



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE BARRAGEM E GESTÃO AMBIENTAL – PEBGA

FABÍOLA ESQUERDO DE SOUZA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA  
CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO EM RESERVATÓRIO  
HIDRELÉTRICO COM O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO.**

Tucuruí - PA  
2022

FABÍOLA ESQUERDO DE SOUZA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA  
CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO EM RESERVATÓRIO  
HIDRELÉTRICO COM O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da  
Universidade Federal do Pará para a obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara.  
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Benedito S. da S. Soares

Tucuruí - PA  
2022

- E74a Esquerdo de Souza, Fabíola.  
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA  
TERRA NA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM  
SUSPENSÃO EM RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO COM O  
USO DO SENSORIAMENTO REMOTO / Fabíola Esquerdo de  
Souza. — 2022.  
108 f. : il. color.
- Orientador: Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara  
Coorientador: Dr. Carlos Benedito Santana da Silva Soares  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Campus Universitário de Tucuruí, Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Tucuruí,  
2022.
1. Sensor Espacial MODIS. 2. Sedimentos. 3. UHE Tucuruí.  
4. Planejamento Ambiental. 5. Bacia Hidrográfica. I. Título.

CDD 627.8

---

FABÍOLA ESQUERDO DE SOUZA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA  
CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO EM RESERVATÓRIO  
HIDRELÉTRICO COM O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO.**


Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da  
Universidade Federal do Pará para a obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Benedito S. da S. Soares

Tucuruí, 09 de julho de 2022.


Aprovado por:

Documento assinado digitalmente  
 Junior Hiroyuki Ishihara  
Data: 30/10/2022 11:14:14-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Prof. Júnior Hiroyuki Ishihara, Dr. em Desenvolvimento Sócioambiental  
(PEBGA/NDAE/UFPA)  
(Orientador)

Prof. Carlos Benedito S. da S. Soares, Dr. em Clima e Ambiente com ênfase em  
Hidrosedimentologia e Sensoriamento Remoto  
(CENSIPAM/IFAM)  
(Coorientador)

Prof. Raynner Menezes Lopes, Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental  
(PEBGA/CAMTUC/UFPA)  
(Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente  
 SOLANGE DOS SANTOS COSTA  
Data: 01/11/2022 17:42:41-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof<sup>a</sup>. Solange dos Santos Costa, Dr<sup>a</sup>. em Geociências com ênfase em Sensoriamento Remoto  
(GEOCIENCIAS/UFAM)  
(Examinadora Externa)

Documento assinado digitalmente  
 ISAQUE DOS SANTOS SOUSA  
Data: 01/11/2022 19:31:16-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Isaque dos Santos Sousa, Dr. em Doutor em Geografia Humana  
(PROFAGUA/UEA)  
(Examinador Externo)

À Deus, autor da vida, que me fortalece, encoraja, guia, ilumina meus  
pensamentos e me mantém de pé todos os dias.

À minha mãe, essa mulher guerreira que me ensinou tudo que eu sei e  
instiga minhas maiores virtudes.

Aos meus avós, que são fonte de inspiração para eu prosseguir em  
busca de conhecimento.

Aos meus orientadores por terem compartilhado seus conhecimentos,  
ensino, tempo e paciência para comigo.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e eterno Deus, por ter me concedido o dom da vida e que me deu a oportunidade de continuar a minha caminhada na busca pelos meus sonhos.

A Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental – PEBGA pela oportunidade de realização deste Mestrado.

Ao professor Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara, pela orientação atenciosa, por todo apoio, conhecimento, disposição, confiança e amizade, gratidão por todas as oportunidades a mim concedida na Universidade.

Ao professor Dr. Carlos Benedito Santana da Silva Soares, pela orientação cuidadosa, ensino, pela disponibilidade, atenção e amizade, gratidão por todo o conhecimento e parceria ao Censipam.

Ao PEBGA pela oportunidade representar meus colegas junto ao colegiado, esse período foi produtivo onde adquirir bastante conhecimento e puder participar de decisões importantes para o programa. Ao NDAE - Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, também pela oportunidade de representar os três programas (PEBGA, PPGINDE e PPCA) junto ao colegiado para assuntos de grande relevância aos alunos e a instituição.

A minha família, pela educação e orientação que me foi dada ao longo da vida, pelo apoio, carinho e compreensão, em especial a minha mãe Luciete e pai Raimundo Reginaldo, que sempre me incentivaram e acreditaram em mim, aos meus irmãos Edinaldo e Reginete pelo apoio e incentivo. Aos meus avós Dulce Maria e Nazaré (*In Memoriam*) que foram fonte de inspiração para continuar nesta jornada de conhecimento e avanço nos estudos, minha avó não sabe ler e nem escrever, meu avô com pouco estudo sabia escrever, ler e calcular.

A minha tia Edna por todo cuidado e amor, que sempre me deu apoio e me ajudou no que foi preciso no período que tive em Belém, gratidão tia. As minhas tias e tios, e todos as minhas primas e primos que mesmo de longe me incentivaram e me apoiaram neste período. Aos meus tios Mariano, Vânia e família pelo apoio, incentivo e pelas orações.

A todos os meus amigos, os quais felizmente a lista é numerosa, agradeço pelo companheirismo, apoio, cumplicidade, grupos de estudos e bons momentos de descontração. Em especial aos casais de amigos Marli e Marcos Sobrinho e Elaine Lima e Elison Sandro, que sempre me apoiaram nas minhas decisões, oravam por mim e me tiravam muitas vezes de casa.

Agradeço também aos amigos que tive a honra em fazer no programa, Daniel Azevedo, Ronaldo Guimarães, Maria Lúcia, Lorrana, Juliana, Bruno, Gustavo, Carlos, Magno, as bolsistas Shewlyn Jenyele e Thathyelly Thaylla e principalmente a todos os integrantes do PEBGA.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho e que contribuíram ou contribuem para a minha formação profissional.

Obrigada!

Para ser sábio, é primeiro preciso temer a Deus, o Senhor. Se você conhece a Deus Santo, então você tem compreensão das coisas.”  
(Provérbios 9:10)

"Pergunte, porém, aos animais, e eles o ensinarão, ou às aves do céu, e elas lhe contarão; fale com a terra, e ela o instruirá, deixe que os peixes do mar o informem. Quem de todos eles ignora que a mão do Senhor fez isso? Em sua mão está a vida de cada criatura e o fôlego de toda a humanidade.”  
(Jó 12:7-10)

“Eu aprendi que a coragem não é a ausência de medo, mas o triunfo sobre ele. O homem corajoso não é aquele que não sente medo, mas aquele que conquista por cima do medo.”  
(Nelson Mandela)

“A função da educação é ensinar a pessoa a pensar intensamente e a pensar criticamente. Inteligência mais caráter - esse é o objetivo da verdadeira educação.”  
(Martin Luther King Jr.)

“A verdadeira medida de um homem não se vê na forma como se comporta em momentos de conforto e conveniência, mas em como se mantém em tempos de controvérsia e desafio.”  
(Martin Luther King Jr.)

“Quando abro a porta de uma nova descoberta já encontro Deus lá dentro.”  
(Albert Einstein)

“Devemos tomar cuidado para não fazer do nosso intelecto nosso deus; ele tem, é claro, músculos potentes, mas não tem personalidade.”  
(Albert Einstein)

“As investigações científicas revelam novas maneiras com as quais Deus trabalha e nos trazem revelações mais profundas do totalmente desconhecido.”  
(Maria Mitchell), primeira astrônoma norte-americana e primeira mulher a ser nomeada para a Academia Americana de Artes e Ciências.

“Quanto mais eu estudo a natureza, mais me maravilho com a obra do Criador.”  
(Louis Pasteur), um dos fundadores da microbiologia, criador da pasteurização.

“Eu sei que o conceito de Deus me ajudou a lidar com muitas questões na vida, me guiou em situações críticas e o vejo confirmado em muitas ideias profundas sobre a beleza do funcionamento do mundo.”  
(Werner Arber), Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1978 e presidente da Pontifícia Academia de Ciências.

“Não vejo nenhuma contradição entre ciência e fé: pertencem a duas esferas diferentes. Nós, cientistas, seríamos muito ambiciosos e arrogantes se imaginássemos que podemos explicar a origem do mundo.”  
(Fabiola Gianotti), diretora-geral do CERN – Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear.

## RESUMO

O uso de sensoriamento remoto no monitoramento de sedimentos em reservatório é importante para conhecimento espaço temporal da deposição de sedimentos nas estruturas da barragem. Neste contexto, esta pesquisa foi desenvolvida na bacia hidrográfica que abrange o reservatório da UHE Tucuruí, em que foram adquiridos dados de concentração de sedimentos suspensos da estação de monitoramento M1 situada a 2 km a montante da barragem, estiveram integrados às análises para se entender a relação entre as respostas das imagens de satélites e as medições de campo. Realizou-se análises de sedimentos com séries temporais de 14 anos das imagens MODIS, compostas de 8 dias. Estimativas de reflectância da superfície foram calculadas usando-se regressão linear simples e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Para o uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica foi realizado análise temporal de imagens Landsat-5, Landsat-8 OLI/TIRS. Em seguida foi realizado a relação do uso e ocupação da terra com as análises de qualidade da água das estações a montante 1 (M1), Montante Repartimento (MR) e Montante Pacurui (MP). Os resultados mostram que a curva de calibração gerou a equação de regressão linear com bom ajuste para estação de monitoramento M1, apresentando eficiência nos dados estimados pela reflectância através deste modelo. As análises de uso e ocupação da terra mostram que ao longo dos anos houve redução de formação florestal e ao mesmo tempo acontecia o crescimento de pastagem. Em relação a qualidade da água, os impactos causados por ações antrópicas têm influências negativas. Deste modo, pode-se observar a relevância da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e geotecnologias, como instrumentos que auxiliam no planejamento do uso e ocupação da terra, nas análises de qualidade da água e gestão de recursos hídricos em regiões de reservatórios, uma vez que estas tecnologias possibilitam maior abrangência espacial das análises com menores custos.

**Palavras-chave:** Sensor Espacial MODIS, Sedimentos, UHE Tucuruí, Planejamento Ambiental, Bacia Hidrográfica, Amazônia

## ABSTRACT

The use of remote sensing in reservoir sediment monitoring is important for temporal *space* knowledge of sediment deposition in dam structures. In this context, this research was developed in the hydrographic basin that covers the Tucuruí HOU reservoir, in which suspended sediment concentration data from the M1 monitoring station located at 2 km upstream of the dam were acquired, and were integrated into the analyses to understand the relationship between the responses of satellite images and field measurements. Sediment analyses were performed with 14-year time series of MODIS images, composed of 8 days. Surface reflectance estimates were calculated using simple linear regression and coefficient of determination ( $R^2$ ). For the use and occupation of the land of the hydrographic basin, a temporal analysis of Landsat-5, Landsat-8 OLI/TIRS images was performed. Next, the land use and occupation were related to water quality analyses of stations upstream 1 (M1), Amount Repartimento (MR) and Montante Pacurui (MP). The results show that the calibration curve generated the linear regression equation with good fit for M1 monitoring station, presenting efficiency in the data estimated by reflectance through this model. The analyses of land use and occupation show that over the years there was a reduction in forest formation and at the same time pasture growth occurred. In relation to water quality, the impacts caused by anthropic actions have negative influences. Thus, it is possible to observe the relevance of the use of remote sensing techniques, geoprocessing and geotechnologies, as instruments that help in the planning of land use and occupation, in the analysis of water quality and management of water resources in reservoir regions, since these technologies enable greater spatial scope of the analyses with lower costs.

**Keywords:** MODIS Space Sensor, Sediments, Tucuruí UHE, Environmental Planning, Watershed, Amazon.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Elementos Fundamentais de um Reservatório.....	19
Figura 2 - Monitoramento dos recursos hídricos através do sensoriamento remoto. ....	29
Figura 3 - Localização da Área de Estudo.....	33
Figura 4 - Localização das Estações de amostragem a montante da UHE Tucuruí. ....	35
Figura 5 - Dados da estação pluviométrica Tucuruí (00349000), dados de chuva (mm) para 1970 a 2015. ....	38
Figura 6 - Localização da APA do Lago de Tucuruí.....	39
Figura 7 - Procedimento de atividades limnológica realizado pela equipe de amostragem. ....	41
Figura 8 - Procedimentos da pesquisa de análise de sedimentos com sensoriamento remoto. ....	45
Figura 9 - Comportamento espectral de alvos em relação ao espectro eletromagnético nas faixas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas. ....	48
Figura 10 - Polígono da área analisada em que fica localizado o polígono de 4 km. ....	48
Figura 11 - Programa ENVI. Identificação de valores de nível de cinza. ....	49
Figura 12 - Identificação de valores de nível de cinza em nove células vizinhas no ENVI.....	50
Figura 13 - Estatística dos ND que abrange o polígono de 4km. ....	51
Figura 14 - Procedimentos da pesquisa de análise espaço temporal ao entorno da UHE Tucuruí. ....	51
Figura 15 - CSS x Refletância e modelo de regressão linear com (R <sup>2</sup> ), na estação M1 razão de bandas B2, nas campanhas no período de 2004 a 2014. ....	55
Figura 16 - Curva de calibração das variáveis CSS e R na faixa do infravermelho próximo para a estação M1. ....	56
Figura 17 - Comparação de dados de CSS em campo e modelo gerado para CSS. ....	59
Figura 18 - Uso da terra da bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29) para os anos analisados. ....	61
Figura 19: Analise da formação florestal, pastagem e rio e lago para os anos analisados. ....	63
Figura 20 - Análise de florestal e pastagem por crescimento e redução no período analisado. ....	66
Figura 21 - Análise das classes por crescimento e redução no período analisado (1985 a 2020). ....	67
Figura 22: Crescimento e redução da área de Tucuruí que abrange a bacia. ....	70
Figura 23 - Crescimento e redução da área de Novo Repartimento que abrange a bacia. ....	72
Figura 24 - Crescimento e redução da área de Tucuruí que abrange a bacia. ....	73

Figura 25 - Valores do oxigênio dissolvido na camada superficial de água das estações de monitoramento M1, MR e MP da UHE Tucuruí.....	74
Figura 26 - Níveis de Fósforo Total observados nas estações de monitoramento M1, MR e MP. ....	75
Figura 27 - Níveis de Fosfato observados nas estações de monitoramento M1, MR e MP. ....	76
Figura 28 - Condutividade da água vista na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020).....	76
Figura 29: Amônia da água apresentada na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020). ....	77
Figura 30 - Temperatura da água mostrada na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020).....	78
Figura 31 - pH da água mostrada na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020). ....	78
Figura 32 - Transparência da água mostrada na Estação M1, MR e MP. ....	79
Figura 33 -Turbidez da água vista na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020).....	80
Figura 34 - Nitrato da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020). ....	80
Figura 35 - Ferro Total da água encontrada na Estação M1, MR e MP.....	81
Figura 36: Clorofila da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020). ....	81
Figura 37 - Cálcio da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020).	82
Figura 38 - Magnésio da água encontrada na Estação M1, MR e MP. ....	82
Figura 39 - Sódio da água das estações M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020). ....	83
Figura 40 - Potássio da água encontrada na Estação M1, MR e MP.....	83
Figura 41 - CSS da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010,2015 e 2015). ...	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações de coleta amostras a montante da UHE Tucuruí. ....	34
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água que serão monitorados e métodos de análise. ....	42
Tabela 3 - Sensores dos satélites utilizados nesta pesquisa. ....	43
Tabela 4 - Características dos satélites Landsat 5, 7 e 8. ....	44
Tabela 5 - Características dos satélite Modis. ....	44
Tabela 6 - Tabela de avaliação da qualidade dos dados de refletância de superfície. ....	46
Tabela 7 - Dados das imagens do MODIS. ....	47
Tabela 8 - Dados das imagens dos satélites Landsat 5 e 8. ....	52
Tabela 9: Matriz de erros ou matriz de confusão. ....	54
Tabela 10 - Dados de CSS gerado pelo modelo em comparação com dados de campo. ....	58
Tabela 11 - Áreas dos municípios que compõem a bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz. ....	60
Tabela 12 - Classificação de imagens com seus respectivos tipos de uso da terra. ....	62
Tabela 13 - Classificação de imagens com seus respectivos tipos de uso do solo. ....	64
Tabela 14 - Tipo de uso da terra da área de Tucuruí que compreende a área da bacia hidrográfica. ....	68
Tabela 15 - Mudanças no uso e ocupação da terra da área de Tucuruí que compreende a área da bacia hidrográfica, no período de cinco em cinco anos. ....	69
Tabela 16 - Uso da terra de Novo Repartimento que compreende a área da bacia hidrográfica. ....	71
Tabela 17 - Mudanças no uso e ocupação da terra da área de Novo Repartimento que compreende a área da bacia hidrográfica, no período de cinco em cinco anos. ....	72

## LISTA DE TABELAS

**ANA** - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

**ANEEL** - Agência Nacional de Energia Elétrica

**APA** - Área de proteção ambiental

**CETESB** - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

**CSS** - Concentração de Sedimentos em Suspensão

**ENVI** - *Environment for Visualizing Images*

**GPS** - Sistema de Posicionamento Global

**HDF** - *Hierarchical Data Format*

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente

**MODIS** - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

**MW** - megawatts

**mm** - milímetro

**NASA** - *National Aeronautics and Space Administration*

**ND** - Número Digital

**PCHs** - Pequenas Centrais Elétricas

**PNRH** - Política Nacional de Recursos Hídricos

**RMSE** - Raiz do Erro Médio Quadrático

**R<sup>2</sup>** - Coeficiente de determinação

**RDS** – Reserva de Desenvolvimento Sustentável

**SNIRH** - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

**SIN** – Sinusoidal

**Sensor OLI** - Operational Land Imager

**Sensor TM** - Thematic Mapper

**ZPVS** - Zona de Proteção da Vida Silvestre

**UHE** - Usina Hidrelétrica

**UTM** - Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Reservatórios Hidrelétricos .....</b>	<b>19</b>
2.1.1 Produção Hidrelétrica.....	20
2.1.2 Uso e Ocupação da Terra em relação aos Reservatórios .....	21
2.1.3 Efeitos Sedimentológicos causados pela formação de Reservatórios .....	22
<b>2.2 Recursos Hídricos .....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Bacia hidrográfica .....	23
2.2.2 Regulação e usos múltiplos da água.....	24
2.2.3 Limnologia em Reservatório .....	25
2.2.4 Estatística Aplicada a Hidrologia .....	27
2.2.5 Rios da Amazônia .....	27
<b>2.3 Sensoriamento Remoto .....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Estudos de Sensoriamento Remoto em Recursos Hídricos.....	28
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Caracterização da Área de Estudo.....</b>	<b>32</b>
3.1.1 Identificação e Localização das Estações de Amostragem dos Dados de Monitoramento da Qualidade da Água .....	34
3.1.2 Aspectos Fisiográficos .....	37
<b>3.2 Softwares Utilizados .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Coleta de Dados.....</b>	<b>41</b>
3.3.1 Dados de Qualidade da Água.....	41
3.3.2 Dados de Sensoriamento Remoto .....	42
<b>3.4 Processamento Digital de Imagens.....</b>	<b>45</b>
3.4.1 Análises de Sedimentos em Suspensão utilizando dados do sensor MODIS .....	45
3.4.3 Classificação do uso e ocupação da terra da área ao entorno do lago da UHE Tucuruí .....	51
<b>3.5 Validação dos Dados - Análise Estatística .....</b>	<b>53</b>
3.5.1 RMSE e $R^2$ para o MODIS.....	53
3.5.2. Análise de Acurácia de dados de Uso e Ocupação da Terra.....	54
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 O Uso de Sensoriamento Remoto no Monitoramento de Sólidos em Suspensão Do Reservatório da UHE Tucuruí na Amazônia Oriental.....</b>	<b>55</b>

4.1.1. Curva de calibração na banda do infravermelho para os pontos médios das variáveis CSS e R de 2004 a 2016. ....	55
<b>4.2 Diagnóstico Temporal do Uso e Ocupação da Terra da Bacia Hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29).....</b>	<b>60</b>
<b>4.3 Influências do Uso e Ocupação da Terra na Qualidade da Água do Reservatório da UHE Tucuruí.....</b>	<b>68</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE - Relatório fotográfico de trabalho de campo no reservatório da UHE Tucuruí. ....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO - Parâmetros de Qualidade da Água das Estações M1, MR e MP. ....</b>	<b>105</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos de água doce são essenciais para a subsistência do planeta (KONAPALA e MISHRA, 2020). Porém, o acesso à água potável tornou-se um problema cada vez mais crítico em todo o mundo devido ao aumento das cargas poluentes, de mudanças climáticas e do uso da terra em ecossistemas de água doce (HO *et al.*, 2019; ALAKA, 2014). Em decorrência a isto, a qualidade da água tem sido afetada por altas cargas de nutrientes e sedimentos (LEE *et al.*, 2019). Devido o excesso de nitrogênio e/ou fósforo pode criar condições para o florescimento de algas e o crescimento das plantas aquáticas, levando à eutrofização (PAHLEVAN *et al.*, 2020).

Os reservatórios mudaram os regimes de fluxo dos rios, regimes de sedimentos e regimes de temperatura da água em todo o mundo (ZHOU *et al.*, 2016; LATRUBESSE *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2018). No entanto, os reservatórios de hidrelétricas são tidos como ecossistemas aquáticos artificiais derivados da ação do homem, em que proporcionam alta dinâmica e complexidade no espaço e no tempo, com influência mútua entre seus elementos estruturais (barragem), físico-químicos e biológicos (TUNDISI *et al.*, 2012). Eles são relevantes não somente para a geração de energia elétrica, mas também para abastecimento de água (irrigação, água potável e industrial), controle de enchentes, pesca, como parque ecológico de fauna e flora para atividades de lazer e navegação (CHAPMAN, 2016).

