2005 como parâmetro de clorofila “a” com um alerta para qualquer identificação nas análises por sensoriamento remoto de aproximação das análises com o valor máximo permitido pela legislação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ALIKAS, Krista; KRATZER, Susanne. Improved retrieval of Secchi depth for optically complex waters using remote sensing data. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 77, p. 218-227, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.007>.

ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Água no mundo. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 19 fev. 2022.

BARROS, *et al.* Impacto da Expansão da Rede de Distribuição de Água na Despesa de Energia Elétrica nos Municípios do Arquipélago do Marajó, Estado do Pará, Brasil. Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks. 2017. Avaliado no **SSRN**: <https://ssrn.com/abstract=3112993> ou <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3112993>.

BATISTA, Daiane Ferreira; CABRAL, João Batista Pereira. Modelos Matemáticos para Avaliação do Índice de Qualidade de Água: uma Revisão. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 11, n. 25, p. 111-136, abr.2017.

BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; POZZA, Simone Andréa. Qualidade De Águas: Descrição De Parâmetros Referidos Na Legislação Ambiental. Rio Grande: **Editora da FURG**, 2021.

BITTENCOURT LFF, BATISTA GT, CATELANI CS. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de ocupação de solo de mata ciliar do rio Paraíba do Sul no município de Caçapava. In: Anais do I Seminário de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Vale do Paraíba – GEOVAP; 2006; Taubaté, Brasil. UNITAU; 2006. p. 89-99.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.> Acesso em: 18 fev. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília. DF. 2011. Disponível em:<http://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos>. Acesso em: 16Fev. 2022.

BRASIL. Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da constituição federal, e altera o art. 1º da lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasil.

BRASIL. Portaria nº888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MSnº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os

procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasil, Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 16 fev. 2022.

CASSOL, D.A; WAGNER JUNIOR, A; PIROLA, K; DOTTO, M; CITADIN, I. 2013. Packaging type, time and indol-butiric acid in the jaboticaba fruit tree [*Plinia cauliflora* (DC.) Kausel] propagation by air-layering. **Revista Brasileira de Fruticultura** 37:267-272.

CICERELLI, R.E.; GALO, M.L. B.T. 2015. Sensoriamento remoto multifonte aplicado na detecção do fitoplâncton em águas interiores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.259-265. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p259-265>.

DUTRA, Vítor Abner Borges *et al.* Avaliação do Estado Trófico de um Lago para Abastecimento Público por meio de Imagem Sentinel-2. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, XIX, 2019, Santos. Anais [...]. [S.L.]: Galoá, 2019. p. 1741-1743. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/10.25.18.38/doc/97888.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2022.

ERISMAN, J.W.; GALLOWAY, J.N.; SEITZINGER, S.; BLEEKER, A.; DISE, N.B. *et al.* Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. *Philosophical Transactions*, v. 368, p. 1-9, 2013.

FERREIRA, M. A.; SANTOS, E. C.; LIMA, J. E. Índice de avaliação ambiental: Uma análise a partir de modelos estatísticos multivariados. **Ibero Americana de Economia Ecológica**, Viçosa, v.26, n. 13, p. 177-190, jun. 2016.

FERREIRA, M. O Desafio da Gestão Pública Hídrica Sustentável no Município de Belém e seus Aspectos Legais. 2017.

FERREIRA, Paloma Mara de Lima; XAVIER, Ana Paula Campos. Índices de Vegetação utilizados na Caracterização da Cobertura Vegetal da Bacia do Rio Mamuaba, Estado da PB. In: Congresso Brasileiro De Gestão ambiental e Sustentabilidade, 1., 2018, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa: UFPB, 2018. p. 572-581. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2018/trabalhos/pdf/congestas2018-et-05-007.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2022.

FEYISA, G. L., MEILBY, H., FENSHOLT, R., PROUD, S. R. Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

GHOLIZADEH, M., MELESSE, A., REDDI, L. A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques', *Sensors*, vol. 16, pp. 1298. 2016. <https://doi.org/10.3390/s16081298>.

GONÇALVES, Franciele; ROCHA, Paulo Cesar; FERREIRA, Cesar Cardoso. Uso e ocupação da terra e suas influências em parâmetros químicos e físicos da água da

bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Anais..., Curitiba: INPE, 2011, Artigos, p. 1248 - 1255.