Nas últimas décadas, a qualidade da água doce tem sido ameaçada por ações antrópicas e catástrofes naturais, representando uma ameaça não apenas à segurança hídrica, mas também a todo o sistema ecológico (WAGLE, 2019; ALAKA, 2014). Atualmente a qualidade da água de superfície é uma questão de grande preocupação, devido há vários fatores, como as influências antropogênicas (urbanas, industriais e atividades agrícolas), bem como processos naturais (mudanças na precipitação, erosão, intemperismo) degradam a qualidade da água de superfície e prejudica seu uso para abastecimento, industrial, agrícola, recreação ou outras atividades (WAGLE, 2019; DAMIR *et al.*, 2017).

O monitoramento da qualidade da água em grandes barragens é uma necessidade para proteger a água armazenada de várias formas de poluição. Esse processo requer análise de várias amostras semanalmente ou mensalmente (KARAOUI *et al.*, 2019). Algumas pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de identificar parâmetros físico-químicos em ambientes aquáticos de barragens usando sensoriamento remoto, tais como: Clorofila-a - Chl-a, turbidez

e sólidos em suspensão (SAGAN *et al.*, 2020; HO *et al.*, 2019; LIM e CHOI, 2015). O programa de monitoramento da qualidade da água é necessário para verificar a real situação do ambiente, além de conceber e estimar dados confiáveis da qualidade das águas superficiais (XIAOYAN *et al.*, 2017).

As abordagens tradicionais de monitoramento da qualidade da água exigem extensa redes de monitoramento de campo, incluindo medições no local, amostragem e análises laboratoriais. Esses programas são demorados, trabalhosos, têm altos custos e fornecem dados pontuais que carecem de cobertura e detalhes espaciais e temporais (SAGAN *et al.*, 2020; SILVA, 2016). Devido ao espaço e variações temporais na qualidade da água, tais programas precisam incluir um grande número de substâncias físico-químicas, parâmetros tomados em momentos diferentes, apresentando alto custo financeiro e resultando em uma matriz de dados grande e complexa que muitas vezes é difícil interpretar para tirar conclusões significativas (SAGAN *et al.*, 2020; LEDESMA *et al.*, 2019; ZHENGJUN *et al.*, 2008). Portanto, é essencial ter um sistema de monitoramento abrangente, preciso, rápido e barato para observar as condições biofísicas e bioquímicas desses corpos d'água, para evitar danos graves, ocorrendo pela aplicação de tratamentos dentro do prazo (PHILIPSON *et al.*, 2016). Além de monitorar a mudança de uso da terra que afeta diretamente na qualidade da água do rio e ecologia da água, o qual está relacionada a influência da atividade humana (GU *et al.*, 2019).

O surgimento da tecnologia da informação espacial, especialmente o sensoriamento remoto, possibilita a observação contínua da Terra de forma ampla, multifásica e de baixo custo (LIU *et al.*, 2020). Nesse contexto, o sensoriamento remoto é uma ferramenta promissora para superar as dificuldades em acessar informações sobre reservatórios e para monitorar esse ambiente (DENG *et al.*, 2020). Um corpo de água tem caracteristicamente baixo refletividade no visível, o que facilita a extração dos corpos d'água (MUALA *et al.*, 2014). Geralmente, sensores remotos ópticos de plataformas registram a radiação das águas superficiais para obter informações sobre as propriedades da água, como propriedades físico-químicas (turbidez, Concentração de Sólidos Suspensos - CSS), propriedades orgânicas e propriedades microbiológicas (Clorofila-a – Chl a) (HO *et al.*, 2019; PAHLEVAN *et al.*, 2020; DÖRNHÖFER e OPPELT, 2018; MATSUSHITA *et al.*, 2016; HANSEN *et al.*, 2015; LIM e CHOI, 2015).

Embora as imagens de satélite não tenham ainda a capacidade de medição de todas as características físicas, químicas e biológicas da água, a capacidade de medir vários parâmetros

de qualidade da água usando meios diretos e indiretos está sendo desenvolvida por pesquisadores no campo (SAGAN *et al.*, 2020). As técnicas de monitoramento por satélite, por outro lado, são de baixo custo, fornecendo condições de qualidade da água em escalas espaciais e temporais extensas. Quando calibradas com os locais de medições, os modelos baseados em satélite fornecem dados com marcação de tempo que podem inferir tendências e anomalias na concentração de indicadores de qualidade da água para melhorar o monitoramento e controle dos fatores que influenciam na qualidade da água (LIU *et al.*, 2020; DENG *et al.*, 2020; PAHLEVAN *et al.*, 2020; GHOLIZADEH *et al.*, 2016).

A combinação de técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) para medir a qualidade da água permite aos pesquisadores monitorar as mudanças em vários parâmetros de qualidade da água em escalas temporais e espaciais que nem sempre são facilmente aparentes em medições *in situ* (CARSTENS e AMER, 2019). Os mesmos autores relatam que são satisfatórios os resultados obtidos através de técnicas de sensoriamento remoto, pois o estudo envolveu o uso de imagens de satélite e dados *in situ* dentro do GIS para mapear a expansão urbana e verificar seu resultado em fluências na qualidade da água na Bacia do Pontchartrain nas últimas três décadas (CARSTENS e AMER, 2019).

A utilização de imagens de satélite serve para facilitar estudos de distribuição espacial, os quais são complexos em amostragem *in situ*, possibilitando, estudos relacionando uso e ocupação do solo com parâmetros limnológicos (GU *et al.*, 2019; WACHHOLZ, 2012). O ordenamento do uso e ocupação da terra objetiva garantir a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, consistindo em um planejamento e gestão de bacia hidrográfica, além de proteger o meio ambiente (SILVA, 2016).

Devido as obras de Usinas Hidrelétricas (UHE's) causarem grandes impactos ao meio ambiente, é de grande importância analisar as questões ambientais desde o início do projeto, passando pela etapa de implantação e persistindo ao longo da vida útil da hidrelétrica, com o intuito de reduzir os impactos negativos destes empreendimentos (SOUSA, 2000). A UHE Tucuruí foi a primeira grande obra hidrelétrica na região amazônica (CHEN *et al.*, 2015); e por ter aproximadamente 33 anos de atividade, um bom tempo para o entendimento dos impactos das grandes barragens ao longo do tempo na Amazônia, permitindo prognosticar os prováveis impactos ambientais em posteriores empreendimentos hidrelétricos na região (MONTROYA, 2018).

As alterações hidrológicas e climáticas comprometem a atividade e a segurança de barragens de diversas formas: acréscimo de carga de sedimentos dos rios, afetando na execução da turbina e na perda de acumulação; acréscimo da evaporação da superfície dos reservatórios, diminuindo o volume de água disponível; mudanças no regime de chuvas e fluxos dos rios, influenciando na execução da capacidade total das turbinas; e acréscimo da extensão de inundações a qual tem potencial de conduzir a falhas nas barragens (DIAS, 2017). Os modelos hidrológicos são ferramentas eficazes para o planejamento e gestão do uso sustentável dos recursos hídricos, objetivando atender várias demandas (ABBASPOUR *et al.*, 2015).

Na Amazônia a coleta de dados sobre todos os aspectos, não é uma atividade simples de realizar. Por ser uma extensa área territorial possui informações insuficientes, e as que encontram-se a disposição, ficam dispersas entre as diversas institutos criadores destas informações. Todavia, as informações disponíveis são os fatores com grande relevância para tomadas de decisão dos gestores, princípio este que não foge aos gestores de usinas hidrelétricas (SANTIAGO *et al.*, 2019).

A Amazônia foi objeto de grandes projetos como criação da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, e há uma complexidade para se obter dados desta vasta região Amazônica. O Reservatório da UHE Tucuruí foi selecionado a fim de analisar a eficácia da utilização das técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficos nas análises limnológicas do lago, além disso, buscou-se avaliar as mudanças na cobertura e no uso das terras da área de influência, tendo por referência (no tempo e espaço) a implantação da UHE, a partir de imagens de satélite.

Diante do exposto, o objetivo geral do presente trabalho foi analisar o uso do sensoriamento remoto no monitoramento da concentração de sólidos em suspensão do Reservatório e realizar a análise espaço temporal da bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29), tendo como objetivos específicos:

- ❖ Analisar o uso de sensoriamento remoto no monitoramento de sólidos em suspensão do Reservatório da UHE Tucuruí - Amazônia Oriental
- ❖ Avaliar o diagnóstico temporal do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica de Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código:29).
- ❖ Analisar a influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água do Reservatório da UHE Tucuruí

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Reservatórios Hidrelétricos

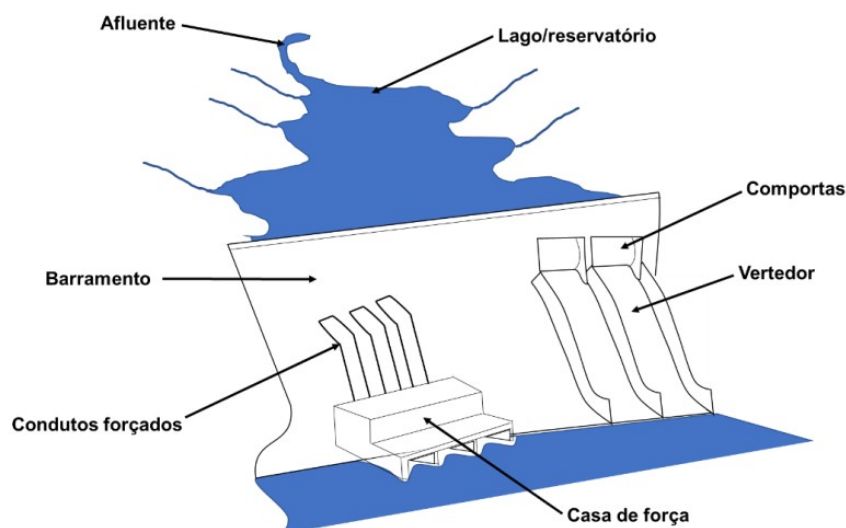
As usinas hidrelétricas são estruturas de geração de energia que podem ser realizadas por meio da aplicação da energia potencial hidráulica da área, esse potencial normalmente está ligado a uma queda d'água e uma capacidade acondicionada de água (KUWAJIMA, 2016).

De acordo com kuwajima (2016) as UHEs podem ser classificadas conforme seu tamanho e seu tipo de reservação, tais como:

- ❖ Tamanho da barragem, está interligado ao tamanho do reservatório e seu volume de geração sendo frequentemente classificados como Usinas Hidrelétricas (UHE) e Pequenas Centrais Elétricas (PCHs).
- ❖ Modelo de Reservação: Têm dois modelos UHEs com reservação, as que tem um reservatório com capacidade de acumular água para regularizar vazão e acumular energia potencial, que são habitualmente inseridos no começo de um sistema de operação em cascatas; e as UHEs de operação a meio-fio, essas UHEs não tem um reservatório com a capacidade de acumular grandes extensões de água e turbinam a água que corre na sua barragem.

No croqui da Figura 1, encontra-se representando os elementos importantes de um reservatório, no caso da casa de forças só existe se for de usina de geração hidrelétrica, e os fluentes de entrada de vazão são cursos d'água contribuintes ao reservatório.

Figura 1- Elementos Fundamentais de um Reservatório.



Fonte: Autora (2022).

### 2.1.1 Produção Hidrelétrica

O aproveitamento da água pela humanidade evoluiu conforme as necessidades, saindo de recurso para consumo, higiene e preparo alimentar, até tornar-se vital para a navegação (transporte de bens ou pessoas) e, mais recentemente, geração energética. Nesse contexto de usos múltiplos da água, em associação com a crescente população e aumento da produção industrial mundo afora, a necessidade de barramentos de cursos d'água para criação de reservatórios se intensificou de forma significativa (KLEIN-GUNNEWIEK, 2019).

Os Reservatórios de hidrelétricas apesar de não atingem de modo radical todo o desenvolvimento, e também podem atingir o equilíbrio dos corpos hídricos mesmo em regiões longínquas de sua edificação (KLEIN-GUNNEWIEK, 2019). Para Bandeira *et al.* (2017) mostram o desenvolvimento da foz do rio São Francisco, ligado à ação antrópica e às modificações vistas naquele local, situada a vários quilômetros de sua edificação.

A obra de barragens tem como intuito de represar a água oriunda de montante, e o resultado disto é o aumento do nível da água nesse local (MEES, 2020). O mesmo autor relata que o aparecimento desse remanso também ocasiona um desnível no rio, em que consistir em ser adequada a elevação da construção, proporcionando um potencial gravitacional que deve ser aplicado para o movimento das turbinas, e logo para a geração hidrelétrica.

Os reservatórios proporcionarão impactos econômicos, sociais e ambientais, como qualquer influência nos estados naturais de um local. Na área econômica se diz que a energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento, criação de trabalhos diretos e indiretos no decorrer e após a obra, e possui o custo baixo referente às fontes não-renováveis (MEES, 2020).

Em relação a construção de hidrelétrica faz-se necessário lembrar que precisa de realocação de populações, principalmente as indígenas e ribeirinhas, com costumes de vida conectados absolutamente a atuação deste sistema. Os impactos ambientais ligados a construção são vários como: perdas de solos, de espécies de fauna e flora, de monumentos históricos e naturais, e de recursos madeireiros; alteração na geometria fluvial (principalmente na hidrologia e na carga de sedimentos), modificação na fauna e flora a montante e jusante do reservatório, alteração na pesca e aquicultura, aumento de macrófitas, degradação da qualidade da água e problemas de saneamento básico (JUNK e MELLO, 1990).

Vale ressaltar a relevância da região para produção energética em nível nacional, e o declive de cargas é evidente, e notório a interferência no turismo local e negócios é bastante

acentuado, de modo que a autoridade prognostica o ciclo de vida de utilização dessas obras para seus usos múltiplos é essencial (KLEIN-GUNNEWIEK, 2019).

### **2.1.2 Uso e Ocupação da Terra em relação aos Reservatórios**

No Brasil os usos e cobertura da terra vem sendo usado como indicativo de condição ecológica de ecossistemas aquáticos em macro, meso e microescalas analisando sua relação com bioindicadores (LIGEIRO *et al.*, 2013). O uso e ocupação da terra de modo irregular têm causado a deterioração dos corpos hídricos (MENEZES *et al.*, 2016).

Para Wang *et al.* (2018), as alterações nos usos da terra trazem interferências para bacias hidrográficas modificando a interceptação da vegetação, os elementos do solo, elementos biofísicos que impactam a evapotranspiração, águas subterrâneas, bem como as mudanças no clima modificam a precipitação, temperatura do ar, a umidade, o desenvolvimento da cobertura vegetal e, logo, as consequências hidrológicas na bacia hidrográfica.

A procura cada vez maior de relações entre problemas locais e regionais que tem influência na qualidade da água, tem auxiliado para o aprimoramento de estudos dessa espécie, da mesma forma que gera contextos técnicos associados com as leis de uso e ocupação da terra, para a manutenção da qualidade ambiental (LIMA FILHO, 2018).

Alguns estudos no Brasil apresentam a importância de levar em consideração a influência indireta da paisagem, das ações e ocupações humanas, tendo em vista o grande conjunto aceitável de fontes de vulnerabilidade para a deterioração hídrica em vários níveis (LIMA FILHO, 2018). Estudos realizados por Cunha *et al.* (2016), avaliou a interferência do uso da terra na qualidade da água superficial e nos custos do tratamento para abastecimento de água para o consumo humano no Estado de São Paulo, foram identificadas uma qualidade de água expressivamente melhor nas bacias hidrográficas que possuem florestas. Já em estudos feitos por Pereira *et al.* (2016), analisou o uso da terra e a degradação na qualidade da água hidrográfica do Rio Peixe-Boi no Estado do Pará, em que foi detectado que as péssimas condições de qualidade da água podem estar associadas com as áreas de uso e ocupação irregulares inseridas em Área de Preservação Permanentes - APPs.

Carneiro *et al.* (2014), relacionaram um grupo de categorias a priori, as quais estão inseridas aspectos locais, morfológicos e de paisagem, em associação à sua habilidade de avaliar a concentração de clorofila-a em 21 reservatórios do Brasil. Em harmonia aos atuais estudos que apresentam a relevância dos prognosticadores paisagísticos, os pesquisadores

descobriram uma ascendência de elementos regionais na caracterização da concentração de clorofila-a e que o gerenciamento de origens de fósforo em reservatórios tropicais é tanto relevante quanto em ecossistemas temperados.

### **2.1.3 Efeitos Sedimentológicos causados pela formação de Reservatórios**

Atualmente, o Brasil possui 537 estações sedimentométricas sob o encargo da Agência Nacional de Águas - ANA, representando uma extensão média de uma estação a cada 17 mil km<sup>2</sup> (PISCOYA, 2014).

Um problema característico da criação de reservatório de UHE é o assoreamento devido a criação de um sistema lântico que proporciona processo de sedimentação. Os reservatórios podem sofrer danos sobre a sedimentação, qualidade da água, níveis freáticos, erosão em rios, na paisagem e na cultura (LIMA FILHO, 2018).

Em estudo realizado por Bandeira *et al.* (2017) mostra o evento de um processo de migração da desembocadura do rio São Francisco usando pesquisa com imagens de satélite, o estudo relaciona este processo como consequência das barragens construídas a imensidão do rio, até mesmo seu curso reduzido. Segundo o mesmo autor, o acúmulo dos sedimentos nestas barragens ocasiona uma deficiência na carga sólida que chega à desembocadura, que em grupo com as dinâmicas características do transporte costeiro de elementos, no qual poderia ser o motivo dessa erosão.

Piscoya *et al.* (2013) estudaram o fluxo de sedimentos no rio Paranapanema usando dados do sensor MODIS, analisando áreas a montante e a jusante da UHE Jurumirim. Esta pesquisa apresentou o mesmo padrão de reflectância que nas áreas analisadas da UHE Jurumirim, sendo encontrados os maiores valores nas áreas mais a montante deste reservatório, e os menores nas áreas do reservatório nas proximidades da barragem. Piscoya *et al.* (2014) pesquisaram a concentração de sedimentos em suspensão no Reservatório da Usina de Itaipu no rio Paraná utilizando dados do sensor MODIS, analisando trechos a montante e a jusante da barragem de Itaipu. Piscoya *et al.* (2017) estudaram o fluxo de sedimentos no Reservatório da UHE Sobradinho usando dados do Sensor MODIS, avaliando áreas a jusante e a montante da UHE Sobradinho. Para acrescentar a pesquisa, os estudos irão contribuir para a compreensão da análise de sedimentos dentro do reservatório da UHE Tucuruí.

## 2.2 Recursos Hídricos

### 2.2.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica tem particularização da ação hidrossedimentológica no qual é fundamental para a gestão adequada e para o uso dos recursos hídricos (PISCOYA, 2014).

Tem-se nas bacias o consecutivo crescimento da demanda hídrica, a fim de uso nos processos industriais, agricultura e consumo humano. A degradação causada pelo desmatamento de APPs, uso irregular da terra sem parâmetro ambiental resultando em assoreamento e erosão, estes mesmos problemas persistem embora os empenhos em enfrentá-los e atuam na qualidade e disponibilidade hídrica, criando conflitos entre os usuários destas bacias hidrográficas, situadas na área mais habitada (LIMA FILHO, 2018).

Para Gu *et al.* (2019) a área onde a bacia está inserida é um elemento fundamental. Wiegand *et al.* (2016) ainda conferiram o grau de suscetibilidade à eutrofização entre dois lagos tropicais, constituindo um de clima úmido situado em Cuba e o outro localizado no Brasil no semiárido. Os autores encontraram semelhanças entre os usos da terra nas duas bacias e também identificou que no período chuvoso a contribuição de nutrientes na bacia hidrográfica úmida foi elevada em relação ao da bacia hidrográfica do semiárida, o nível elevado do estado trófico da bacia semiárida admirou os pesquisadores, e o elemento que mais demonstrou esse fato foi o período de hospedagem da água. O alto nível de período de hospedagem na bacia hidrográfica semiárida necessitou-se tão às pequenas precipitações, em relação à alta evaporação da água acondicionada em reservatório seco.

A escolha em analisar a Bacia Hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29) que abrange a área do Lago de Tucuruí foi em virtude da importância econômica e sustentável que o lago tem para região, nesta área tem atividade de piscicultura, pecuária, agricultura familiar, reserva de desenvolvimento sustentável e área de proteção ambiental. Ao utilizar a delimitação da área por através de bacia hidrografia ajudará os gestores da área na tomada de decisão, em relação ao uso sustentável do local. O estudo do uso e ocupação da terra e suas associações com ecossistemas naturais possibilitam a realização de diagnóstico ambiental de bacia hidrográfica, identificando os fatores que alteram o meio ambiente e possivelmente causando degradação a área do entorno do Lago de Tucuruí. Em virtude disso foi escolhido bacia hidrográfica como instrumento para delimitar a área de estudo em relação ao uso e ocupação da terra, além do uso de técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas para o processo de monitoramento ambiental, essas

técnicas são capazes de realizar análises interativas abrangendo fatores bióticos, físicos e socioeconômicos nas relações de ocupação da terra na Amazônia.

### **2.2.2 Regulação e usos múltiplos da água**

O gerenciamento de recursos hídricos, acontece devido as pressões de variáveis que são elementos ativos de controle e gestão, e é exatamente sobre os usos do solo e das águas que se deve agir de modo a garantir a disponibilidade hídrica (LIMA FILHO, 2018). O mesmo autor relata que, a redução das fontes de poluição precisa ser resolvida de modo pontual pelos órgãos reguladores de conjunto para identificar, quantificar e sanar as causas das fontes de poluição difusa e dos elementos de sensibilidade à deterioração na bacia, literalmente ligados ao uso, ocupação e cobertura da terra (LIMA FILHO, 2018).

Visando a gestão dos recursos hídricos foi a Lei nº 9.433, descreve que a gestão de recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplos das águas. Deste modo, todos os setores que utilizam da água têm de forma igualitária o acesso aos recursos hídricos. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) possui uma exceção a essa norma, que aproveitar-se para ocasiões de escassez, em que as utilizações preferencialmente da água passam a ser o consumo humano e a dessedentação de animais.

As criações dos reservatórios artificiais das barragens foram para responder as carências de atividades humanas, tais como: irrigação, abastecimento de água, navegação, criação de peixes, recreação e produção hidrelétrica. Além de surgir como uma relevante peça no plano de minimização de impactos ambientais ocorridos pelos episódios de cheias e secas (KUWAJIMA, 2016). Para administrar essas estruturas de modo mais competente possível, atuações não estruturais devem colaborar expressivamente. Nessas atuações estão incluídos monitoramento hidrológico, ademais, previsão hidrológica, sistemas de alerta rápidos e implementação offline e online de estratégias de operação (KUWAJIMA, 2016).

Em relação ao monitoramento hidrológico, a ANA e ANEEL fizeram a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 3 de 10/08/2010, que descreve condições e os procedimentos para serem adotados pelas concessionárias e responsáveis de geração de energia hidrelétrica para que ocorra o monitoramento sedimentométrico e de qualidade da água interligado as aplicações hidrelétricas, para que isso ocorra faz-se necessário as estações hidrométricas.

### 2.2.3 Limnologia em Reservatório

Reservatórios e lagos armazenam parte desses recursos e satisfazem as necessidades humanas, desde água potável até recreação, e as exigências ambientais para suportar altos níveis de biodiversidade (KARAOUI *et al.*, 2018). O Reservatório é um recurso hídrico superficial em que é construído para alterar os regimes naturais de fluxo, no qual são as influências humanas mais expressivas no ciclo hidrológico (AKINDELE *et al.*, 2013). Embora vários tipos de regulamentos em termos de proteção da água tenham sido implementados há anos, os reservatórios têm sofrido uma pressão crescente devido ao desenvolvimento da economia (GU *et al.*, 2015).

A água doce tornou-se uma mercadoria escassa devido ao excesso de exploração e poluição da água. O aumento da população e suas necessidades levaram à deterioração da água superficial e subterrânea. Água e vida são as duas faces da mesma moeda (ALAKA, 2014). A qualidade da água é uma preocupação vital para a humanidade, pois está diretamente ligada ao bem-estar humano. A água é utilizada para fins domésticos, para aplicações industriais, fins agrícolas, bem como para a pesca no interior. (ALAKA, 2014).

As ações antrópicas no meio ambiente podem afetar serviços preciosos do ecossistema, compreendendo o fornecimento de água potável. Essas ações reduzem a qualidade da água, subindo os custos com tratamento de água potável (CUNHA *et al.*, 2016). As áreas de APP são fundamentais para estudos das condições ambientais de reservatórios, dado que essas refletem a química da água em níveis elevados de tempo do que medições instantâneas de amostras de qualidade hídrica (SOININEN e LUOTO, 2012).

A degradação da qualidade da água de reservatórios tem como umas das fundamentais analogias as modificações na comunidade fitoplanctônica (DEVERCELLI *et al.*, 2016). Os mesmos autores relatam o que torna as modificações no fitoplâncton determinísticas, em sua parte de correlação, são a espacialidade e fatores em microescala como transparência, condutividade, vegetação e nutrientes.

Com a poluição ambiental e a diminuição da disponibilidade de água se tornando um problema cada vez mais sério, a questão da qualidade e quantidade da água atraiu séria atenção do público e do governo (XIN *et al.*, 2015). Isso levou a uma necessidade crescente de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água de lagos e reservatórios. (WAGLE *et al.*, 2019). Os programas de monitoramento contínuo podem fornecer uma grande quantidade de registros, incluindo uma variedade de parâmetros com inter-relações e complexidades obscuras,

e não é uma tarefa fácil organizar, interpretar e obter informações significativas desses dados (ZHANG, 2009).

Estudo realizado por Loures-Marcionílio *et al.* (2016) em uma planície de inundação no Brasil, na área do lago foram encontradas consequências diretas dos elementos ambientais locais, nos quais esclareceram as concentrações de clorofila-a. Borges *et al.*, (2015), analisaram as causas dos elementos ambientais regionais e paisagísticos acerca da concentração de clorofila-a de córregos oligotróficos no Cerrado com vasta abundância de vegetação nativa restante. Acharam que somente os fatores regionais, como condutividade e turbidez foram relevantes para esclarecer a alteração da clorofila-a. No entanto, os mesmos autores concluíram que, a vegetação nativa na bacia hidrográfica encontrava-se bastante preservada, e retém a consequência direta da paisagem sobre a qualidade da água e os aspectos regionais como, parâmetros de qualidade de água independentes, que interferem de modo estatisticamente mais intensa nas concentrações de clorofila.

O monitoramento tradicional da qualidade da água comumente abrange pesquisas de barco *in situ*, no quais são caras e demoradas, essas medições *in situ* de amostras de água são coletadas e enviadas ao laboratório para teste de indicadores de qualidade da água (WAGLE *et al.*, 2019; GONZALEZ MARQUEZ *et al.*, 2018). Embora as medições de campo ou análises laboratoriais forneçam informações precisas para um tempo conhecido e locais limitados, o estudo é caro e incapaz de monitorar e avaliar a qualidade da água regional em períodos definidos quando vários locais de amostragem precisam ser selecionados para áreas muito grandes (WAGLE *et al.*, 2019).

A composição da água superficial pode depender de vários fatores, como topografia, precipitação, geologia, biologia, temperatura, uso da terra e ações antrópicas. O armazenamento intencional de águas superficiais tem muitos propósitos, como geração de energia hidrelétrica, abastecimento de irrigação através de canais; para evitar grandes danos de inundações a jusante, fins recreativos como passeios de barco, natação e outros (MOHAMMED *et al.*, 2015).

Estudo feito por Gunkel e Sobral (2013) avaliam medidas da potencialidade de re-oligotrofização no reservatório de Itaparica do sertão brasileiro, sobre os fundamentais meios de contaminação, como a exportação da bacia, o uso da terra na bacia hidrográfica, aquicultura no reservatório, mineralização de solos inundados e vegetação, e lixiviação dos sedimentos. A eutrofização do reservatório foi mensurada para elementos internos de fósforo como:

mineralização de solos inundados e vegetação, aquicultura em tanques-rede, e também externas como: agricultura e comunidades rurais (GUNKEL e SOBRAL, 2013).

#### 2.2.4 Estatística Aplicada a Hidrologia

A análise de regressão é uma técnica estatística usada para encontrar a relação entre a variável (WAGLE, 2019). Um grande número de estudos examinou bandas únicas, combinações de bandas incluindo relações logarítmicas, multiplicativas, aditivas e de bandas (KARAOUI *et al.*, 2018; WANG e YANG, 2019) apresentaram vários tipos de combinações de bandas para estimar principalmente a concentração de Chl-a em corpos d'água.

Estimar e mapear a concentração de Chl-a do Lago Phewa usando técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas. Portanto, imagens Landsat 8 são processadas, analisadas e feitas relações empíricas por regressão entre o parâmetro Chl-a e as informações espectrais estabelecidas (WAGLE, 2019). Logo após é realizado o cálculo do RMSE para validar o resultado com base nos dados *in situ* do ano analisado de um local fixo. As relações estimadas foram seguidas pelo cálculo do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores médios de refletância e os parâmetros de concentração de Chl-a. (WAGLE, 2019).

O modelo com o máximo  $R^2$  e um valor RMSE mínimo, ou seja, derivado como uma diferença entre os valores previstos e os valores de campo observados, indica o melhor modelo e, portanto, esse modelo específico é escolhido para a estimativa da concentração de Chl-a e concentração de sedimentos em suspensão (WAGLE, 2019; SOARES, 2012).

A pesquisa de Soares (2012) na estação hidrométrica de Manacapuru com extração das refletâncias de superfície das faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, foi realizada a correlação dos dados por meio do software Excel, utilizando variáveis de CSS e a refletância da superfície. O mesmo autor realizou análise de regressão linear para criar  $R^2$ , ele relata que este método estatístico modela a relação entre as duas variáveis, apresentando o grau de confiança da equação para modelo.

#### 2.2.5 Rios da Amazônia

Os rios da bacia amazônica mostram várias tonalidades de suas águas, como **rios de águas brancas** são rios de água turvas, rico em material particulado em suspensão, como rio Solimões, formam várzeas que são formadas pelos sedimentos aluviais provenientes dos Andes ou Pré-Andes; e nestes os lagos aparecem extensos igapós os quais se formam no período em

que a água inunda a mata ciliar. Os lagos funcionam para os rios como se fossem uma esponja, absorvendo sedimentos, sais minerais, produzindo plâncton e fitoplâncton, capim flutuante e matéria orgânica (SIOLI, 1984; SANTOS e RIBEIRO, 1988; CUNHA e PASCOALOTO, 2007). Já os **rios de águas claras** são rios de água transparentes em várias matrizes de verde, devido em parte às algas do tipo Cyanophyta, se originando em terrenos pré-cambrianos que drenam rochas cristalinas dos escudos das Guianas e do Brasil Central. Se caracterizam por uma litologia heterogênea, com pouca quantidade de material em suspensão, desta forma sendo mais pobres, como rio Tapajós. Os rios de água clara também não foram várzeas e sim praias, possuem poucos lagos e igapós, não formam capim flutuante e possuem pouca produção de matéria orgânica (SIOLI, 1984, SANTOS e RIBEIRO, 1988; CUNHA e PASCOALOTO, 2007). E os **rios de águas pretas** são rios de cor marrom-oliva até marrom-café devido a substâncias húmicas e fúlvicas dissolvidas, origem geológica está relacionada a sedimentos terciários e Pleistoceno. Os rios de água preta não formam várzeas e mas sim praias por não possuírem sedimentos em suspensão e a cor escura é devida a substâncias coloridas como matéria orgânica, material húmico; nos lagos e igapós não aparecem capim flutuante, como o rio Negro (SIOLI, 1984, SANTOS e RIBEIRO, 1988; CUNHA e PASCOALOTO, 2007). Pode-se dizer que na Amazônia, todo lago está basicamente a cargo do seu rio e todo rio, basicamente a cargo das várzeas, praias e igapós.

## **2.3 Sensoriamento Remoto**

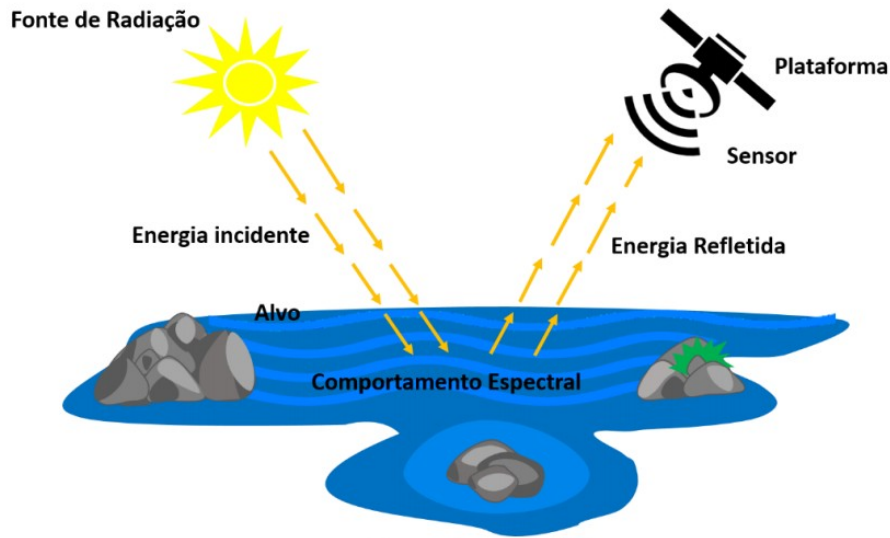
### **2.3.1 Estudos de Sensoriamento Remoto em Recursos Hídricos**

O uso do sensoriamento remoto para monitorar a qualidade da água tem aumentado nos últimos anos, especialmente em decorrência da diminuição dos custos e da probabilidade de cobertura de uma área mais extensas do que quando se empregam métodos convencionais de coleta e análise qualitativa da água (SILVA *et al.*, 2017). O mesmo autor ainda diz que, o uso do sensoriamento remoto possibilita avaliação segura dos dados oferecidos, portanto, esta tecnologia, apesar de ser bastante usada em estudos, ela necessita de normatizações para leituras dos dados, além de uma boa comunicação entre quem faz e quem usa as imagens.

A tecnologia de sensoriamento remoto aparece como instrumento opção para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos (Figura 2) por proporcionar baixo custo e maior acesso para fazer levantamentos técnicos, mapeamentos e monitoramentos para planejamento ambiental e urbano, assim como origem de dados a ser conectada às

convencionais, especialmente, com o aparecimento dos satélites meteorológicos, a começar de 1960, e 1970 quando iniciaram os satélites de recursos naturais (SILVA *et al.*, 2017). No entanto, a tecnologia de sensoriamento remoto oferece uma alternativa econômica e vantajosa sobre essas técnicas convencionais para monitorar a qualidade da água em grandes áreas em períodos de tempo definidos (WAGLE *et al.*, 2019).

Figura 2 - Monitoramento dos recursos hídricos através do sensoriamento remoto.



Os dados ofertados por meio de técnicas de sensoriamento remoto são de fácil acesso, estão disponíveis diversas imagens de resolução espacial moderada que são gratuitas como: Landsat, MODIS e Sentinel (BRESCIANI *et al.*, 2019). De acordo com o mesmo autor Bresciani *et al.*, as imagens utilizadas são adquiridas de sensores ópticos multiespectrais a bordo dos satélites em órbita polar Sentinel-2, Landsat-7 e Landsat-8 para monitorar a qualidade da água em reservatórios de água doce. Para Heege *et al.* (2004), o processamento inclui a aquisição ou coleta de dados de satélite, calibração radiométrica, subconjunto espacial da região de interesse, mascaramento terra-água-nuvem.

O satélite Landsat tem constituído uma fonte predominante de imagens de satélite para usos em monitoramento de lagos por causa de sua resolução espacial de 30m de tamanho de pixel do solo. Além de possuir arquivos históricos gratuitos e de quatro décadas de dados Landsat geram oportunidade para os pesquisadores usarem este produto para avaliar diversos eventos, como a concentração de Chl-a. Diversa pesquisas apresentam a possibilidade dos dados Landsat para uma avaliação propícia dos parâmetros de qualidade da água sobre o lago (LEDESMA *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2014). As imagens do satélite Landsat foram fundamentais

para a realização espaço- temporal de estudos em reservatórios feito por Wehholts e Cabral (2012) com ênfase em análise de variação da refletância na banda TM 3 (vermelho) relacionada a transparência da água. Em pesquisa realizada por Ayeni e Adesalu (2019) na Lagoa de Lagos detectou que as imagens de satélites comparada com coletas *in loco*, são apropriados para todos os níveis de clorofila uma concentração em qualquer ambiente aquático.

Há uma relação entre os aspectos locais, regionais e a qualidade dos corpos de água. Nesse sentido, o tema ambiental e integrado na pesquisa dos corpos hídricos, em níveis local e regional, usando-se, até mesmo, Sistemas de Informação Geográfica - SIG, no qual permite detectar parâmetros que tornam os recursos hídricos suscetíveis à degradação (LIMA FILHO, 2018). É importante identificar as áreas que são mais suscetíveis à erosão em bacias hidrográficas. Além disso, os sedimentos arrastados dos solos têm na maior parte das vezes nutrientes adsorvidos, ocasionando casos de eutrofização nos corpos hídricos, além disso um aspecto que colabora para a sua degradação (LIMA FILHO, 2018).

O estudo realizado por Karaoui *et al.* (2019) avaliou o reservatório Bin El Ouidane está localizado no centro da parte norte de Marrocos, apresentado resultados obtidos neste estudo, os dados de imagens de satélite podem ser usados com sucesso para mapear alguns parâmetros de qualidade da água de superfície com alta precisão no reservatório Bin El Ouidane. O mapeamento preciso dos parâmetros de qualidade da água pode ser explorado para se obter uma ideia geral da variação de suas concentrações devido aos seus altos impactos no estado da qualidade da água.

Estudo realizado por Wagle *et al.* (2019) no Lago Phewa localizado em Pokhara, no Nepal. É um lago de água doce seminatural alimentado por um riacho e regulado por uma barragem para formar um reservatório de água. O estudo conclui a eficácia dessas imagens de satélite para estabelecer um método de baixo custo para monitoramento de rotina de lagos. A observação de rotina da qualidade da água, ou seja, Chl-a sobre o lago usando sensoriamento remoto pode ser considerada por diferentes organizações como um método alternativo para levantamento de campo para registro e processamento de informações sobre a qualidade da água.

A pesquisa apresentada por Hua (2017) no rio Malaca na Malásia com o uso de sensoriamento remoto, demonstrou resultado satisfatório como uma ferramenta para auxiliar na detecção da magnitude da mudança que ocorreu no rio Malaca da bacia hidrográfica, em relação a qualidade da água do rio ao longo de 15 anos. As imagens de satélite contribuem para a

possível detecção de fontes poluentes como atividades agrícolas, residenciais, industriais, fossa séptica, estação de tratamento de esgoto, atividades de pecuária e de agricultura na bacia do rio Malaca. Os resultados desta pesquisa ofereceram uma solução eficaz para a gestão da qualidade da água quando grandes dados complexos de qualidade da água estão envolvidos, fornecendo informações úteis na identificação de fontes de poluição e no entendimento da qualidade da água do rio com informações de detecção de mudança, fornecendo referências ao gestor de políticas na gestão adequada da área de Uso do Solo.

Estudos realizados por Robert *et al.* (2016) mostraram que uma abordagem bem-sucedida para o monitoramento da qualidade da água pode ser realizada por meio de medidas que incluem medições *in situ*, de laboratório e de satélite. As técnicas de detecção *in situ* e remota são complementares e de modo geral suportam uma ampla gama de possibilidades para o monitoramento da qualidade da água, incluindo integração em modelos locais e regionais para previsão da qualidade da água (CEOS, 2017; WAGLE *et al.*, 2019).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

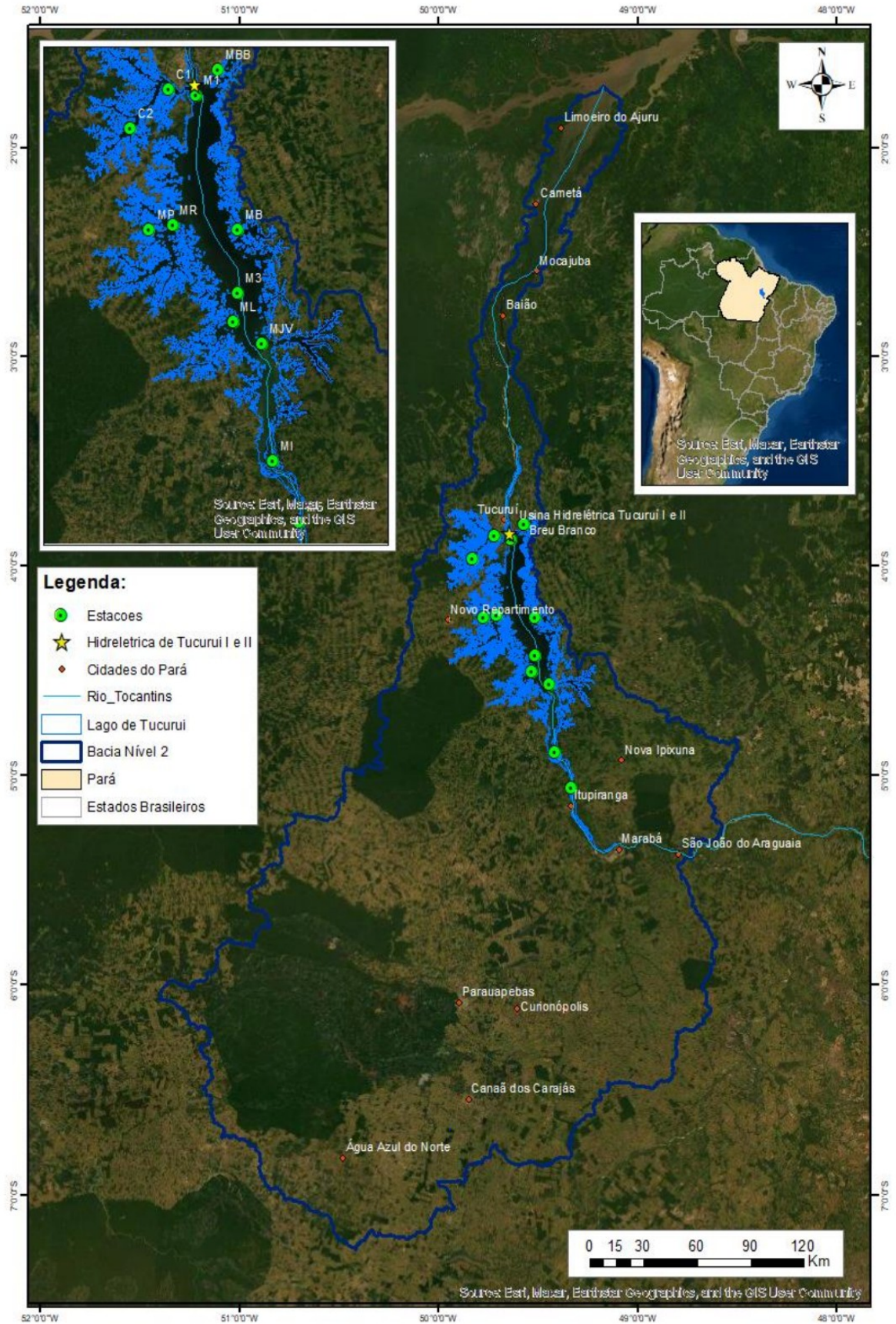
A área de estudo abrange o Lago do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, situada no estado do Pará com as coordenadas: latitude  $03^{\circ} 43' / 05^{\circ} 15' S$ , longitude  $49^{\circ} 12' / 50^{\circ} 00' W$  (RIBEIRO NETO, 2014). A construção da UHE Tucuruí se deu em duas etapas, a primeira etapa teve início em 1976 e entrou em operação oficialmente em 1984 com potência instalada de 4.000MW; e a segunda etapa com início em 1998, com a construção da segunda casa de força, a qual começou a operar em junho de 2006, permitindo a ampliação da potência instalada com mais 4.125MW. A energia gerada pela UHE Tucuruí é de 8.125 MW, em regime de operação por acumulação, com um reservatório de 2.875Km<sup>2</sup> (MME, 2018).