GONZÁLEZ-MÁRQUEZ, Luis Carlos *et al.* Use of LANDSAT 8 images for depth and water quality assessment of El Guájaro reservoir, Colombia. **Journal Of South American Earth Sciences**, Colombia, v. 82, n. [-], p. 231-238, mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981117303802?via%3Dihub>. Acesso em: 19 fev. 2022.

GRENDALITE, Dalia; STONEVICIUS, Edvinas; KAROSIENE, Jurate; SAVADOVA, Ksenia; KASPEROVICIENE, Jurate. Chlorophyll-a concentration retrieval in eutrophic lakes in Lithuania from Sentinel-2 data. *Geologia. Geografia*, [S.L.], v. 4, n. 1, p.15-28, 11 jul. 2018. **Lithuanian Academy of Sciences**. <http://dx.doi.org/10.6001/geol-geogr.v4i1.3720>.

HUNTER, P. D. et al. The spatial dynamics of vertical migration by *Microcystis aeruginosa* in a eutrophic shallow lake: A case study using high spatial resolution time-series airborne remote sensing. **Limnology and Oceanography**, v. 53, n. 6, p. 2391-2406, 2008.

LUO, C.; LI, X.; MA, R.; LI, F.; DUAN, H.; HU, W.; QIN, B.; HUANG, W. Applying remote sensing techniques to monitoring seasonal and interannual changes of aquatic vegetation in Taihu Lake, China. **Ecological Indicators**, Coimbra, v.60, p.503–513, 2015.

MONTE, C. et al. A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA. Disponível em: <file:///C:/Users/valer/Downloads/249613-202030-1-PB%20(2).pdf>.

MOURA, N. V. A. DE et al. Revisão sobre o uso de sensoriamento remoto na detecção de vazamentos de óleo no mar. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 75, p. 214–224, 31 maio 2020.

NIETO. N. La gestión del agua: tensiones globales y latino-americanas. *Política y Cultura*, n. 36, p.157-176, 2011.

OELKERS, E. H.; HERING, J.G.; ZHU, C. Water: is there a global crisis? *Elements*, v. 7, p.157–162, 2011.

OLIVEIRA, A. F. S. et al. Desenvolvimento do índice de qualidade da água bruta para fins de abastecimento público-IPA para Amazônia. **Scientia Plena**, v. 13, n. 01, 13 jan. 2017.

OLIVEIRA, M. P.; SILVA, E. L.; NUNES, L. C. A. Proposta de uso sustentável da terra na comunidade São Tomé, rio Pacajá, Portel - PA. **Brazilian journals Of Animal And Environment Research**, Curitiba, v. 4, n. 3, p.4524-4536, set. 2021. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/36180/28061>. Acesso em: 18 fev. 2022.

OLIVEIRA, W. H. Tecnologias sociais promovendo desenvolvimento na comunidade

Santo Ezequiel Moreno PEAEX Acutipereira, Portel - PA: O Caso do Manejaí. Orientador: Gracial da Costa Ferreira. 2021. 72 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2021.

OYAMA, Y.; MATSUSHITA, B.; FUKUSHIMA, T. Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM +shortwave infrared bands. **Elsevier**, Japan, v. 157, n. [-], p.35-47, fev. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.031>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425714002302>>. Acesso em: 19 fev. 2022.

PAULA, M. R.; BENEDETTI, A. C. P.; FILHO, W. P. Influência do uso e cobertura da terra aliado a precipitação pluviométrica na qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Ingaí – RS – Brasil. *Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo*, v. 32, s.n., p. 143-152, 2016.

QUEIROZ, T. M. DE; MELO, M. T. DE. Índices de qualidade da água do riacho queima pé no município de Tangará da Serra/MT, região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 4, p. 74–84, 14 set. 2017.

RIBEIRO, A. R. S. Controle da amebíase na comunidade de Tijuca, município Portel – Pará. 2019. 32 f. **Monografia (Especialização)** - Curso de Especialização em Saúde da Família, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: <https://ares.unasus.gov.br/acervo/handle/ARES/23757>. Acesso em: 18 fev. 2022.

RICHARDSON, K.; JORGENSEN, B. Eutrophication in coastal marine ecosystems: coastal and estuarine studies. Washington: **American Geophysical Union**, 1996, 273p.