A UHE Tucuruí está localizada na Bacia do Tocantins, no curso principal do rio Tocantins, no estado do Pará, cerca de 7,5 km a montante da cidade de Tucuruí e a 300 km em linha reta da cidade de Belém (MME, 2018). A Hidrelétrica de Tucuruí está implantada na Bacia Tocantins-Araguaia, que cursa 2.500 km de Sul a Norte, desde suas nascentes no planalto central, até a foz, no estuário do Rio Amazonas. A vazão média da Bacia é estimada em 10.950 m<sup>3</sup>/s, provenientes de uma área de drenagem de 767 000 km<sup>2</sup>. O reservatório funciona com cota máxima de 74m, com vertedouro medindo 580m de comprimento, possuindo 23 comportas e uma capacidade de vertimento de até 110.000 m<sup>3</sup>/s de água. A barragem da usina, sobre a qual passa uma rodovia que integra o eixo da PA-263, tem uma extensão de 8.005m (ELETRONORTE, 2018). O período chuvoso na região compreende os meses de Dezembro a Maio e período seco compreende os meses de Junho a Novembro, com precipitação anual entre 2250 e 2500 mm, sendo que no mês de Março é mais chuvoso e no mês de Setembro é mais seco na região (FISCH *et al*, 1990).

A área de influência da Usina Hidrelétrica compreende os seguintes municípios, à montante da barragem da UHE Tucuruí: Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento e Tucuruí; e à jusante da barragem: Baião, Mocajuba, Igarapé Miri, Limoeiro do Ajuru e Cametá. Na região de localização destes municípios as principais atividades econômicas são o extrativismo vegetal e a pecuária (MME, 2018).

A área de estudo desta pesquisa foi delimitada por bacias hidrográficas de nível 2 em que abrange o reservatório da UHE Tucuruí e áreas de alguns municípios do Estado do Pará, conforme observado na Figura 3.

Figura 3 - Localização da Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pela Autora (2022)

### 3.1.1 Identificação e Localização das Estações de Amostragem dos Dados de Monitoramento da Qualidade da Água

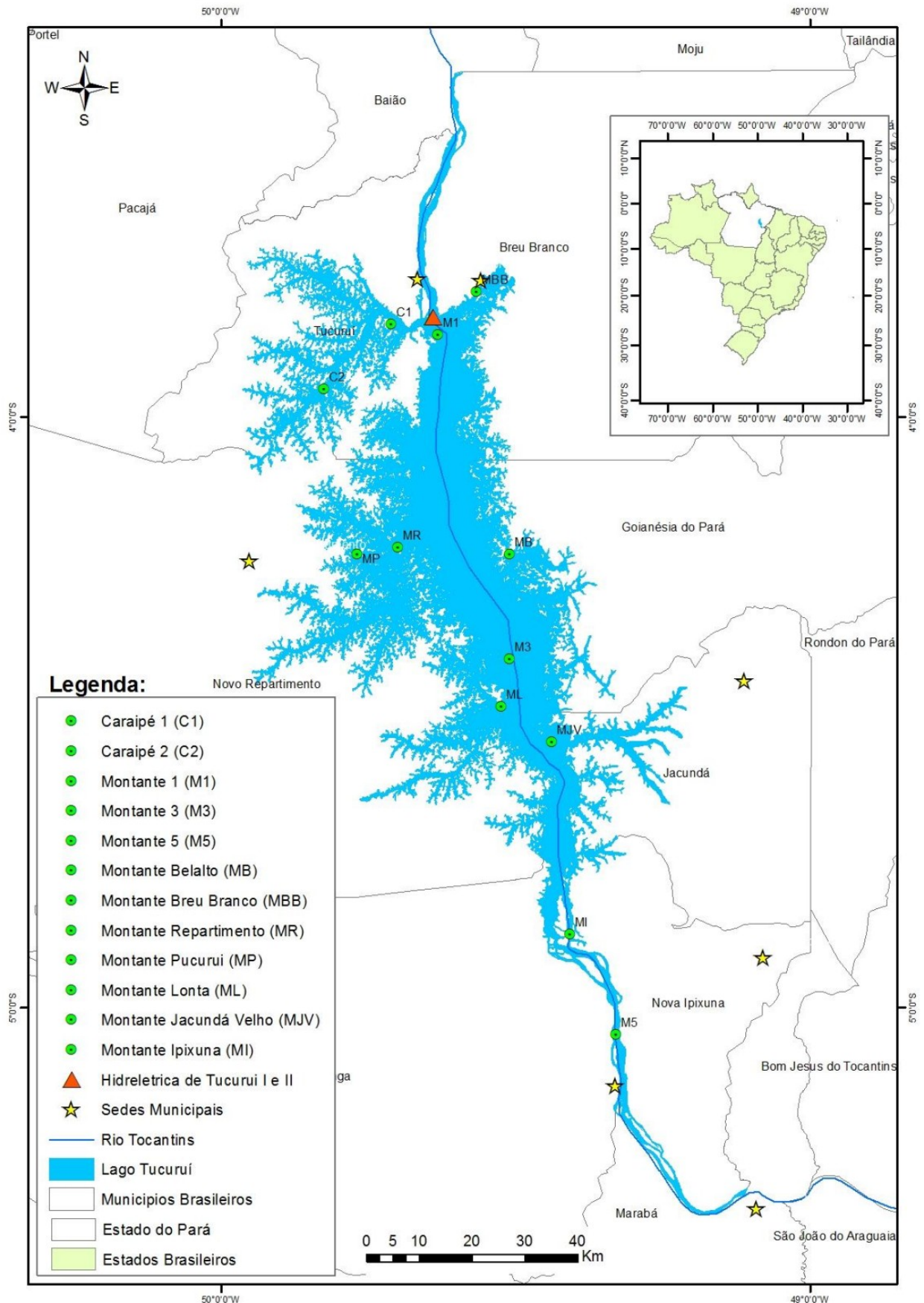
Os dados limnológicos de monitoramento da qualidade da água da área em estudo foram provenientes do programa de monitoramento realizado pela Eletronorte. Esses dados foram coletados trimestralmente, no período de 2003 a 2019, doze estações de amostragem foram instituídas neste programa de monitoramento, conforme a Tabela 1 e a Figura 4.

Tabela 1 - Estações de coleta amostras a montante da UHE Tucuruí.

ID	Descrição dos Locais de Coleta	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
C1	Caraipé 1	03°50'02.8"S	49°47'57.7"W
C2	Caraipé 2	03°57'12.1"S	49°49'31.1"W
M1	Montante 1	03°51'38.8"S	49°37'56'6"W
M3	Montante 3	04°24'38.5"S	49°30'37.8"W
M5	Montante 5	05°02'44.3"S	49°19'46.8"W
MB	Montante Belalto	04°13'57.2"S	49°30'37.8"W
MBB	Montante Breu Branco	03°47'17.6"S	49°34'01.4"W
MP	Montante Pucuruí	04°13'57.2"S	49°46'08.6"W
MR	Montante Repartimento	04°13'16.3"S	49°41'59.6"W
MI	Montante Ipixuna	04°52'35.2"S	49°24'31.2"W
MJV	Montante Jacundá Velho	04°33'00.5"S	49°26'20.6"W
ML	Montante Lontra	04°29'23.9"S	49°31'27.7"W

Fonte: Adaptado de ELETRONORTE (2020).

Figura 4 - Localização das Estações de amostragem a montante da UHE Tucuruí.



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Algumas estações de amostragem do reservatório de Tucuruí, foram descritas por Eletronorte (2019) que são:

- ❖ Caraipé 1 (C1) e Caraipé 2 (C2): situada a margem esquerda do reservatório da área conhecida como Região de Caraipé desde o ano de 2002, Reserva de Desenvolvimento Sustentável - RDS. Existe aproximadamente 5.000 residentes nessa região e é caracterizada pelo elevado grau de ação antrópica causada pelo desmatamento. As estações (C1) e (C2) estão situadas no canal da área de Caraipé, em período de cheia as estações ficam em profundidades de até 28m e 22m.
- ❖ Montante 1 (M1): situada a 2 km a montante da barragem, no canal original do rio Tocantins. A profundidade desta estação fica de até 70m, ou seja, 74m em relação ao mar, isto quando o reservatório está no máximo de operação.
- ❖ Montante 3 (M3): situada na área central do reservatório, a cerca de uma distância de 60 km direto do Reservatório de Tucuruí, situada no rio Tocantins, quando o reservatório está cheio chega o máximo de profundidade de até 52 m.
- ❖ Montante Belauto (MB): situado na margem direita do reservatório e é uma área de proteção total, área denominada Zona de Proteção da Vida Silvestre - ZPVS. Esta é uma vasta área com floresta primária, possui a máxima profundidade de 26 m.
- ❖ Montante Breu Branco (MBB): situada a margem direita do reservatório, em frente ao município de Breu Branco. Nesta área é despejada a maioria da drenagem superficial da cidade, essa estação tem a máxima profundidade de 32m.
- ❖ Montante Pucuruí (MP) e Montante Repartimento (MR): situada a margem esquerda do reservatório, na área da Reserva de Desenvolvimento Sustentável – RDS Pucuruí. As máximas profundidades das estações MP é de 20m e a MR de 32m, situadas no antigo gasoduto dos córregos Pucuruí e simultaneamente Pucuruizinho. Nesta área também possui um lugar para desembarque de peixes "*in natura*" denominado "Polo Pesqueiro" que segue para o município de Novo Repartimento.
- ❖ Montante Ipixuna (MI): situada na área central do reservatório, a cerca de 130 km direto do reservatório de Tucuruí, situada na calha do rio Tocantins. No período de cheia do reservatório, possui a profundidades de até 42 metros. A mesma apresenta-se em período de cheia como reservatório e já no período de seca apresenta-se como rio.

- ❖ Montante Jacundá Velho (MJV): situada a margem direita, onde havia o antigo núcleo urbano do município de Jacundá. Nessa área, tem dois locais de desembarque de peixe fresco, denominados como "Porto Novo" e "Porto da Colônia". Esta área possui elevada ação antrópica, com pequenos locais de vegetação nativa. A estação MJV está situada no antigo canal do rio Jacundá, em período de cheia do reservatório sua profundidade chega até 22 m.
- ❖ Montante Lontra (ML): situada a margem direita, próximo à Terra Indígena Parakanã, atualmente é a maior área com vegetação nativa na região do lago de Tucuruí, situada no antigo canal Bacuri, em período de cheia da represa a máxima profundidade é de 22m.

### **3.1.2 Aspectos Fisiográficos**

#### **3.1.2.1. Rio e bacia hidrográfica**

O rio Tocantins e seus tributários são classificados como rios de águas claras, pobres em nutrientes, com baixa concentração de íons e cargas de sedimentos (JUNK *et al*, 2020; SIOLI, 1985), e, juntamente com seu principal afluente, o Araguaia, constitui uma bacia própria, ora denominada Bacia do Tocantins-Araguaia. Nascido no planalto central brasileiro percorre grandes extensões recobertas por cerrados antes de penetrar em áreas de floresta amazônica densa, já no Estado do Pará, onde está situada a UHE Tucuruí (CMB, 2000).

#### **3.1.2.2 Geologia, solos e relevo**

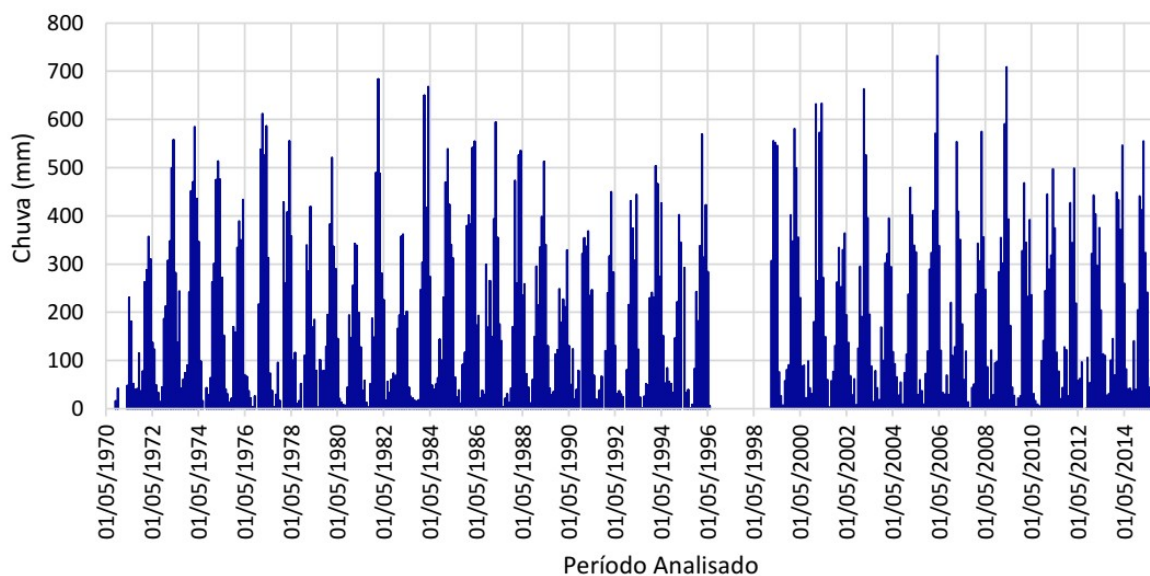
Toda sua bacia de drenagem está localizada inteiramente na província geológica da Amazônia Oriental e é caracterizada por dois grandes domínios geológicos: embasamento cristalino, constituído por rochas ígneas e meta-sedimentos e cobertura sedimentar, constituída por sedimentos que se depositaram durante os períodos mesozoico e cenozoico (terciário e quaternário). Os solos são ácidos e pobres em nutrientes na área da represa e a jusante. O relevo é muito suave na área da represa, com um desnível de apenas 11 metros entre a soleira da barragem e o nível do mar. As quedas mais importantes ocorrem nas cabeceiras dos rios formadores da bacia, ainda no Planalto Central Brasileiro (CMB, 2000).

### 3.1.2.3. Clima da região do reservatório

O clima da região do reservatório insere-se na categoria de equatorial superúmido, tipo Ami, da classificação de Köppen, no limite de transição para o tipo Aw. Esse tipo de clima é caracterizado por apresentar uma temperatura média mensal com mínima superior a 18°C. A média anual é de 26°C, com média máxima em torno de 32°C e mínima de 23°C, essa amplitude geralmente não ultrapassa os 5°C. A precipitação pluviométrica está regulada em cerca de 2.200 a 2.500 mm anuais (JURAS *et al.*, 2004, ALVARES *et al.*, 2013).

Possui duas estações bem definidas, com o período de janeiro a junho de abundante precipitação, enquanto a escassez de chuva é observada no período de julho a dezembro, refletindo no período de estiagem que ocorre entre setembro e outubro, e o período de águas altas, fevereiro e abril, como pode ser visto na Figura 5. Foram extraídos dados de chuvas da estação pluviométrica Tucuruí com o código 00349000, dados esses que são encontrados no site da ANA/SNIRH/HIDROWEB (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>), no período de 1996 a 1998 não havia dados no site da ANA. A umidade relativa é alta, apresentando oscilações entre a estação mais chuvosa e a seca, respectivamente, de 100% a 60%, com uma média real de 80% (FISCH *et al.*, 1990; CMB, 2000; JURAS *et al.*, 2004).

Figura 5 - Dados da estação pluviométrica Tucuruí (00349000), dados de chuva (mm) para 1970 a 2015.



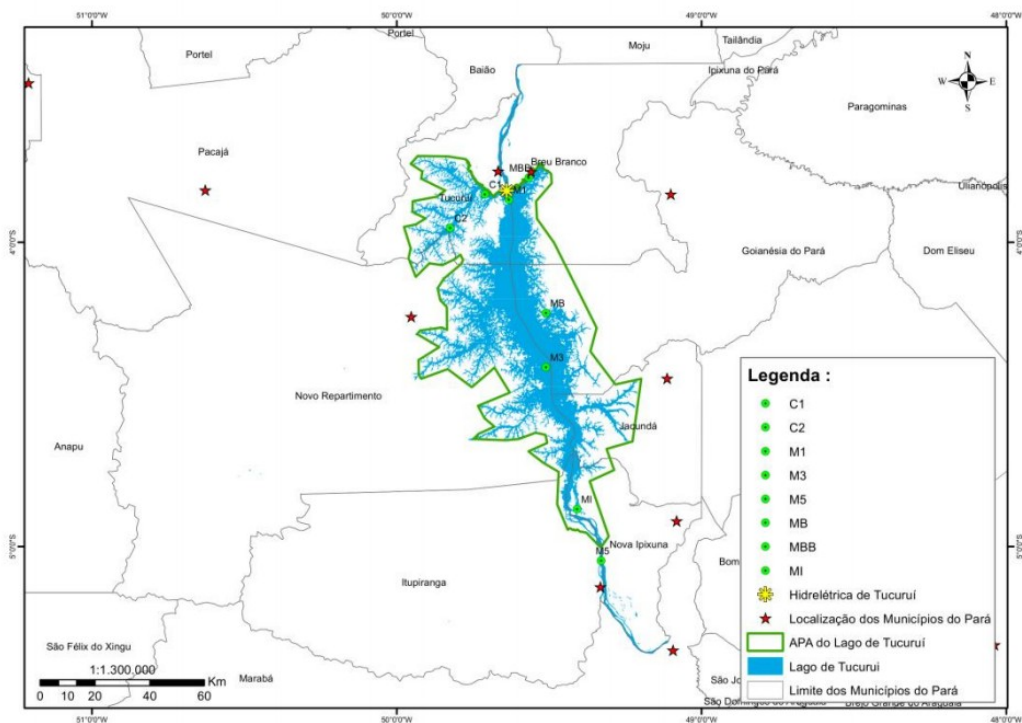
Fonte: Elaborado pela Autora com base dos dados da ANA–SNIRH/HIDROWEB (2022).

### 3.1.2.4. Área de Preservação Ambiental – APA

O reservatório da UHE de Tucuruí está inserido, em sua totalidade, em uma Área de Proteção Ambiental Estadual - APA do Lago de Tucuruí (ARAÚJO e ROCHA, 2008). Na APA

do Lago de Tucuruí está localizado a Estação a Montante (M1) que foi objeto de estudo para sedimentos, conforme mostra a Figura 6. Toda a área do reservatório da Usina Hidroelétrica Tucuruí forma a Área de Proteção Ambiental, a qual foi criada por lei Estadual nº 6.451/2002, como estratégia da parte do governo em ter um maior controle das áreas atingidas pela barragem construída no trecho do baixo rio Tocantins para produção da hidroeletricidade, assim como, melhor gerir os conflitos socioambientais que foram surgindo ao longo dos anos após a instalação da Usina Hidrelétrica Tucuruí, se caracterizando como o Mosaico do Lago de Tucuruí, formado pelas Unidades de Conservação, APA do Lago de Tucuruí, e possui 568.667 ha divididos em: RDS Alcobaça com superfície de 36.128,00 ha, e RDS Pucuruí-Ararão com 29.049,00 ha e ZPVS-3 e ZPVS-4 (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARÁ, 2002).

Figura 6 - Localização da APA do Lago de Tucuruí.



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

### 3.1.2.5 Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí

Operacionalmente, a UHE Tucuruí, atualmente, tem capacidade instalada de 8.370 MW. As obras da primeira casa de força – com 12 unidades geradoras de 350 MW, duas auxiliares de 22,5 MW e potência instalada de 4.245 MW - foram concluídas em dezembro de 1992. Em junho de 1998 foi iniciada a construção da segunda casa de força, com 11 unidades

geradoras de 375 MW e potência instalada total de 4.125 MW, concluída em abril de 2007. O reservatório opera na cota máxima normal de 74,00 metros. O vertedouro mede 580 metros de comprimento, possui vinte e três comportas e uma capacidade de vertimento de até 110.000 m<sup>3</sup>/s de água (ELETRONORTE, 2018). A profundidade média do reservatório é de 17,3 m e máxima de 75m, nas proximidades da barragem, e o tempo médio de residência da água é aproximadamente 51 dias (ELETRONORTE, 1988; JURAS *et al.*, 2004).

### 3.2 Softwares Utilizados

Para a organização dos dados das análises de sedimentos *in loco* foi utilizado planilha do Microsoft Excel (2016), para o processamento digital das imagens foram utilizados os seguintes softwares comercial (ENVI) e livre (QGIS).

No processamento de imagens orbitais para análises de sedimentos, e estudo de uso e cobertura da terra foram utilizados softwares já utilizados por alguns autores como o ArcGIS (HUA, 2017; ERENA *et al.*, 2019; ADIAT *et al.*, 2020), QGIS (TEBALDI, 2015; BEZERRA, 2019), ENVI (TEBALDI, 2015; TONIOLO, 2016; HUA, 2017; PEIXOTO, 2018; ERENA *et al.*, 2019; ADIAT *et al.*, 2020). Os mapas da pesquisa foram gerados no software ArcGIS 10.8 (LAW; COLLINS, 2013). A manipulação das imagens e os processos voltados para análise de dados matriciais foram executados pelo software ENVI 5.0 (CANTY, 2014, PISCOYA *et al.*, 2017, SOARES, 2012).

Logo após realizado o download das imagens, foi realizado a calibração radiométrica, transformando de ND (números digitais) para radiância e verificou-se que as imagens do sensor MODIS não precisam de correção atmosférica para valores em reflectância, todos os processamentos foram realizados. Foram extraídos os valores de reflectância dos pixels da imagem de acordo com os pontos que foram analisados que correspondendo aos dados georreferenciados de campo da Eletronorte.

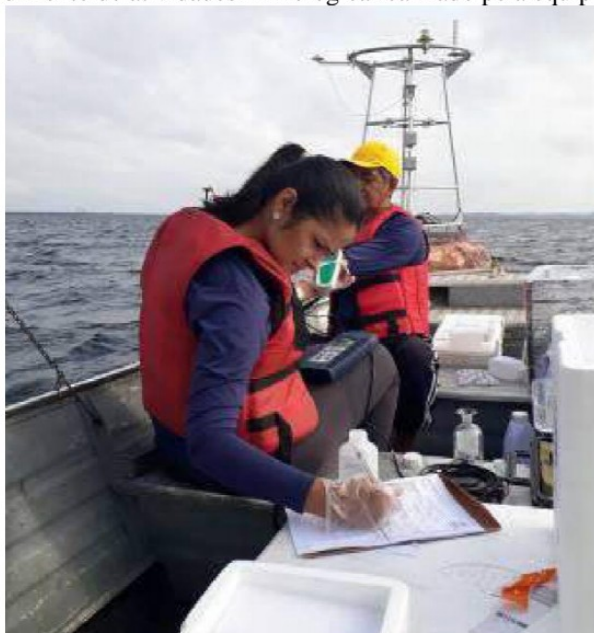
As coordenadas das estações dos pontos de coleta são fixas, mas neste trabalho foram verificados alguns destes pontos com a utilização de um GPS de navegação GARMIN modelo GPSmap 60CSx, conforme procedimentos adotados por alguns autores como Tebaldi (2015), Toniolo (2016), Bezerra (2019), depois os dados foram inseridos no software QGIS transformando em shapefiles. Foi adotado como sistema de referência o Geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), na projeção UTM (Universal Transversa de Mercator).

### 3.3 Coleta de Dados

#### 3.3.1 Dados de Qualidade da Água

Os dados de campo de análise de água foram realizados pelo Programa de Limnologia, Qualidade da Água e Macrófitas Aquáticas da Usina Hidrelétrica UHE Tucuruí. Os dados de campo constituem-se, portanto, em dados secundários, cedidos pela ELETRONORTE. A campanha de monitoramento foi realizada por empresa terceirizada (Brasilencorp) contratada pela Eletronorte, em que se utilizou embarcação adequada que transportou os técnicos responsáveis pela coleta limnológica juntamente com o material básico para amostragem (Figura 7).

Figura 7 - Procedimento de atividades limnológica realizado pela equipe de amostragem.



Fonte: Brasilencorp (2019) e Eletronorte (2020).

Os métodos de armazenamento, preservação, prazo para análises e tipo de frascos que foram utilizados para as coletas de acordo com as orientações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras – CETESB (2011) e da NBR9898 “Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores” (ABNT, 1987).

Em campo, são mensurados os valores dos parâmetros físico-químicos do sedimento e de superfície: temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), pH, transparência (m), turbidez (UNT), condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ), com auxílio de Sonda multiparâmetro (Hydrolab 5S), e para mensurar os valores da transparência da água (m) utilizou-se o disco de Secchi. Além destes, foram obtidos sólidos suspensos (mg/L). Para analisar os parâmetros inseridos no Programa de monitoramento limnológico e de qualidade da água no Reservatório de Tucuruí e

rio Tocantins, utilizou com o método analítico, segundo APHA *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* (APHA, 2012), em que estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água que serão monitorados e métodos de análise.

Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos	Método / Código Standard Methods (2012).	Equipamentos
Temperatura da água	Sonda termométrica digital (Cód:2550 B)	Sonda termométrica digital
Transparência da água	Aferição de desaparecimento de campo visual	Disco de Secchi
Potencial hidrogeniônico - pH	Medição in situ – Potenciometria (Cód: 4500-H B).	pHmetro
Condutividade elétrica	Medição in situ – Condutivimetria (Cód: 2510 A)	Condutímetro
Turbidez	Nefelométrico (Cód: 2510 A)	Turbidímetro
Cor aparente	Colorimétrico (Cód: 2120 C)	Analizador de cor da água
Sólidos totais em suspensão (STS)	Gravimétrico (Cód: 2540 D)	Sistema de filtração/ estufa/balança
Sólidos totais dissolvidos (STD)	Gravimétrico (Cód: 2540 C)	Sistema de filtração/ estufa/balança
Clorofila a	Método Tricromático, Acetona 90% (Cód: 10200 H).	Espectrofotômetro

Fonte: Autora (2022).

Ainda em campo, e paralelo ao procedimento de coleta das amostras, foram aferidos determinações limnológicas *in situ* dos parâmetros transparência da água (com o auxílio de um disco de Secchi), temperatura da água, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico – pH (Medidor Multiparâmetro, Modelo SensoDirect 150, marca Lovibond).

O agrupamento de dados das variáveis de qualidade de água analisadas, constituído pelas eventualidades de amostragem em cada uma da estação de monitoramento, foi instituído em planilhas eletrônicas no software Microsoft Excel (2016) para organizar e para o pré-tratamento dos dados, com a finalidade de buscar possíveis erros de digitação ou defeitos nas sequências dos dados. Em seguida com a consolidação do banco de dados, a variável escolhida para a presente pesquisa foi concentração de sólidos em suspensão CSS ( $\text{mg L}^{-1}$ ), para verificar a avaliação dos dados de monitoramento de sedimentos na estação M1. Os dados são fornecidos pela Eletronorte para os anos analisados, foram coletados e suas respectivas análises laboratoriais.

### 3.3.2 Dados de Sensoriamento Remoto

Para este estudo foram coletados os dados vetoriais utilizados estão no formato Shapefiles, sendo: da área de estudo, limite da área da hidrelétrica, hidrografia e limite do Lago

da UHE Tucuruí, bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29), tais dados estão disponibilizados por Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2022), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022) e Ministério do Meio Ambiente - MMA (2022).

Com os dados limnológicos de 2004 até 2018, foi realizada a fase de análise desses dados, assim como a definição de quais satélites poderiam ser utilizados. Optou-se pelos dados provenientes do MODIS pelo fácil acesso aos dados e qualidade das imagens. Definiu-se um intervalo de tempo de no máximo de 2 dias entre a data do campo (Eletronorte) e a data da cena (MODO9A1 e MODO9Q1), a descrição dos sensores estão descritos na Tabela 3.

Os dados raster, imagens de satélite para a realização desta pesquisa tanto de análise de monitoramento de concentração de sedimentos em suspensão como análise de uso e ocupação da terra foi realizada por meio dos satélites da família Landsat 5 e 8 e MODIS, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Sensores dos satélites utilizados nesta pesquisa.

Satélite - Sensor	Ano Analisado	Resolução Espacial
LANDSAT 5 TM	1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010	30m
LANDSAT 8 OLI	2015 e 2020	30m
MODIS	2004 a 2022	250 e 500m

Fonte: Autora (2022).

Para a seleção das imagens buscou-se adquirir as que apresentassem menor presença de nuvens, e que as datas fossem o mais próximo possível de ambos os satélites estudados. As cenas do Landsat 5 e 8 foram processadas pelo MapBiomas e hospedada no site do Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), e em seguida foi realizada correção geométrica e atmosférica no sistema de projeção cartográfica UTM/WGS84 (VERMOTE *et al.*, 2016). E imagens MODIS foram disponibilizados pelo site do Earth Data Search (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>).

Entre as principais características do satélite Landsat 5 e sensor TM utilizado, destacam-se a sua resolução espacial que varia de 30 a 120m; resolução radiométrica de 8 bits e resolução temporal de 16 dias. O sensor OLI do Landsat 8 possui a resolução espacial que varia de 15 a 30m; com a resolução radiométrica de 12 bits e também com a resolução temporal

de 16 dias. Na Tabela 4 são apresentadas as bandas espectrais dos satélites Landsat 5 e 8, com seus respectivos intervalos de comprimento de onda e suas respectivas resoluções espaciais.

Tabela 4 - Características dos satélites Landsat 5, 7 e 8.

F	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
L A N D S A T 5	TM (Thematic Mapper)	B1 Azul	0,45 - 0,52 $\mu$ m	30m
		B2 Verde	0,52 - 0,60 $\mu$ m	
		B3 Vermelho	0,63 - 0,69 $\mu$ m	
		B4 Infravermelho Próximo	0,76 - 0,90 $\mu$ m	
		B5 Infravermelho Médio	1,55 - 1,75 $\mu$ m	120m
		B6 Infravermelho Termal	10,4 - 12,5 $\mu$ m	30m
		B7 Infravermelho Médio	2,08 - 2,35 $\mu$ m	
L A N D S A T 8	OLI - (Operational Land Imager)	B1 Costal	0,433 - 0,453 $\mu$ m	30m
		B2 Azul	0,450 - 0,515 $\mu$ m	
		B3 Verde	0,525 - 0,600 $\mu$ m	
		B4 Vermelho	0,630 - 0,680 $\mu$ m	
		B5 Infravermelho Próximo	0,845 - 0,885 $\mu$ m	
		B6 Infravermelho Médio	1,560 - 1,660 $\mu$ m	
		B7 Infravermelho Médio	2,100 - 2,300 $\mu$ m	
		B8 Pancromática	0,500 - 0,680 $\mu$ m	15m
		B9 Cirrus	0,360 - 1,360 $\mu$ m	30m
	TIR - (Thermal Infrared Sensor)	B10 LWIR - 1	10,30 - 11,30 $\mu$ m	100m
		B11 LWIR - 2	11,50 - 12,50 $\mu$ m	

Fonte: Elaborada pela Autora com base no site da USGS EXPLORE (2022).

Dados do MODIS pode ser visto na Tabela 5, apresentando a faixa espectral resolução espacial e temporal e demais características, conforme visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Características dos satélite Modis.

Faixa Espectral	MODIS
Azul	0,459 – 0,479 $\mu$ m
Verde	0,545 – 0,565 $\mu$ m
Vermelho	<b>0,620 – 0,670<math>\mu</math>m</b>
Infravermelho Próximo	<b>0,841 – 0,876<math>\mu</math>m</b>
Infravermelho Médio	1,230 – 1,250 $\mu$ m
Infravermelho Médio	1,628 – 1,652 $\mu$ m
Infravermelho Médio	2,105 – 2,155 $\mu$ m
Resolução Espacial	<b>250, 500 e 1000m</b>
Resolução Temporal	1-2 dias

Fonte: Elaborada pela Autora com base no site da NASA (2022).

Foi realizada pesquisa para embasamento teórico sobre o tema: análise do uso e ocupação da terra do entorno do Lago, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, efeitos de

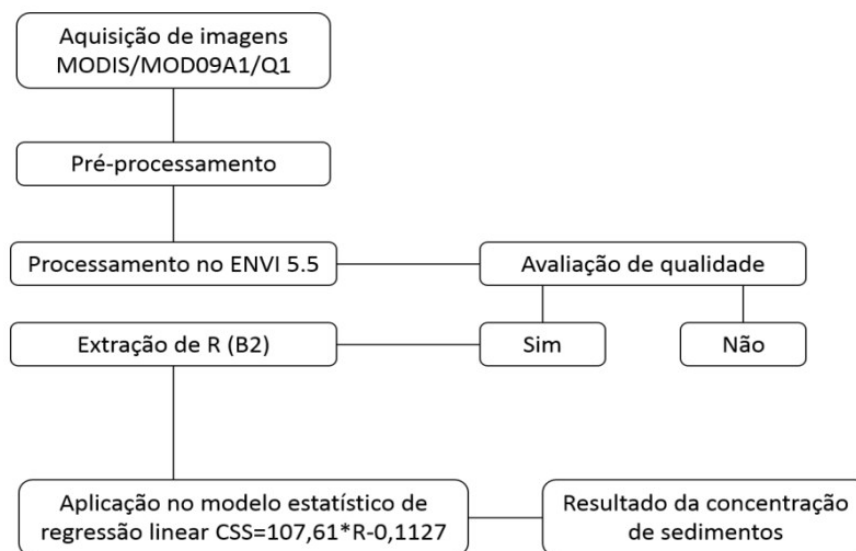
desmatamento na região em estudo, por meio de acervo analógico e digital, disponível na literatura, através de livros artigos, dissertações, teses e publicações em revistas especializadas.

### 3.4 Processamento Digital de Imagens

#### 3.4.1 Análises de Sedimentos em Suspensão utilizando dados do sensor MODIS

Para a realização desta pesquisa, o procedimento metodológico adotado na análise de sedimentos por meio de sensoriamento remoto deu-se conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Procedimentos da pesquisa de análise de sedimentos com sensoriamento remoto.



Fonte: Adaptado Soares (2012).

Para a realização dessa pesquisa foram utilizadas imagens do sensor MODIS a bordo dos satélites TERRA, em específico os produtos compostos de reflectância da superfície (Nível 3) MOD09, fornecidas gratuitamente pela NASA. O período analisado foi de 2004 a 2016. As imagens MOD09Q1 possuem resolução espacial de 250 m e foram utilizadas para analisar a reflectância das bandas radiométricas (1-vermelho e 2- infravermelho). Para extração das informações sobre a qualidade do processamento foram usadas as imagens MOD09A1 que possuem 500 metros de resolução. Este mesmo sensor foi utilizado em estudos realizados em UHE por Piscoya *et al.* (2013, 2014 e 2017).

A aquisição dos dados de reflectância de superfície e das bandas de qualidade, deu-se pela seleção das imagens do sensor MODIS/ produto MOD09 que se encontram hospedadas no site da NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço - *National Aeronautics and Space Administration*), site: <https://search.earthdata.nasa.gov/search>. No portal as imagens são disponibilizadas em formato HDF (*Hierarchical Data Format*) e projeção SIN (Sinusoidal).

Através do Software QGIS as cenas foram convertidas para o formato GEOTIFF e reprojetadas projeção Lat/Long e Datum WGS-84 para estudo com sedimentos e SIRGAS 2000 para estudo de uso e ocupação da terra. Essa uniformidade, entre as imagens e os pontos da grade geoespacializada se faz necessário para se evitar os erros de deslocamento entre os pixels das imagens de reflectância de superfície e os pontos geoespacializados.

As fases de pré-processamento e processamento foram realizadas no software *Environment for Visualizing Images* (ENVI) versão 5.5, onde foram analisadas as bandas B2 (infravermelho próximo) e a de qualidade *State Flag*. Segue-se o mesmo padrão de ND (níveis de cinza) de 24, 88, 152 e 216 sugeridos por Soares (2012). Que determinam os dados de reflectância de superfície com melhores qualidades, baseado na tabela (Tabela 6) de análise criada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Para a realização das análises, foi selecionada uma imagem por ano, sendo preteridas aquelas que apresentassem qualquer tipo de imperfeição ou fator que prejudicasse a comparabilidade dos períodos (nuvens, imagens borradas, imagens com falhas, etc.).

Tabela 6 - Tabela de avaliação da qualidade dos dados de reflectância de superfície.

Nº Bit	Parâmetro	Bit	Reflectância de superfície 500m
15	Algoritmo interno de neve	1	
		0	
14	BRDF correção realizada	1	
		0	
13	Pixel adjacente a nuvem	1	
		0	
12	MOD35 neve / gelo	1	
		0	
11	Algoritmo interno de fogo	1	
		0	
10	Algoritmo interno de nuvem	1	
		0	Nenhuma nuvem
8 até 9	Cirrus detectado	0	Não
		1	Pequenas
		10	Média
		11	Alta
6 até 7	Quantidade de aerossóis	0	Climatizada
		1	Baixa
		10	Média
		11	Alta
3 até 5	Terra pavilhão de água	0	Águas rasas
		1	Terra
		10	Litoral do oceano e lago
		11	Águas interiores superficiais
		100	Água efêmera
		101	Águas profundas no interior
		110	Mar continental / moderada

		111	Oceano profundo
2	Sombra de nuvem	1	Sim
		0	Não
0 - 1	Nuvem	0	Claro
		1	Nublado
		10	Mistas
		11	Não definido, assumiu clara

Fonte: Adaptado Soares (2012).

O modelo estatístico foi obtido através de Regressão Linear por Mínimo Quadrado e possui coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e intervalo de confiança. Para a determinação de Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS) através do modelo linear, consistiu-se na verificação das médias mensais de ND, transformadas em número binário (0 e 1) para controle de qualidade dos pixels e após sua conformidade, convertidas em reflectância de superfície para que fossem e aplicadas a equação de regressão linear.

A seguir apresenta-se Tabela 7, o período analisado e os dados referentes a cada imagem. Vale ressaltar que foram analisadas 148 bandas (MOD09A1 = State, Vzen, e MOD09Q1 = B1 e B2), totalizando 37 períodos de 2004 a 2022

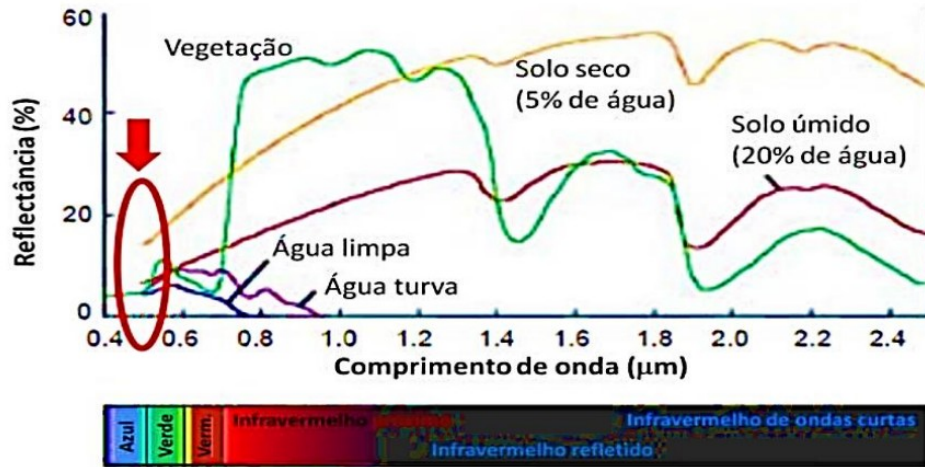
Tabela 7 - Dados das imagens do MODIS.

Data - Ano/Imagem	Resolução Espacial	Satélite	Bandas - RGB
04/05/2004 - 04/08/2004	250 m e 500m	MODIS	MOD09A1 (STATE, VZEN) e MOD09Q1 (B1 e B2)
04/05/2005 - 04/08/2005			
04/05/2006 - 04/08/2006			
04/05/2007 - 04/08/2007			
03/05/2008 - 03/08/2008			
04/05/2009 - 04/08/2009			
03/05/2010 - 03/08/2010			
03/05/2011 - 03/08/2011			
03/05/2012 - 03/08/2012			
03/05/2013 - 03/08/2013			
04/05/2014 - 04/08/2014			
03/05/2015 - 03/08/2015			
03/05/2016 - 03/08/2016			
04/05/2017 - 04/05/2017			
04/05/2018 - 04/05/2018			
04/05/2019 - 04/05/2019			
03/05/2020 - 03/08/2020			
03/05/2021 - 03/08/2021			
03/05/2022			

Fonte: Autora (2022).

Na Figura 8 encontra-se representado o comportamento espectral, com base disponíveis na série Landsat, dos seguintes alvos: água limpa, água turva, vegetação, solo seco e solo úmido.

Figura 9 - Comportamento espectral de alvos em relação ao espectro eletromagnético nas faixas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas.



Fonte: Jiang (2013).

Para obter maiores dados de qualidade foi feito um polígono de 4 km, abrangendo a porção de água que passa pela barragem da UHE Tucuruí. Para esse estudo foi escolhido a Estação M1, por ficar situada em local estratégico próximo da barragem e por ter dados mensais (Figura 10).

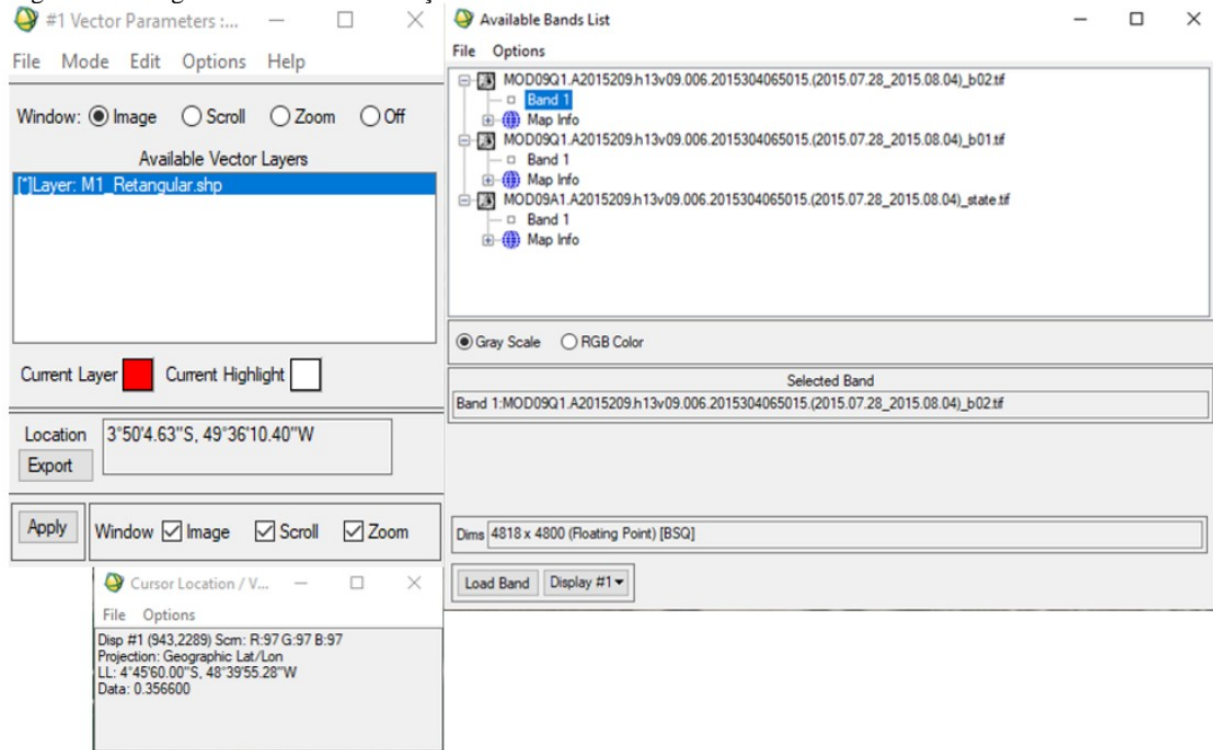
Figura 10 - Polígono da área analisada em que fica localizado o polígono de 4 km.