SANT'ANA, A.; VITAL, M.; SILVA, H. Influência da urbanização na qualidade da água do rio branco e afluentes no município de Boa Vista, Roraima, Amazônia Brasileira. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, n. 1, p. 6–6, 18 jun. 2019.

SAYERS, M. J.; BOSSE, K. R.; SHUCHMAN, R. A.; RUBERG, S. A.; FAHNENSTIEL, G. L.; LESHKEVICH, G. A.; STUART, D. G.; JOHNGEN, T.H.; BURTNER, A. M.; PALLADINO, D. Spatial and temporal variability of inherent and apparent optical properties in western Lake Erie: Implications for water quality remote sensing. **Journal of Great Lakes Research**, v. 45, n. 3, p. 490-507, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.03.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038013301930067X>. Acesso em: 18 fev. 2022.

SEABRA, F. R. B. O lixo tem jeito, sim: a sensibilização da administração pública do município de Portel sobre a coleta seletiva à luz dos ODS. 2019. 33 f. **TCC (Graduação)** - Curso de Especialização em Desenvolvimento Local e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Escola Nacional de Administração Pública (Enap), Portel, 2019. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/4971>. Acesso em: 18 fev. 2022

SILVA, A. R. Avaliação do processo de eutrofização das águas superficiais, do cenário nacional ao local: estudo de caso nas bacias hidrográficas costeiras dos rios Ratonés, Itacorubi eTavares (Ilha de Santa Catarina, Brasil). 2019. 311 f. **Tese (Doutorado)** - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019. Disponível em:<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/204457?show=full>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SILVA, D. C. V. R.; QUEIROZ, L. G.; ALAMINO, D. A.; FERNANDES, J. G.; SILVA, S. C.; PAIVA, T. C. B.; POMPÊO, M. L. M. Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 627-635, ago. 2018.FAP UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018168445>.

SILVA, J. P. et al. Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). **Scientia Plena**, v. 15, n. 12, 28 jan. 2020.

SILVA, V. A. B. et al. Cooperação internacional para proteção e utilização sustentável dos recursos hídricos da bacia amazônica. 2018. 17 f. **TCC (Graduação)** – Curso de Relações Internacionais, Uninter, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/handle/1/253>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SILVEIRA, C. A. DA et al. Análise microbiológica da água do Rio Bacacheri, em Curitiba (PR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 933–938, out. 2018.

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (Brasil). Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. 2021. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 16 fev. 2022.

SOARES DE SOUZA, D. et al. Estudo Socioambiental na Amazônia Brasileira com foco na Qualidade da Água. **Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales**, v. 13, n. 1, p. 76–92, 1 jul. 2017.

SOUZA, K. A. DE; ESPINDOLA, G. M. DE; SILVA, C. E. DA. Qualidade da água e sensoriamento remoto: análise bibliométrica da produção científica mundial. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/22565/18064/58036>.

TOMING, K. et al. First experiences in mapping lake water quality parameters with Sentinel-2 MS imagery. *Remote Sensing*, v. 8, n. 8, p. 640, 2016.

TUNDISI, J.; MATSUMURA-TUNDISI, T. A Água. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://sbhsf.com.br/wp-content/uploads/2020/08/novo\\_A\\_AGUA.pdf](https://sbhsf.com.br/wp-content/uploads/2020/08/novo_A_AGUA.pdf).

VIEIRA, L. DA C. Uso integrado de modelagem matemática e sensoriamento remoto para compreensão da hidrodinâmica do reservatório Serra Azul/MG. [repositorio.ufmg.br](https://repositorio.ufmg.br), 12 abr. 2019.