Fonte: Autora (2022).

Os pontos coletados em campo serão transferidos para as imagens. Desta forma, cada ponto coletado em campo coincide com um pixel, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Programa ENVI. Identificação de valores de nível de cinza.

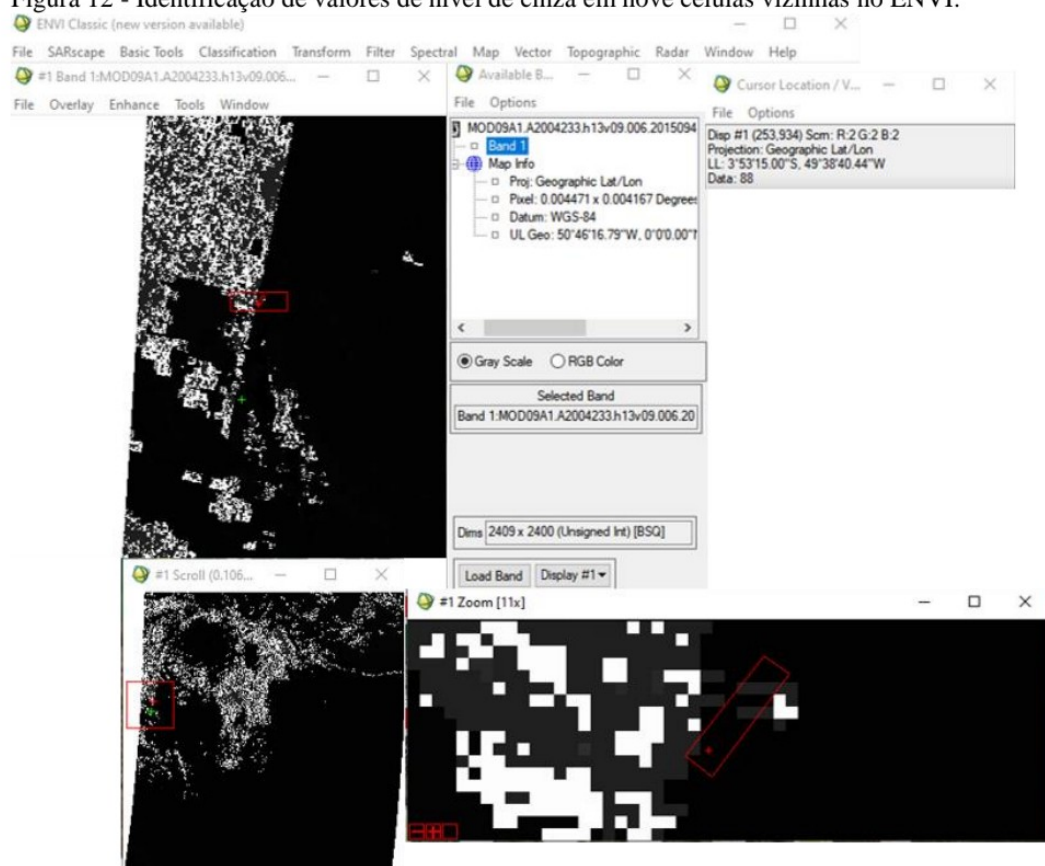


Fonte: Autora (2022).

Logo em seguida, foi retirado das imagens o valor de cinza de cada pixel, equivalente ao ponto amostral que foi coletado em campo, cada tonalidade de cinza possui um índice numérico. Com o objetivo de reduzir os erros de precisão, foram retirados os valores de tons de cinza nos 8 pixels vizinhos (TEBALDI, 2015; TONIOLO, 2016; WATANABE *et al*, 2018; BEZERRA, 2019), chegando a um total de uma área de 4km (Figura 10). Este processo impossibilitou a concentração de informações, relacionadas aos tons de cinza em um único pixel, diminuindo os erros, dos padrões de qualidade dos dados analisados, entre pixels vizinhos.

Para os valores de níveis de cinza retirados dos 9 pixels, foi extraído a média aritmética, obtendo um único valor que foi usado na correlação com os padrões de qualidade da água analisados. Essa aplicação foi utilizada nas 4 bandas (MODIS) das imagens do Lago. O M1 encontra-se localizado na figura dentro do polígono, marcado com um x vermelho, conforme a Figura 12.

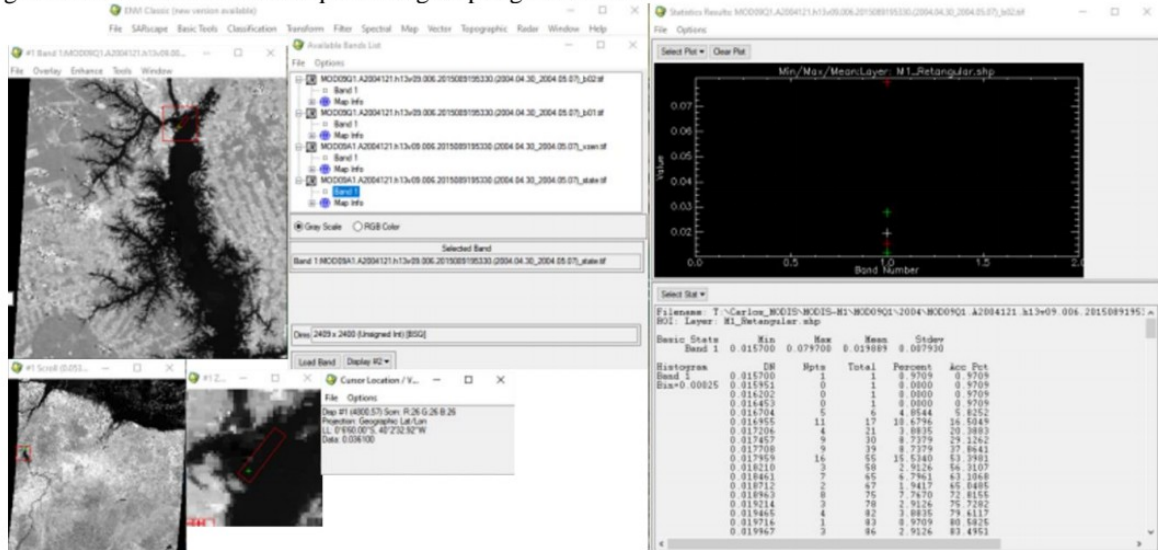
Figura 12 - Identificação de valores de nível de cinza em nove células vizinhas no ENVI.



Fonte: Autora (2022).

Logo após obter os valores de níveis de cinza das imagens, foi realizada a estatística dos ND que compõem o shapefiles (Figura 13), em seguida os dados foram comparados com os valores coletados em campo. Nesta etapa os dados foram processados no Excel versão 2016, foi construído gráfico com os dados tabulados. Os gráficos criados a partir dos dados expressam a correlação entre dados das imagens do sensor MODIS, ou seja, nível de cinza e os dados de campo (concentração de sedimentos suspensos - CSS). E com o resultado destes dados foi trabalhado em um método de interpretação. Os pontos coletados em campo foram transferidos para as imagens. Desta forma, cada ponto coletado em campo coincide com um pixel. Conseqüentemente, se deu o processamento digital de imagens para identificar valores de cada pixel, usando técnicas de sensoriamento remoto para encontrar os valores comparativos e obter os resultados satisfatórios.

Figura 13 - Estatística dos ND que abrange o polígono de 4km.

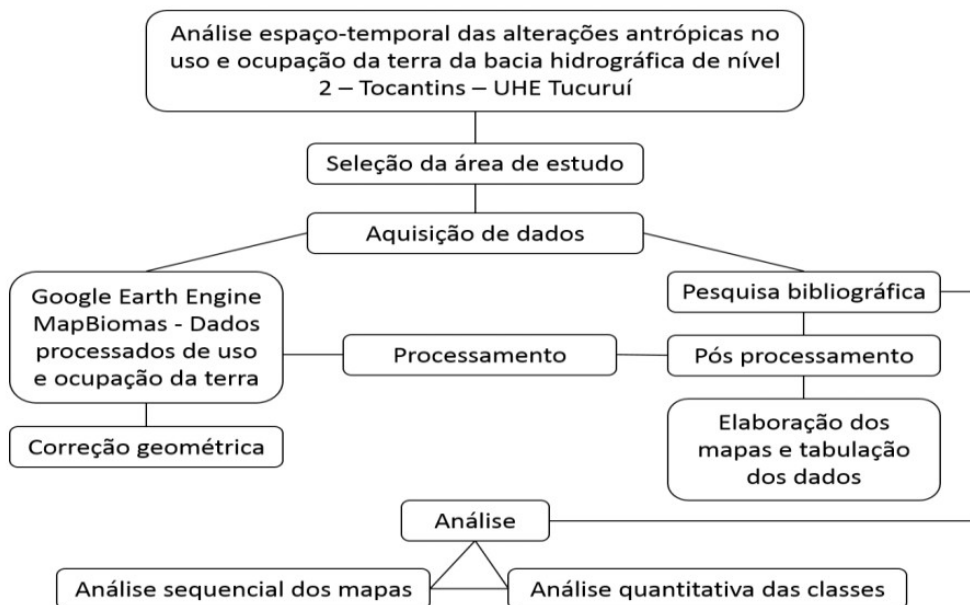


Fonte: Autora (2022).

### 3.4.3 Classificação do uso e ocupação da terra da área ao entorno do lago da UHE Tucuruí

A Figura 14 apresenta as etapas metodológicas dos procedimentos adotados na análise temporal do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29), destacando as fases de pré-processamento (correção geométrica, projeção), processamento (as imagens foram adquiridas classificadas, em seguida foi realizada recorte de imagens e cálculo de área), pós-processamento (elaboração dos mapas e tabulação dos dados) e análise quantitativa e dos mapas.

Figura 14 - Procedimentos da pesquisa de análise espaço temporal ao entorno da UHE Tucuruí.



Fonte: Autora (2022).

As imagens classificadas do uso e cobertura da terra bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29) foi realizada, de forma a se localizar as maiores classes com grande capacidade de ações antrópicas. Os dados processados do MapBiomas estão hospedado no *Google Earth Engine* (<https://earthengine.google.com/>). Foram utilizadas imagens do Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI com resolução de 30 metros ambas as imagens, dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020. A Tabela 8 será apresentada logo em seguida, com os dados referentes a cada imagem:

Tabela 8 - Dados das imagens dos satélites Landsat 5 e 8.

<b>Mês - Ano/Imagem</b>	<b>Resolução Espacial</b>	<b>Satélite</b>	<b>Composição RGB</b>
20/07/1985	30 metros	Landsat 5	(5, 4, 3)
20/07/1990	30 metros	Landsat 5	(5, 4, 3)
31/05/1995	30 metros	Landsat 5	(5, 4, 3)
31/05/2000	30 metros	Landsat 5	(5, 4, 3)
13/06/2005	30 metros	Landsat 5	(5, 4, 3)
29/07/2010	30 metros	Landsat 5	(5, 4, 3)
27/07/2015	30 metros	Landsat 8	(6, 5, 4)
17/08/2020	30 metros	Landsat 8	(6, 5, 4)

Fonte: Autora (2022).

Nas imagens processadas do LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI, passaram por correções geométricas, foram reprojeta e realizado o cálculo de área da bacia hidrográfica, após esse procedimento, foi realizado o recorte da área de estudo. Este processo foi aplicado nos softwares QGIS e ArcGIS, utilizado por Vasconcellos *et al* (2013) e Junior (2015) em seus estudos.

É de grande relevância ir em campo para validar dados e entender a dinâmica da área em estudo, para tanto foi necessário ir em campo nessa pesquisa, conforme a Tabela 17. Foram dois dias, um em áreas ao entorno do reservatório para verificar a existência de piscicultura na região do lago, em que certificou-se que os tanques existentes em terra não possuem nenhum tipo de tratamento e isso contribui para a contaminação da água e formam proliferação de algas com clorofila, fitoplâncton e outros.

### 3.5 Validação dos Dados - Análise Estatística

#### 3.5.1 RMSE e R<sup>2</sup> para o MODIS

O comportamento das análises será avaliado as seguintes métricas estatísticas: RMSE (Raiz do Erro Médio Quadrático) – equação 1 e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) – equação 2. Suas respectivas equações são apresentadas abaixo:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(y'_i - y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\Sigma(y_i - y'_i)^2}{\Sigma(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (2)$$

Onde  $y_i$  representa o valor observado,  $y'_i$  o valor predito,  $\bar{y}_i$  a média das observações e  $n$  o número de amostras.

Um modelo de regressão simples estuda a relação entre duas variáveis quaisquer. A variável  $y$  foi denominada de variável dependente, e  $x$  de variável independente. Desta forma foi estabelecido que nosso intuito é observar como  $y$  varia a partir de variações em  $x$ . Já um modelo de regressão múltipla constitui uma extensão do modelo simples na medida em que permite a inclusão de mais variáveis independentes no modelo de interesse. Podemos escrever uma equação (3) que relaciona  $y$  e  $x$  da seguinte forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + u \quad (3)$$

Onde o termo de erro  $u$  agrega todos os fatores não observados na equação que podem influenciar o valor de  $y$ . Temos ainda  $\beta_0$ , que é o parâmetro de intercepto da equação (ou uma constante) e  $\beta_1$  que é o parâmetro de inclinação da relação entre  $y$  e  $x$ , mantidos fixos os outros fatores em  $u$ .

A equação (4) trata da relação entre  $y$  e  $x$ . Se os fatores contidos no termo de erro são mantidos fixos, de modo que  $\Delta u=0$ , então  $x$  terá um efeito linear sobre  $y$ , de modo que a variação em  $y$  é o coeficiente  $\beta_1$  multiplicado pela variação em  $x$ :

$$\Delta y = \beta_1 \Delta x \quad (4)$$

Para esta pesquisa foram utilizadas a análise estatística de regressão por mínimo quadrado, usando a regressão linear simples, isto foi usado para análise de sedimentos usando o sensoriamento remoto para validação de dados

### 3.5.2. Análise de Acurácia de dados de Uso e Ocupação da Terra

Os dados de uso e ocupação da terra foi adquirida do site do MapBiomas que avaliou a acurácia geral e para cada classe de uso e cobertura para todos os anos entre 1985 a 2021. Essa avaliação deu-se por meio de amostras de píxeis para estimar a acurácia da qualidade dos dados, que denominou-se de base de dados de referência, composta por ~75.000 amostras. Usou-se técnicas de amostragem estatística, para cada ano, cada pixel da base de dados de referência das imagens Landsat, utilizou-se métricas para avaliar a acurácia, em que comparam a classe mapeada com a classe analisada com base de dados de referência.

Para cada ano, foi realizada a avaliação de acurácia a começar da tabulação cruzada das frequências amostrais das classes mapeadas e reais, no formato da Tabela 1. As frequências  $n_{i,j}$  apresentam o número de píxeis na amostra classificados como classe  $i$ , e avaliados como classe  $j$ . Os totais marginais de linha,  $n_{i,*}$ , representam o número de amostras mapeadas como classe  $i$ , enquanto que os totais marginais de coluna,  $n_{*,j}$ , representam o número de amostras que foram avaliadas pelos técnicos como classe  $j$ .

Tabela 9: Matriz de erros ou matriz de confusão.

Mapa\Real	Classe 1	...	Classe H	Total
Classe 1	$n_{1,1}$	...	$n_{1,H}$	$n_{1,*}$
...	...	...	...	...
Classe H	$n_{H,1}$	...	$n_{H,H}$	$n_{H,*}$
Total	$n_{*,1}$	...	$n_{*,H}$	$n_{*,*}$

A partir dos resultados da Tabela 1, as proporções amostrais em cada célula da tabela

são estimadas por  $\hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{i,*}} \times \frac{N_i}{N}$ . A matriz de valores  $\hat{P}_{ij}$ .

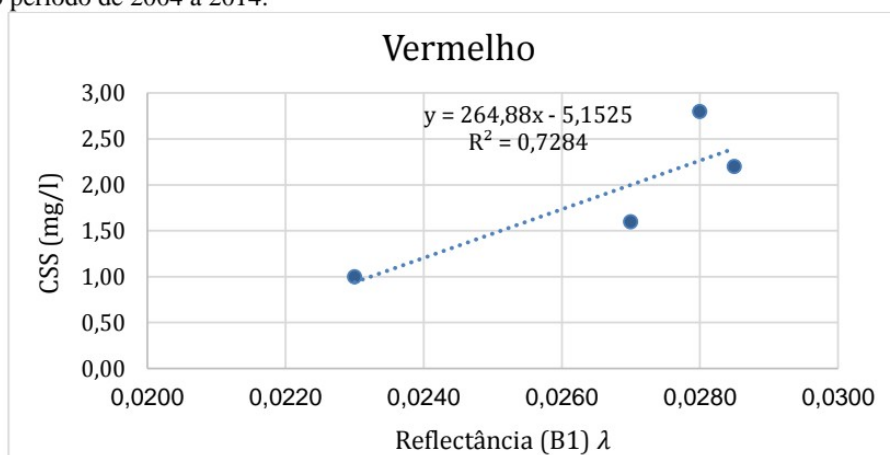
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 O Uso de Sensoriamento Remoto no Monitoramento de Sólidos em Suspensão Do Reservatório da UHE Tucuruí na Amazônia Oriental

#### 4.1.1. Curva de calibração na banda do infravermelho para os pontos médios das variáveis CSS e R de 2004 a 2016.

A estimativa dos dados foi realizada com base na análise de regressões lineares simples, em que os NDs foram correlacionados com os valores em  $\text{mg L}^{-1}$  levantados *in loco*. Para o uso do MODIS na estimativa de CSS, os números digitais (pixels) foram considerados fatores fixos, e a concentração coletada em campo como variável dependente. A correlação entre estes parâmetros determinou a equação da Figura 15, os resultados mostram satisfatórios em relação às equações que estimam sedimentos. O coeficiente de determinação  $R^2$  é a porcentagem de variação da variável dependente, explicada pela variável independente, no qual resultou na estimativa quantitativa do gráfico de dispersão, mostrando o coeficiente de determinação ( $R^2$  ajustado) no valor de 0,7284 para estação Montante 01 – M1. O resultado do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da estação M1 para o período de 2004 a 2014 foi igual a 0,72, ou seja, 72% da variação média da variável dependente CSS com a variável independente R é explicada pela equação de regressão que foi igual à  $\text{CSS} = 264,88 \cdot \text{R} - 5,1525$ . A raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) para o modelo baseado no vermelho (B1) foi de 1,99 mg/L, visto que o RMSE mede os erros entre valores reais e previsões, os quais apresentam variância pequena dos erros.

Figura 15 - CSS x Refletância e modelo de regressão linear com (R2), na estação M1 razão de bandas B2, nas campanhas no período de 2004 a 2014.



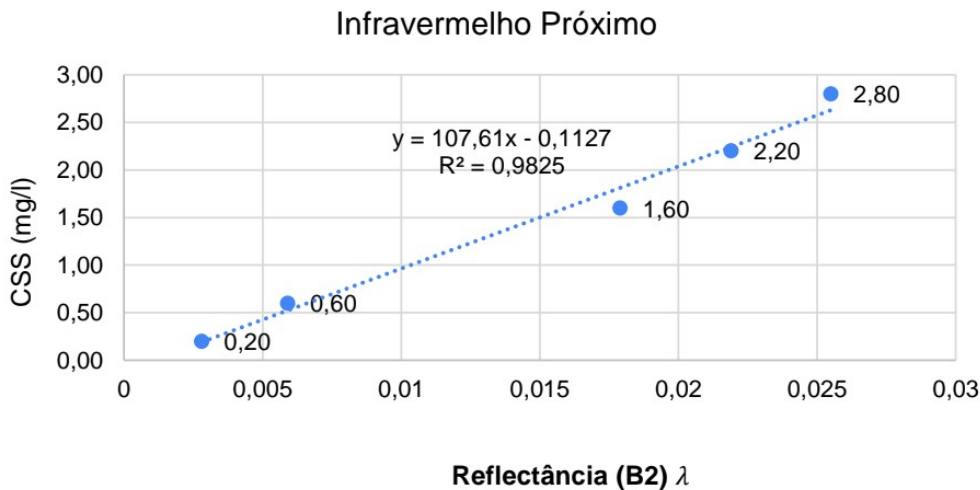
Fonte: Autora (2022).

A curva de calibração da banda do infravermelho próximo criou a equação de regressão linear igual à  $\text{CSS} = 107,61 \cdot \text{R} - 0,1127$ , no qual foi criada a partir do gráfico de

dispersão entre os valores médios das variáveis CSS e R. Essa equação apresenta em torno de 98% da variação que sucede entre a variável dependente CSS e a independente R. E a raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) para o modelo baseado no infravermelho (B2) foi de 1,75 mg/L, em que mostram pequena variância dos erros. Pode ser interpretado como a equação empírica que calcula a estimativa de concentração de sedimentos em suspensão da estação M1, em função do valor médio dos anos analisados de R das imagens dos produtos MOD09A1 ou MOD09Q1 do sensor MODIS (Figura 16).

Já o modelo estatístico para a estação a montante M1 foi obtido através de Regressão Linear por Mínimo Quadrado e possui coeficiente de determinação ( $R^2 = 98\%$ ) e intervalo de confiança de 95%. Para a determinação de Concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>ss</sub>) via modelo linear, consistiu na verificação das médias mensais de ND, transformadas em número binário (0 e 1) para controle de qualidade dos pixels e após sua conformidade, convertidas em reflectância de superfície para que fossem e aplicadas a equação de regressão linear  $C_{ss} = 107.61 * R - 0.1127$ .

Figura 16 - Curva de calibração das variáveis CSS e R na faixa do infravermelho próximo para a estação M1.



Fonte: Autora (2022).

Pode-se dizer que há uma relação positiva entre os valores de R e os valores de concentração (mg/L) realizados *in loco*, isto porque o valor de  $R^2$  obtido é significativo. Esta função linear foi selecionada, porque mostrou a distribuição dos pontos no espaço bidimensional. Deste modo, verifica-se que essa análise estatística é recomendável para média dos dados, e que a mesma só apresenta estatisticamente o intervalo de confiança para esta curva de calibração foi de 98% de confiabilidade, ou seja, 98% da variação entre os pontos é explicada pelo modelo estatístico.

Para esta pesquisa utilizou-se a faixa do vermelho e infravermelho próximo, porém, a banda vermelha não apresentou resultados satisfatórios, sendo necessário usar a banda infravermelho próximo. Jensen (2009) destaca que as faixas do infravermelho próximo podem ser úteis para determinar a concentração de sólidos em suspensão, sendo os constituintes predominantes no corpo d'água. Martinez (2009) relata que a banda do infravermelho apresenta a melhor sensibilidade para CSS, os resultados apresentados nesta pesquisa mostram claramente que a banda do infravermelho apresentou melhor resultado.

A equação de regressão linear  $Css = 107.61 * R - 0.1127$  e coeficiente de determinação ( $R^2 = 98\%$ ) foi a que apresentou a melhor resultado, mostrando desta forma que a banda do infravermelho é a melhor banda para fazer a análise de sedimentos no rio Tocantins e na área de estudo desta pesquisa. O rio Tocantins tem suas águas transparentes e cristalinas, desprovida de material em suspensão (CUNHA E PASCOALOTO, 2007). Nesta pesquisa foi observado que os dados de sedimentos do rio Tocantins foram muito baixos, com concentração de até 4,5 mg/L, enquanto que os dados do Solimões encontrados por Soares (2012) com grande carga de sedimentos são da ordem de 145, 27 mg/L. É importante relatar que ocorrem processo de erosão nas margens dos rios, conhecidos como fenômeno de terras caídas, contribuindo para a concentração de sedimentos em diversos rios da Amazônia.

A Tabela 9 apresenta os valores mínimos, médios e máximos da concentração de sedimentos em suspensão da série temporal, além de comparar com os dados de reflectância no infravermelho próximo. Vale ressaltar que as imagens usadas são as que compõem os pixels de melhor qualidade obtidos no período de oito dias, formando-se na avaliação pixel a pixel de imagens diárias, em que são avaliadas oito imagens contínuas e selecionado o pixel da imagem com melhor qualidade para a formação, dando a importância de escolher a mínima cobertura ou sombra de nuvens, com excelente geometria de obtenção da imagem e a mínima concentração de aerossóis. A tabela também mostra que devido os resultados com a banda vermelho (B1) não obter resultados satisfatórios foram realizados os testes de 2004 a 2014, e os dados de CSS e Qualidade das Amostras (QA) CSS *in loco* teve-se até 2018, visto que análise laboratorial não disponibilizou valores exatos e sim apenas <10.

Tabela 10 - Dados de CSS gerado pelo modelo em comparação com dados de campo.

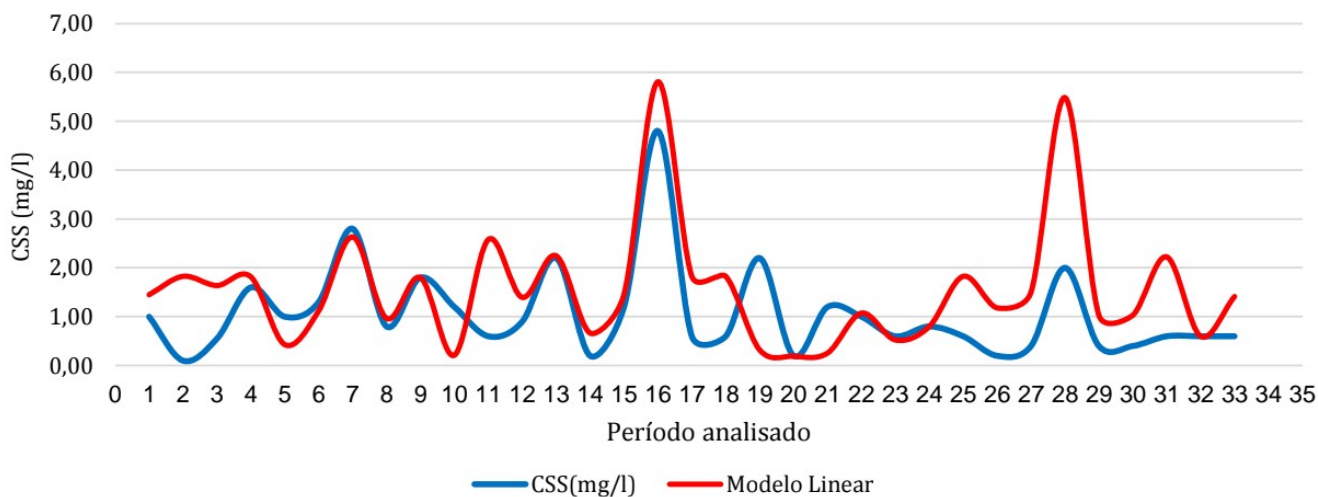
Ano	Mês	State Flag (ND)	Reflectância (B1)	Reflectância (B2)	CSS (mg/l)	Modelo Linear	QA CSS (mg/l)
2004	Maio	24	0,023	0,0145	1	1,45	Mín.: 0,50, Méd.: 1,00, Máx.: 3,20
	Agosto	88	0,0185	0,018	0,1	1,82	
2005	Maio	88	0,027	0,0179	1,6	1,81	Mín.: 0,40, Méd.: 1,30, Máx.: 3,20
	Agosto	156/152	0,0052	0,005	1	0,43	
2006	Maio	88	0,028	0,0255	2,8	2,63	Mín.: 0,60, Méd.: 1,20, Máx.: 2,80
	Agosto	88	0,0128	0,01	0,8	0,96	
2007	Maio	152	0,005	0,003	1,2	0,21	Mín.: 0,40, Méd.: 0,90, Máx.: 2,00
	Agosto	216	0,0012	0,025	0,6	2,58	
2008	Maio	88	0,0285	0,0219	2,2	2,24	Mín.: 0,20, Méd.: 1,40, Máx.: 3,40
	Agosto	152	0,0054	0,0072	0,2	0,66	
2009	Maio	1306	0,075	0,055	4,8	5,81	Mín.: 0,20, Méd.: 2,10, Máx.: 4,80
	Agosto	88	0,0189	0,018	0,6	1,82	
2010	Maio	152	0,0129	0,004	2,2	0,32	Mín.: 0,20, Méd.: 1,00, Máx.: 2,20
	Agosto	152	0,0022	0,0028	0,2	0,19	
2011	Maio	88	0,0272	0,011	1	1,07	Mín.: 0,40, Méd.: 1,50, Máx.: 3,20
	Agosto	88	0,0052	0,0059	0,6	0,52	
2012	Maio	152	0,021	0,018	0,6	1,82	Mín.: 0,20, Méd.: 0,90, Máx.: 7,20
	Agosto	152	0,013	0,012	0,2	1,18	
2013	Maio	1048	0,0525	0,052	2	5,48	Mín.: 0,20, Méd.: 1,30, Máx.: 4,60
	Agosto	152	0,0139	0,0106	0,4	1,03	
2014	Maio	88	0,0309	0,0217	0,6	2,22	Mín.: 0,20, Méd.: 0,40, Máx.: 2,20
	Agosto	152	0,008	0,0066	0,6	0,60	
2015	Maio	88		0,0093	0,4	0,89	Mín.: 0,10, Méd.: 0,20, Máx.: 1,60
	Agosto	152		0,0049	0,1	0,41	
2016	Maio	24		0,0093	0,2	0,89	Mín.: 0,20, Méd.: 0,60, Máx.: 2,50
	Agosto	88\152		0,009	0,2	0,86	
2017	Maio	88\152\24		0,0063	1	0,57	Mín.: 1,00, Méd.: 3,60, Máx.: 9,20
	Agosto	88\152		0,0015	1	0,05	
2018	Maio	152		0,0035	2,8	0,26	Mín.: 1,60, Méd.: 2,80, Máx.: 3,00
	Agosto	24		0,0133	1	1,32	
2019	Maio	24		0,0189		1,92	
	Agosto	88\24		0,00682		0,62	
2020	Maio	1304		0,1048		11,16	
	Agosto	152\24		0,0286		2,96	
2021	Maio	88\24		0,01542		1,55	
	Agosto	152		0,03224		3,36	
2022	Maio	24		0,01219		1,20	

Fonte: Autora (2022).

Para o mês de maio o modelo apresentou o valor de 5,48mg/L, isto ocorre devido a imagem não ser de boa qualidade, em que apresenta o State Flag (ND) de 1048 e reflectância de 0,052 para o infravermelho próximo (B2). Vale ressaltar que os ND's que não são de boa qualidade apresentam valores maiores que os valores de boa qualidade, como é o caso do 88 em que apresenta excelente qualidade. Para esta pesquisa o resultado do modelo gerado através de dados de sensoriamento remoto apresentou satisfatório em comparação com os dados coletados em campo, contendo mínimo, média e máximo para a estação M1.

Pode ser observado na Figura 17, a comparação entre os dados obtidos pela reflectância e adquiridos em campo, mostrando desta forma que o modelo gerado apresentou-se satisfatório em comparação com a Qualidade da Amostras (QA) CSS que mostra o mínimo, média e máximo dos dados coletados *in loco*. Este gráfico mostra que o modelo teve um valor de 5,48(mg/L) de CSS no mês de maio de 2013, comparando com o máximo de 4,60 (mg/L) de CSS para 2013, ficando próximo do valor real de CSS.

Figura 17 - Comparação de dados de CSS em campo e modelo gerado para CSS.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 21 apresenta resultado satisfatório em comparação aos dados de campo, visto que alguns picos que apresentaram foram em decorrência da qualidade da imagem, pois algumas apresentaram valores superiores aos ND's tido como ND excelente com valor de 88. Vale ressaltar a importância dos testes para chegar a um modelo satisfatório, visto que cada rio tem suas características que difere dos outros. De acordo com Cunha e Pascoaloto (2007), o rio Tocantins apresenta coloração clara e com baixa carga de sedimentos, observa-se pela imagem de satélite que a água entra com certa carga de sedimentos, porém, ao longo do reservatório ela deposita no lago, a baixa carga de sedimentos pode estar relacionada a geologia da região.

## 4.2 Diagnóstico Temporal do Uso e Ocupação da Terra da Bacia Hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29)

Para delimitação da área de análise do uso e ocupação da terra, utilizou-se a Bacia Hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29). Esta bacia compreende um total de 38 municípios: 36 municípios do Estado do Pará, 1 município do Estado do Tocantins e 1 município do Estado do Maranhão (Tabela 10).

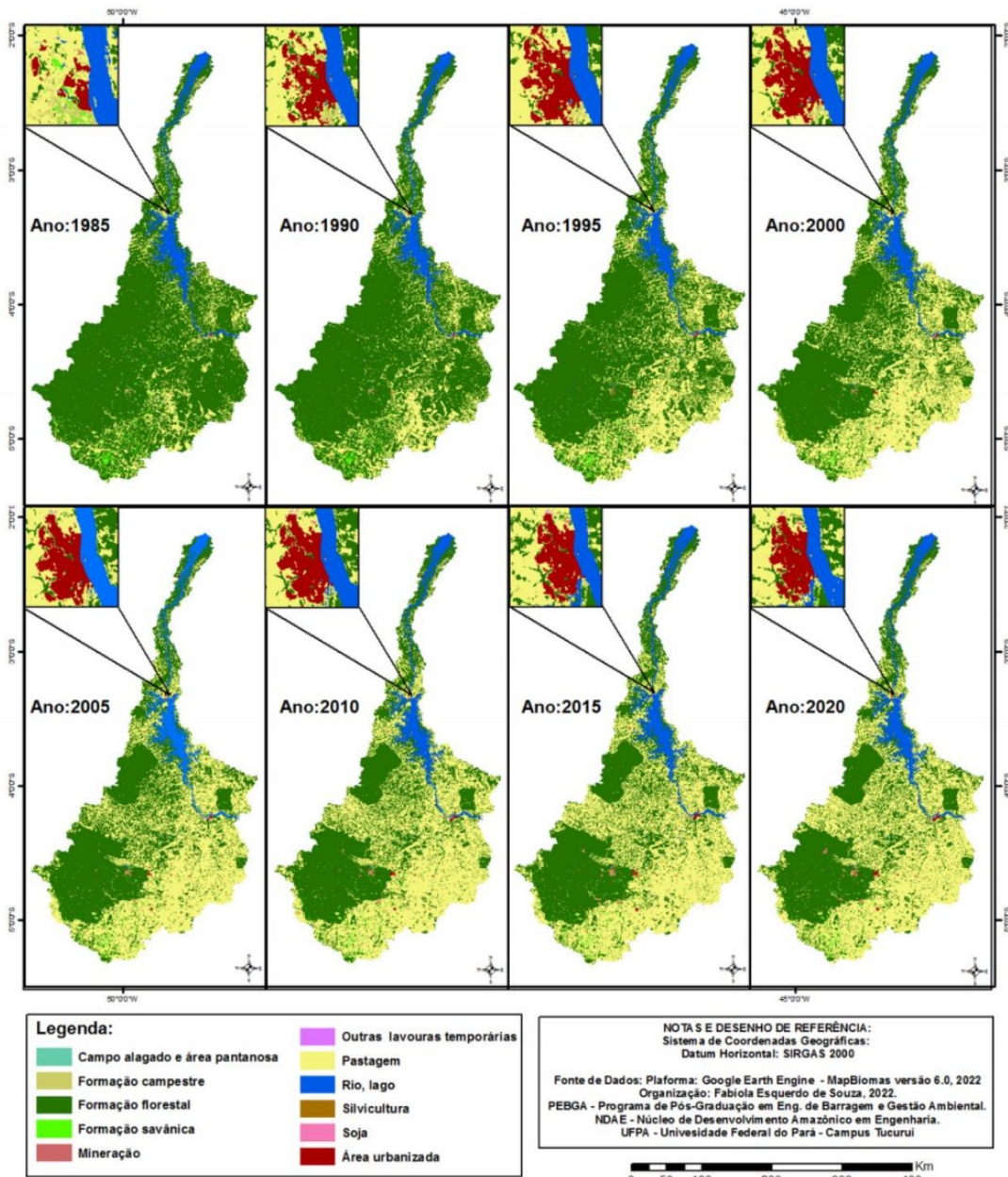
Tabela 11 - Áreas dos municípios que compõem a bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz.

ID	Estado	Nome	Município (Km <sup>2</sup> )	Bacia (Km <sup>2</sup> )	Município (%)	Bacia (%)
1	PA	Abaetetuba	1629,49	19,07	1,17	0,03
2	PA	Abel Figueiredo	599,35	66,63	11,12	0,09
3	PA	Água Azul do Norte	7115,40	7051,14	99,10	9,49
4	PA	Baião	3763,03	2556,38	67,93	3,44
5	PA	Bannach	2958,90	1,35	0,05	0,002
6	PA	Bom Jesus do Tocantins	2806,36	2487,12	88,62	3,35
7	PA	Brejo Grande do Araguaia	1255,93	2,99	0,24	0,004
8	PA	Breu Branco	3976,64	1003,14	25,23	1,35
9	PA	Cametá	3087,23	1548,53	50,16	2,08
10	PA	Canaã dos Carajás	3146,63	3146,63	100,00	4,23
11	PA	Curionópolis	2372,82	2372,82	100,00	3,19
12	PA	Eldorado do Carajás	2958,84	2958,84	100,00	3,98
13	TO	Esperantina	513,62	6,77	1,32	0,01
14	PA	Goianésia do Pará	7098,94	954,92	13,45	1,28
15	PA	Igarapé Miri	2058,16	702,35	34,13	0,95
16	PA	Itupiranga	7829,13	7812,09	99,78	10,51
17	PA	Jacundá	2060,75	1626,47	78,93	2,19
18	PA	Limoeiro do Ajuru	1498,49	423,56	28,27	0,57
19	PA	Marabá	15048,11	15025,35	99,85	20,22
20	PA	Mocajuba	872,29	303,86	34,83	0,41
21	PA	Moju	9101,42	15,67	0,17	0,02
22	PA	Nova Ipixuna	1635,67	1635,67	100,00	2,20
23	PA	Novo Repartimento	15319,58	6350,41	41,45	8,55
24	PA	Oeiras do Pará	3749,12	32,27	0,86	0,04
25	PA	Ourilândia do Norte	14329,03	516,33	3,60	0,69
26	PA	Pacajá	11825,99	55,21	0,47	0,07
27	PA	Parauapebas	6951,51	6944,29	99,90	9,34
28	PA	Piçarra	3298,90	1105,30	33,51	1,49
29	PA	Rondon do Pará	8244,12	408,37	4,95	0,55
30	PA	São Domingos do Araguaia	1402,96	968,87	69,06	1,30
31	PA	São Félix do Xingu	84171,72	22,06	0,03	0,03
32	PA	São Geraldo do Araguaia	3172,39	1734,77	54,68	2,33
33	PA	São João do Araguaia	1259,65	521,52	41,40	0,70
34	MA	São Pedro da Água Branca	736,50	56,33	7,65	0,08
35	PA	Sapucaia	1292,97	580,82	44,92	0,78
36	PA	Tucumã	2512,92	1,12	0,04	0,002
37	PA	Tucuruí	2051,45	2033,71	99,14	2,74
38	PA	Xinguara	3787,91	1261,09	33,29	1,70
<b>ÁREA TOTAL</b>			<b>-</b>	<b>74313,81</b>	<b>-</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora (2022).

Por meio das imagens classificadas da Coleção 6 do MapBiomas inserido no *Google Earth Engine - GEE*, foi possível analisar a distribuição espacial bem como quantificar formas de uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29), no qual tem como principal rio o Tocantins. Os resultados obtidos constituem mapas temáticos dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 (Figura 18). Verificaram-se mudanças gradativas no uso da terra da área em estudo nos anos de 1985 a 2020. As mudanças mais significativas ocorrem com formação florestal, pastagem, área urbanizada e mineração, em decorrência do aumento da ocupação urbana.

Figura 18 - Uso da terra da bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29) para os anos analisados.



Fonte: Autora (2022).

Observou-se neste estudo, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, a redução da formação florestal e o crescimento da expansão urbana ao entorno. De acordo com a análise feita através da classificação de imagens nos anos pesquisados, foi possível discriminar, mapear e quantificar 11 tipos de uso da terra da área em estudo.

Na Tabela 11 mostra que em 1985 havia uma área de vegetação com 58.217,98 km<sup>2</sup> (78,34%), pode ser que nesta época não havia grande expansão urbana nos entornos da UHE Tucuruí, verificou-se que neste ano foi o início das modificações das classes estudadas. Em 1990 verificou-se que houve algumas modificações em relação ao ano de 1985, como na formação florestal com 54.738,85 km<sup>2</sup> (73,66%) e pastagem com 13.223,66 km<sup>2</sup> (17,79%), provavelmente isto se dá pelo desenvolvimento e urbanização próximos a estas áreas. Analisou-se que em 1995, há grandes modificações em relação a 1985 e 1990; possivelmente isto deve ter ocorrido pelo crescimento da pastagem e pela expansão urbana, também houve desenvolvimento de atividades como mineração, ainda foi observado que ao mesmo tempo que acontecia a redução da formação florestal a área de pastagem tinha um crescimento, é significativa a redução na formação florestal. Já para o ano de 2020, verificou-se que houve redução na formação florestal 31.734,38 km<sup>2</sup> (42,70%), formação campestre com 545,36 km<sup>2</sup> (0,73%), campo alagado e área pantanosa com 40,20 km<sup>2</sup> (0,05%) e outras lavouras temporárias com 47,05 km<sup>2</sup> (0,06%). Contudo, neste mesmo ano houve crescimento na pastagem com 36.332,43 km<sup>2</sup> (48,89%), rio e lago com 4.670,82 km<sup>2</sup> (6,29%), formação savânica 535,36 km<sup>2</sup> (0,72%), Área urbanizada com 226,59 km<sup>2</sup> (0,30%), mineração com 171,97 km<sup>2</sup> (0,23%) e soja com 7,21 km<sup>2</sup> (0,01%). Já a silvicultura se manteve estabilizada com 2,44 km<sup>2</sup> para o ano de 2020.

Tabela 12 - Classificação de imagens com seus respectivos tipos de uso da terra.