**APÊNDICE I**  
Leituras da Clorofila "a" no Espectrofotômetro em Laboratório.

Análise A

P1 (a)		
Antes da acidificação - Amostra		
	664 nm	750 nm
1ª	0,0090	0,0040
2ª	0,0090	0,0040
3ª	0,0100	0,0040
<b>Média</b>	<b>0,0093</b>	<b>0,0040</b>
Após a acidificação - Amostra		
	665 nm	750 nm
1ª	0,0080	0,003
2ª	0,0070	0,003
3ª	0,0070	0,003
<b>Média</b>	<b>0,0073</b>	<b>0,0030</b>

P3 (a)		
Antes da acidificação - Amostra		
	664 nm	750 nm
1ª	0,0200	0,0110
2ª	0,0200	0,0110
3ª	0,0210	0,0120
<b>Média</b>	<b>0,0203</b>	<b>0,0113</b>
Após a acidificação - Amostra		
	665 nm	750 nm
1ª	0,0070	0,003
2ª	0,0070	0,003
3ª	0,0070	0,003
<b>Média</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0030</b>

P2 (a)		
Antes da acidificação - Amostra		
	664 nm	750 nm
1ª	0,0090	0,0050
2ª	0,0090	0,0050
3ª	0,0090	0,0050
<b>Média</b>	<b>0,0090</b>	<b>0,0050</b>
Após a acidificação - Amostra		
	665 nm	750 nm
1ª	0,0060	0,004
2ª	0,0060	0,004
3ª	0,0060	0,004
<b>Média</b>	<b>0,0060</b>	<b>0,0040</b>

P4 (a)		
Antes da acidificação - Amostra		
	664 nm	750 nm
1ª	0,0220	0,0040
2ª	0,0220	0,0040
3ª	0,0220	0,0040
<b>Média</b>	<b>0,0220</b>	<b>0,0040</b>
Após a acidificação - Amostra		
	665 nm	750 nm
1ª	0,0140	0,003
2ª	0,0140	0,003
3ª	0,0140	0,003
<b>Média</b>	<b>0,0140</b>	<b>0,0030</b>

P5 (a)		
Antes da acidificação - Amostra		
	664 nm	750 nm
1ª	0,0150	0,0040
2ª	0,0150	0,0030
3ª	0,0140	0,0030
<b>Média</b>	<b>0,0147</b>	<b>0,0033</b>
Após a acidificação - Amostra		
	665 nm	750 nm
1ª	0,0150	0,004
2ª	0,0150	0,004
3ª	0,0150	0,004
<b>Média</b>	<b>0,0150</b>	<b>0,0040</b>

P7 (a)		
Antes da acidificação - Amostra		
	664 nm	750 nm
1ª	0,0020	0,0020
2ª	0,0020	0,0030
3ª	0,0020	0,0030
<b>Média</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,0027</b>
Após a acidificação - Amostra		
	665 nm	750 nm
1ª	0,0020	0,003
2ª	0,0010	0,003
3ª	0,0010	0,003
<b>Média</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,0030</b>

P6 (a)		
Antes da acidificação - Amostra		
	664 nm	750 nm
1ª	0,0040	0,0030
2ª	0,0040	0,0030
3ª	0,0040	0,0030
<b>Média</b>	<b>0,0040</b>	<b>0,0030</b>
Após a acidificação - Amostra		
	665 nm	750 nm
1ª	0,0050	0,004
2ª	0,0050	0,004
3ª	0,0050	0,004
<b>Média</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,0040</b>

## APÊNDICE I

Leituras da Clorofila "a" no Espectrofotômetro em Laboratório.

Análise B

P1 (b)			P3 (b)		
Antes da acidificação - Amostra			Antes da acidificação - Amostra		
	<b>664 nm</b>	<b>750 nm</b>		<b>664 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0090	0,0030	<b>1ª</b>	0,0150	0,0040
<b>2ª</b>	0,0090	0,0030	<b>2ª</b>	0,0150	0,0040
<b>3ª</b>	0,0090	0,0030	<b>3ª</b>	0,0150	0,0040
<b>Média</b>	<b>0,0090</b>	<b>0,0030</b>	<b>Média</b>	<b>0,0150</b>	<b>0,0040</b>
Após a acidificação - Amostra			Após a acidificação - Amostra		
	<b>665 nm</b>	<b>750 nm</b>		<b>665 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0070	0,003	<b>1ª</b>	0,0150	0,004
<b>2ª</b>	0,0070	0,003	<b>2ª</b>	0,0160	0,003
<b>3ª</b>	0,0070	0,003	<b>3ª</b>	0,0150	0,003
<b>Média</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0030</b>	<b>Média</b>	<b>0,0153</b>	<b>0,0033</b>

P2 (b)			P4 (b)		
Antes da acidificação - Amostra			Antes da acidificação - Amostra		
	<b>664 nm</b>	<b>750 nm</b>		<b>664 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0070	-0,0010	<b>1ª</b>	0,0200	0,0040
<b>2ª</b>	0,0090	0,0020	<b>2ª</b>	0,0210	0,0040
<b>3ª</b>	0,0100	0,0020	<b>3ª</b>	0,0200	0,0040
<b>Média</b>	<b>0,0087</b>	<b>0,0010</b>	<b>Média</b>	<b>0,0203</b>	<b>0,0040</b>
Após a acidificação - Amostra			Após a acidificação - Amostra		
	<b>665 nm</b>	<b>750 nm</b>		<b>665 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0090	0,004	<b>1ª</b>	0,0220	0,004
<b>2ª</b>	0,0080	0,004	<b>2ª</b>	0,0220	0,005
<b>3ª</b>	0,0080	0,004	<b>3ª</b>	0,0220	0,005
<b>Média</b>	<b>0,0083</b>	<b>0,0040</b>	<b>Média</b>	<b>0,0220</b>	<b>0,0047</b>

P5 (b)			P7 (b)		
Antes da acidificação - Amostra			Antes da acidificação - Amostra		
	<b>664 nm</b>	<b>750 nm</b>		<b>664 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0150	0,0040	<b>1ª</b>	0,0060	0,0020
<b>2ª</b>	0,0160	0,0030	<b>2ª</b>	0,0060	0,0030
<b>3ª</b>	0,0150	0,0030	<b>3ª</b>	0,0060	0,0030
<b>Média</b>	<b>0,0153</b>	<b>0,0033</b>	<b>Média</b>	<b>0,0060</b>	<b>0,0027</b>
Após a acidificação - Amostra			Após a acidificação - Amostra		
	<b>665 nm</b>	<b>750 nm</b>		<b>665 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0150	0,005	<b>1ª</b>	0,0050	0,004
<b>2ª</b>	0,0150	0,005	<b>2ª</b>	0,0050	0,003
<b>3ª</b>	0,0150	0,005	<b>3ª</b>	0,0050	0,003
<b>Média</b>	<b>0,0150</b>	<b>0,0050</b>	<b>Média</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,0033</b>

P6 (b)		
Antes da acidificação - Amostra		
	<b>664 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0070	0,0030
<b>2ª</b>	0,0070	0,0030
<b>3ª</b>	0,0070	0,0030
<b>Média</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0030</b>
Após a acidificação - Amostra		
	<b>665 nm</b>	<b>750 nm</b>
<b>1ª</b>	0,0070	0,003
<b>2ª</b>	0,0070	0,003
<b>3ª</b>	0,0070	0,003
<b>Média</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0030</b>

## APÊNDICE II

### Cálculos da Determinação da Clorofila "a"

P1 (a)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0040
D664=	0,0093
Leituras após a acidificação	
D750=	0,003
D665=	0,007333
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0053
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0043
Clorofila a = 26,73 * (D664c -D665c) * (v/(V*L))	
<b>1,0692</b>	µg/L

P3 (a)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0113
D664=	0,0203
Leituras após a acidificação	
D750=	0,003
D665=	0,007
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0090
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0040
Clorofila a = 26,73 * (D664c -D665c) * (v/(V*L))	
<b>5,3460</b>	µg/L

P2 (a)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0050
D664=	0,0090
Leituras após a acidificação	
D750=	0,004
D665=	0,006
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0040
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0020
Clorofila a = 26,73 * (D664c -D665c) * (v/(V*L))	
<b>2,1384</b>	µg/L

P4 (a)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0040
D664=	0,0220
Leituras após a acidificação	
D750=	0,003
D665=	0,014
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0180
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0110
Clorofila a = 26,73 * (D664c -D665c) * (v/(V*L))	
<b>7,4844</b>	µg/L

P5 (a)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0033
D664=	0,0147
Leituras após a acidificação	
D750=	0,004
D665=	0,015
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0113
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0110
Clorofila a = 26,73 * (D664c -D665c) * (v/(V*L))	
<b>0,3564</b>	µg/L

P7 (a)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0027
D664=	0,0020
Leituras após a acidificação	
D750=	0,003
D665=	0,0013
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	-0,0007
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	-0,0017
Clorofila a = 26,73 * (D664c -D665c) * (v/(V*L))	
<b>1,0692</b>	µg/L