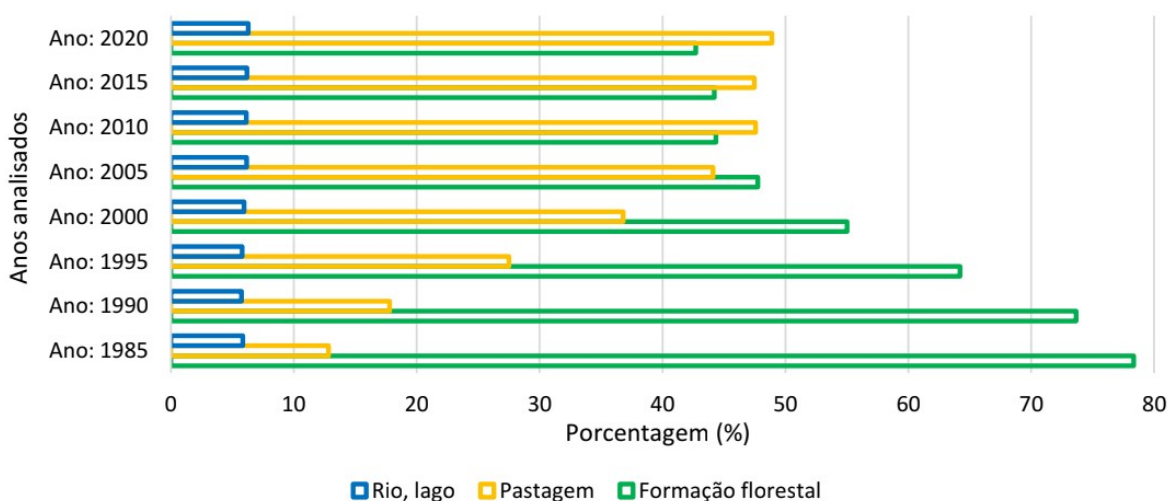
Tipo de uso da terra	1985		1990		1995		2000	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Formação florestal	58.217,98	78,34	54.738,85	73,66	47.712,69	64,20	40.887,03	55,02
Pastagem	9.531,73	12,83	13.223,66	17,79	20.447,73	27,52	27.348,04	36,80
Rio, lago	4.343,62	5,84	4.275,99	5,75	4.298,37	5,78	4.430,65	5,96
Formação savânica	1.060,41	1,43	935,50	1,26	739,36	0,99	612,64	0,82
Formação campestre	1.032,62	1,39	953,03	1,28	890,61	1,20	786,91	1,06
Campo alagado e área pantanosa	54,88	0,07	56,96	0,08	55,58	0,07	49,62	0,07
Área urbanizada	41,17	0,06	96,32	0,13	127,38	0,17	143,35	0,19
Mineração	31,01	0,04	33,26	0,04	41,93	0,06	52,79	0,07
Outras lavouras temporárias	0,39	0,00	0,22	0,00	0,14	0,00	2,72	0,00
Silvicultura	0	0	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00
Soja	0	0	0	0	0	0	0,03	0,00
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>

Tipo de uso da terra	2005		2010		2015		2020	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Formação florestal	35.484,26	47,75	32.955,22	44,35	32.847,82	44,20	31.734,38	42,70
Pastagem	32.782,20	44,11	35.344,73	47,56	35.268,60	47,46	36.332,43	48,89
Rio, lago	4.584,68	6,17	4.549,04	6,12	4.591,04	6,18	4.670,82	6,29
Formação savânica	538,07	0,72	489,79	0,66	504,48	0,68	535,36	0,72
Formação campestre	632,38	0,85	617,32	0,83	590,08	0,79	545,36	0,73
Campo alagado e área pantanosa	46,25	0,06	41,42	0,06	42,90	0,06	40,20	0,05
Área urbanizada	160,81	0,22	185,56	0,25	218,17	0,29	226,59	0,30
Mineração	72,4	0,10	106,19	0,14	145,62	0,20	171,97	0,23
Outras lavouras temporárias	12,43	0,02	22,23	0,03	98,63	0,13	47,05	0,06
Silvicultura	0,13	0,00	2,25	0,00	2,42	0,00	2,44	0,00
Soja	0,20	0,00	0,17	0,00	0,16	0,00	7,21	0,01
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>	<b>74.313,81</b>	<b>100</b>

Fonte: Autora (2022).

A Figura 19 apresenta os 3 (três) usos da terra com maior relevância em relação as maiores áreas da bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29), como pode ser visto que a formação florestal ao longo dos anos analisados houve redução, neste mesmo período teve um crescimento de pastagem. Segundo a Eletronorte (2004) houve a exploração florestal para construção de casas, além de implantação de agricultura e pastagens o que ocasionou à degradação dos recursos vegetais. Para rio e lago foi possível visualização significativa da hidrografia, em áreas abertas. Logo as principais observações que foram consideradas, quanto as mudanças ocorridas no intervalo de tempo analisado, são referentes a classe de rio e lago que não sofreu alteração significativa no intervalo de tempo de estudo, em que à sazonalidade da região amazônica nos períodos de seca e cheia pode haver influência.

Figura 19: Análise da formação florestal, pastagem e rio e lago para os anos analisados.



Fonte: Autora (2022).

Pode ser analisado na Tabela 12, uma área de aproximadamente 3479,13 Km<sup>2</sup> de redução de formação florestal, rio e lago com 67,63 Km<sup>2</sup>, formação savânica com 124,91 Km<sup>2</sup>, formação campestre com 79,59 Km<sup>2</sup>, e ainda teve crescimento de uma área de 3691,93 Km<sup>2</sup> para pastagem, área urbanizada com 55,15 Km<sup>2</sup> e silvicultura com 0,02 Km<sup>2</sup> entre o período de 1985 a 1990. No período de 1990 a 1995 houve uma redução bastante significativa na formação florestal com 7026,16 Km<sup>2</sup>, formação savânica com 196,14 Km<sup>2</sup>, formação campestre com 62,42 Km<sup>2</sup>, campo alagado e área pantanosa com 1,38 Km<sup>2</sup>, e um crescimento de 7.224,07 Km<sup>2</sup> de pastagem, rio e lago com 22,38 Km<sup>2</sup>, área urbanizada com 31,06 Km<sup>2</sup> e mineração com 8,67 Km<sup>2</sup>. Neste mesmo período verificou-se que a silvicultura e soja não tiveram crescimento e redução significativa. Em relação ao período de 1985 a 2020, notou-se que houve uma redução de formação florestal 26.483,60 Km<sup>2</sup> e crescimento de 26.800,7 Km<sup>2</sup> de pastagem foi maior que a redução de formação florestal. Vale ressaltar que as classes de rio e lago teve crescimento de 327,20 Km<sup>2</sup>, área urbanizada com 185,42 Km<sup>2</sup>, mineração com 140,96 Km<sup>2</sup>, outras lavouras temporárias com 46,66 Km<sup>2</sup>, silvicultura com 2,44 Km<sup>2</sup> e soja com 7,21 Km<sup>2</sup>. E também houve redução de formação savânica com 525,05 Km<sup>2</sup>, formação campestre com 487,26 Km<sup>2</sup>, campo alagado e área pantanosa com 14,68 Km<sup>2</sup>.

Tabela 13 - Classificação de imagens com seus respectivos tipos de uso do solo.

Tipo de uso da terra	1985 – 1990 (Km <sup>2</sup> )		1990 – 1995 (Km <sup>2</sup> )		1995 – 2000 (Km <sup>2</sup> )	
	Crescimento	Redução	Crescimento	Redução	Crescimento	Redução
Formação florestal		-3.479,13		-7.026,16		-6.825,66
Pastagem	3.691,93		7.224,07		6.900,31	
Rio, lago		-67,63	22,38		132,28	
Formação savânica		-124,91		-196,14		-126,72
Formação campestre		-79,59		-62,42		-103,7
Campo alagado e área pantanosa	2,08			-1,38		-5,96
Área urbanizada	55,15		31,06		15,97	
Mineração	2,25		8,67		10,86	
Outras lavouras temporárias		-0,17		-0,08	2,58	
Silvicultura	0,02		-	-	0,01	
Soja	-	-	-	-	0,03	
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>3751,43</b>	<b>-3751,43</b>	<b>7286,18</b>	<b>-7286,18</b>	<b>7062,04</b>	<b>-7062,04</b>

Tipo de uso da terra	2000 – 2005 (Km <sup>2</sup> )		2005 – 2010 (Km <sup>2</sup> )		2010 – 2015 (Km <sup>2</sup> )	
	Crescimento	Redução	Crescimento	Redução	Crescimento	Redução
Formação florestal		-5.402,77		-2.529,15		-105,4
Pastagem	5.434,16		2.562,53			-75,13
Rio, lago	154,03			-35,64	42	
Formação savânica		-74,57		-48,28	14,69	
Formação campestre		-154,53		-15,06		-27,24
Campo alagado e área pantanosa		-3,37		-4,83	1,48	
Área urbanizada	17,46		24,75		33,61	
Mineração	19,61		33,79		39,43	
Outras lavouras temporárias	9,71		9,8		76,4	

Silvicultura	0,1		2,12		0,17	
Soja	0,17			-0,03		-0,01
<b>ÁREA TOTAL</b>	5.635,24	-5.635,24	2.632,99	-2.632,99	207,78	-207,78

Tipo de uso da terra	2015 – 2020 (Km <sup>2</sup> )		1985 – 2020 (Km <sup>2</sup> )	
	Crescimento	Redução	Crescimento	Redução
Formação florestal		-1.115,33		-26.483,60
Pastagem	1.062,83		26.800,7	
Rio, lago	79,78		327,20	
Formação savânica	30,88			-525,05
Formação campestre		-44,72		-487,26
Campo alagado e área pantanosa		-2,7		-14,68
Área urbanizada	7,42		185,42	
Mineração	26,35		140,96	
Outras lavouras temporárias		-51,58	46,66	
Silvicultura	0,02		2,44	
Soja	7,05		7,21	
<b>ÁREA TOTAL</b>	1.214,33	-1.214,33	27.510,59	27.510,59

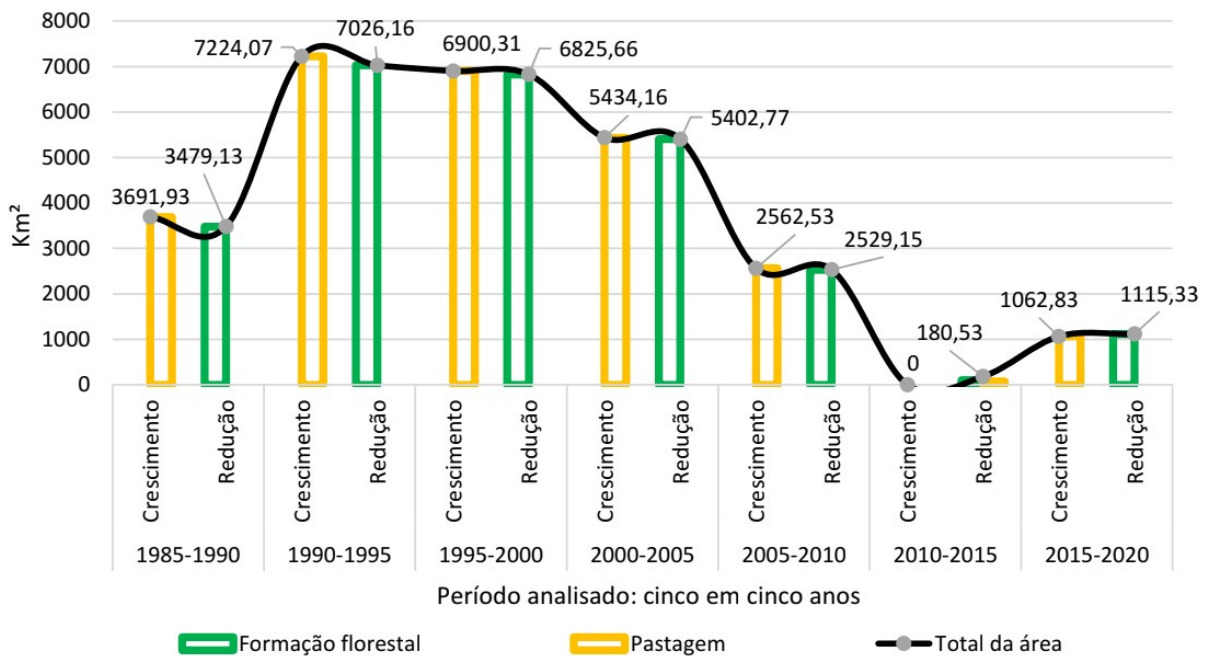
Fonte: Autora (2022).

Como observado na Tabela 12, houve redução bastante significativa na formação florestal desde os primeiros anos analisados de 1985 a 2020. Diante disto, é importante destacar que a construção da UHE Tucuruí foi por volta de 1974 a 1985, anos depois, em 2010 houve uma ampliação com a conclusão das eclusas (CMB, 2000). Para Fearnside (2001), a perda de floresta também abrange muito o desmatamento a margem do reservatório e perda de ecossistemas naturais. Também houve dano a floresta tropical secundária, pastagens e pequenas áreas cultivadas (JUNK E MELLO, 1990). Além do que o desmatamento aumentou nas ilhas para a plantação de roça e criação de gado (CAMELO E CIDADE, 2004). E a degradação da floresta nas ilhas e nas beiras do reservatório, fontes de óxido nitroso em zonas de deplacionamento (FEARNSIDE, 2015). Em relação ao uso da terra na questão de expansão urbana, Albuquerque et al. (2011), relata que alguns dos municípios do entorno de Tucuruí só foram criados na década de 1990: Breu Branco (1993), Goianésia do Pará (1993), Nova Ipixuna (1997), Novo Repartimento (1993).

É importante lembrar que a Amazônia desde 1984 vem sendo estudada para projetos grandiosos hidrelétricos, de mineração e entre outras atividades ((FEARNSIDE, 1989, 1999, 2001 e 2015). Isso vem ao encontro do que foi encontrado nesta pesquisa que mostra que 1985 a 2020 houve uma redução significativa da formação florestal e um crescimento de pastagem, mineração e agricultura na região da Amazônia.

A Figura 20 apresenta o crescimento e redução para as classes de formação florestal, pastagem e rio e lago no qual os períodos com maiores áreas foram 1990 a 1995 com crescimento de pastagem com 7.224,07 Km<sup>2</sup> e redução de formação florestal 7.026,16 Km<sup>2</sup>, para 1995 a 2000 com 6.900,31 Km<sup>2</sup> de crescimento de pastagem e redução de formação florestal de 6.825,66 Km<sup>2</sup> e em 2000 a 2005 teve uma queda para um crescimento de pastagem de 5.434,16 Km<sup>2</sup> e redução de 5.402,77 Km<sup>2</sup>. E no período de 2010 a 2015 não houve crescimento de pastagem, ocorrendo a redução de 180,53 Km<sup>2</sup> de floresta e pastagem.

Figura 20 - Análise de florestal e pastagem por crescimento e redução no período analisado.

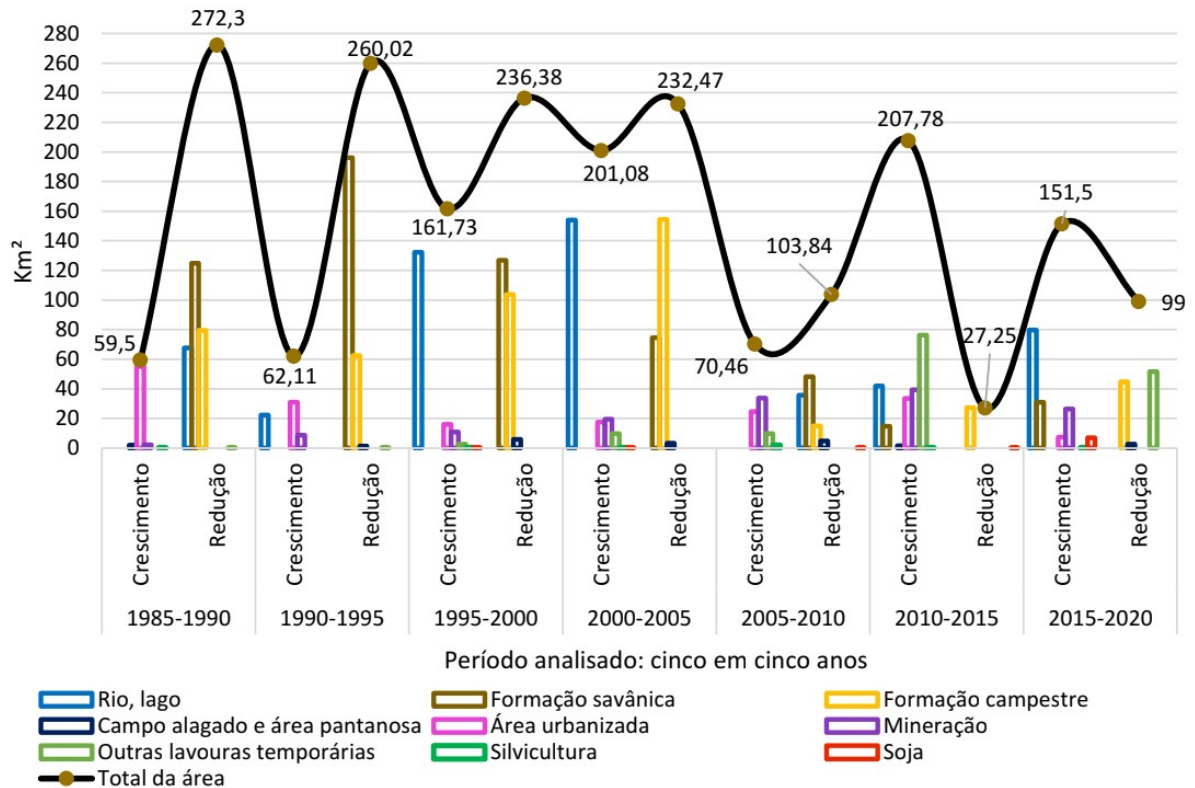


Fonte: Autora (2022).

A Figura 21 apresenta análises que foram realizadas para os usos da terra: rio e lago, formação savânica, formação campestre, campo alagado e área pantanosa, área urbanizada, mineração, outras lavouras temporárias, silvicultura e soja. Pode ser observado que para os períodos analisados a área urbanizada teve crescimento em todos os anos, bem como a mineração e silvicultura. Em relação a redução, a formação campestre apresentou diminuição para todos os anos analisados, a soja teve um crescimento significativo para o período de 2015 a 2020 em relação aos outros anos analisados. Em 1985 a 1990 teve crescimento de 59,50 Km<sup>2</sup> e redução de 272,30 Km<sup>2</sup>, para 1990 a 1995 houve crescimento de 62,11 Km<sup>2</sup> e redução de 260,02 Km<sup>2</sup>, no período de 1995 a 2000 houve crescimento de 161,73 Km<sup>2</sup> e redução de 236,38 Km<sup>2</sup>, já para 2000 a 2005 apresentou crescimento de 201,08 Km<sup>2</sup> e redução de 232,47 Km<sup>2</sup>. Em relação ao período de 2005 a 2010 mostrou que o crescimento foi de 70,46 Km<sup>2</sup> e redução de

103,84 Km<sup>2</sup>, para 2010 a 2015 houve crescimento foi de 207,78 Km<sup>2</sup> e redução de 27,25 Km<sup>2</sup>, já para o período de 2015 a 2020 teve crescimento foi de 151,50 Km<sup>2</sup> e redução de 99 Km<sup>2</sup>.

Figura 21 - Análise das classes por crescimento e redução no período analisado (1985 a 2020).



Fonte: Autora (2022).

Observa-se na Figura 26 que rio e lago apresentam crescimento a partir de 1990-1995, é importante lembrar que a inauguração da UHE Tucuruí foi em 1984, bem antes de sua inauguração houve mudança no rio e lago, porém, pode ser que somente a partir deste período (1990-1995) houve a estabilização do reservatório da UHE Tucuruí, o que leva a entender esse crescimento a partir destes anos. Para Caramelo e Cidade (2004), a obra e a acumulação da represa inundou uma extensão de 2.850 km<sup>2</sup>, com comprimento de 170 km<sup>2</sup> ao longo do curso do rio e largura média de 14,3 km<sup>2</sup>, provocaram significativas alterações. O nível das águas a montante elevou-se sobre um período de sete meses e meio, e a formação do lago cobriu aproximadamente 90% dos ambientes de várzea alta e terra firme (FEARNSIDE,2015). (AUBERTIN *et al*,1988). Calderano *et al*. (2014) relatou que as áreas do entorno da represa da UHE de Tombos enfrentaram várias ações antrópicas, em consequências a diversos usos do solo, deixando modificações na paisagem e a geração de uma atuação contínua de deterioração ambiental, como é caso da erosão das margens que cercam a represa.

### 4.3 Influências do Uso e Ocupação da Terra na Qualidade da Água do Reservatório da UHE Tucuruí

Para este estudo foram avaliados o uso e ocupação da terra das áreas dos municípios do Estado do Pará, Tucuruí e Novo Repartimento que abrangem a bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29) para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020. Esta área foi escolhida por ficarem próximas as estações de coleta de qualidade da água M1, MP e MR e situadas em área estratégica do reservatório da UHE Tucuruí. O município de Tucuruí abrange uma área de 2051,44 Km<sup>2</sup> e Novo Repartimento compreende uma área de 15.319,58 Km<sup>2</sup>.

A Tabela 13 apresenta para o município de Tucuruí/PA em 2005 a área de formação florestal com maior área com 1.051,28 Km<sup>2</sup> - correspondendo a 1,41% da área da Bacia - 51,15% da área de Tucuruí, logo após vem rio e lago com 472,07 Km<sup>2</sup>- 0,64% da área da Bacia - 23,01% da área de Tucuruí, pastagem com 459,76 Km<sup>2</sup> - 0,62% da área da Bacia - 22,41% da área de Tucuruí. Para o ano de 2010 houve uma redução na área de formação florestal com 973,06 Km<sup>2</sup> - 1,31% da área da Bacia - 47,43% da área de Tucuruí em relação a 2005, em seguida o rio e lago com 548,61 Km<sup>2</sup>- 0,74% da área da Bacia - 26,74% da área de Tucuruí e na pastagem com 463,59 Km<sup>2</sup> - 0,62% da área da Bacia - 22,60% da área de Tucuruí. Em 2015 apresentou valores próximos aos de 2010, a formação florestal com 964,93 Km<sup>2</sup> - 1,30% da área da Bacia - 47,04% da área de Tucuruí, em seguida tem rio e lago com 542,49 Km<sup>2</sup>- 0,73% da área da Bacia - 26,44% da área de Tucuruí. Para o ano de 2020, pode ser observado que houve redução florestal no que se refere ao ano de 2015, com formação florestal de 902 Km<sup>2</sup> - 1,21% da área da Bacia - 43,99% da área de Tucuruí, rio e lago com 600,90 Km<sup>2</sup>- 0,81% da área da Bacia - 29,29% da área de Tucuruí, pastagem com 485,67 Km<sup>2</sup> - 0,65% da área da