P6 (a)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0030
D664=	0,0040
Leituras após a acidificação	
D750=	0,004
D665=	0,005
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0010
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0010
Clorofila a = 26,73 * (D664c -D665c) * (v/(V*L))	
<b>0,0000</b>	µg/L

## APÊNDICE II

### Cálculos da Determinação da Clorofila "a"

P1 (b)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0030
D664=	0,0090
Leituras após a acidificação	
D750=	0,003
D665=	0,007
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0060
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0040
Clorofila a = $26,73 * (D664c - D665c) * (v/(V*L))$	
<b>2,1384</b>	µg/L

P3 (b)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0040
D664=	0,0150
Leituras após a acidificação	
D750=	0,0033
D665=	0,0153
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0110
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0120
Clorofila a = $26,73 * (D664c - D665c) * (v/(V*L))$	
<b>-1,0692</b>	µg/L

P2 (b)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0010
D664=	0,0087
Leituras após a acidificação	
D750=	0,004
D665=	0,008333
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0077
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0043
Clorofila a = $26,73 * (D664c - D665c) * (v/(V*L))$	
<b>3,5640</b>	µg/L

P4 (b)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0040
D664=	0,0203
Leituras após a acidificação	
D750=	0,0047
D665=	0,022
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0163
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0173
Clorofila a = $26,73 * (D664c - D665c) * (v/(V*L))$	
<b>-1,0692</b>	µg/L

P5 (b)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0033
D664=	0,0153
Leituras após a acidificação	
D750=	0,005
D665=	0,015
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0120
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0100
Clorofila a = $26,73 * (D664c - D665c) * (v/(V*L))$	
<b>2,1384</b>	µg/L

P7 (b)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0027
D664=	0,0060
Leituras após a acidificação	
D750=	0,0033
D665=	0,005
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0033
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0017
Clorofila a = $26,73 * (D664c - D665c) * (v/(V*L))$	
<b>1,7820</b>	µg/L

P6 (b)	
Leituras antes da acidificação	
D750=	0,0030
D664=	0,0070
Leituras após a acidificação	
D750=	0,003
D665=	0,007
correção da Turbidez	
Antes da acidificação:	
D664 - D750 = D664 corrigido =	0,0040
Após a acidificação	
D665 - D750 = D665 corrigido =	0,0040
Clorofila a = $26,73 * (D664c - D665c) * (v/(V*L))$	
<b>0,0000</b>	µg/L

**APÊNDICE III**  
**VALORES DOS PIXELS DAS AMOSTRAS DOS PONTOS DA BAÍA DE PORTEL**

Clorofila "a" $\mu\text{g.L}^{-1}$ determinado pelo Sensoriamento Remoto													
P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
Clorofila	IET CLH	Clorofila	IET CLH	Clorofila	IET CLH	Clorofila	IET CLH	Clorofila	IET CLH	Clorofila	IET CLH	Clorofila	IET CLH
2,05732	56,34344	2,04428	56,28841	2,05003	56,31274	2,04765	56,30267	2,05891	56,35014	2,05523	56,33469	2,05736	56,3436
2,05997	56,35462	2,04775	56,30311	2,06647	56,38186	2,05297	56,32513	2,05313	56,32583	2,04173	56,27764	2,05161	56,3194
2,06630	56,38118	2,04737	56,30150	2,07113	56,40137	2,04875	56,30733	2,04600	56,29570	2,05487	56,33313	2,04206	56,279
2,06970	56,39541	2,05210	56,32149	2,06832	56,38964	2,04686	56,29934	2,05411	56,32993	2,04552	56,29367	2,05132	56,3182
2,05644	56,33977	2,05933	56,35193	2,05693	56,34183	2,05589	56,33746	2,05482	56,33294	2,04198	56,27867	2,05025	56,3136
2,04497	56,29136	2,05588	56,33738	2,05563	56,33636	2,05728	56,34328	2,04723	56,30091	2,05475	56,33263	2,04609	56,2961
2,04666	56,29849	2,05870	56,34927	2,05131	56,31812	2,04703	56,30006	2,04569	56,29440	2,04953	56,31063	2,05125	56,3179
2,05889	56,35006	2,05383	56,32878	2,04653	56,29794	2,04659	56,29818	2,06067	56,35753	2,04752	56,30213	2,05990	56,3543
2,05900	56,35054	2,04713	56,30049	2,05261	56,32362	2,05769	56,34501	2,05129	56,31807	2,05335	56,32676	2,05207	56,3214
2,05942	56,35231	2,05335	56,32676	2,06804	56,38843	2,04840	56,30583	2,05279	56,32438	2,04768	56,30283	2,05012	56,3131
2,06603	56,38003	2,04761	56,30250	2,06430	56,37278	2,04486	56,29086	2,04899	56,30834	2,04985	56,31198	2,05741	56,3438
2,06396	56,37136	2,04585	56,29506	2,05366	56,32804	2,05238	56,32264	2,04316	56,28367	2,04157	56,27694	2,05621	56,3388
2,06378	56,37062	2,05271	56,32404	2,05854	56,34859	2,06023	56,35570	2,03204	56,23645	2,04499	56,29143	2,06008	56,3551
2,05991	56,35437	2,05589	56,33746	2,07001	56,39670	2,05889	56,35006	2,05915	56,35117	2,04894	56,30811	2,05377	56,3285
2,05780	56,34550	2,05064	56,31530	2,04473	56,29034	2,05952	56,35271	2,05328	56,32644	2,05011	56,31306	2,04467	56,2901
2,07037	56,39821	2,05506	56,33395	2,06383	56,37083	2,05975	56,35366	2,04498	56,29139	2,04606	56,29597	2,05403	56,3296
2,06579	56,37903	2,05425	56,33054	2,05854	56,34857	2,05398	56,32942	2,04468	56,29012	2,04993	56,31232	2,04213	56,2793
2,05349	56,32732	2,04605	56,29591	2,05925	56,35157	2,03564	56,25174	2,05791	56,34594	2,05165	56,31959	2,04875	56,3073
2,05793	56,34602	2,05025	56,31364	2,05972	56,35356	2,04720	56,30079	2,05639	56,33955	2,03878	56,26511	2,05488	56,3332
2,06912	56,39298	2,05576	56,33690	2,06315	56,36795	2,05949	56,35258	2,04954	56,31068	2,03769	56,26048	2,05016	56,3133
2,05680	56,34127	2,04856	56,30654	2,04730	56,30120	2,05142	56,31858	2,05320	56,32612	2,04501	56,29150	2,04947	56,3104
2,04879	56,30750	2,05095	56,31663	2,04608	56,29603	2,04643	56,29752	2,03766	56,26036	2,04876	56,30736	2,05820	56,3471
2,05827	56,34748	2,04927	56,30954	2,06832	56,38960	2,04225	56,27982	2,05586	56,33733	2,05110	56,31727	2,06379	56,3707
2,06281	56,36655	2,04737	56,30150	2,05089	56,31635	2,06111	56,35939	2,05128	56,31800	2,05204	56,32120	2,04680	56,2991
2,06397	56,37139	2,05521	56,33458	2,05930	56,35180	2,06686	56,38351	2,04781	56,30334	2,05419	56,33028	2,04143	56,2764
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2,05262	56,32367	2,06770	56,38701	2,04706	56,30020	2,05087	56,31630	2,06688	56,38360	2,05479	56,33282	2,03688	56,257

**Obs:** Foram determinados 280 valores de concentração de clorofila "a" para cada ponto, assim como o IET (CLH). Contudo, estão expostos apenas 59 valores devido a quantidade de páginas que os dados ocupam.

**APÊNDICE IV**  
Dados Básicos de Estatística dos Dados de Clorofila

	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>P1</b>	0,0062	2,0591	2,0740	2,0374
<b>P2</b>	0,0061	2,0548	2,0725	2,0398
<b>P3</b>	0,0081	2,0548	2,0785	2,0273
<b>P4</b>	0,0071	2,0501	2,0686	2,0280
<b>P5</b>	0,0068	2,0514	2,0704	2,0314
<b>P6</b>	0,0066	2,0478	2,0656	2,0251
<b>P7</b>	0,0082	2,0459	2,0669	2,0238



Universidade do Estado do Pará  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e  
Sustentabilidade na Amazônia PPGTEC – Mestrado  
Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66095-100  
<http://ccnt.uepa.br/ppgtec/>

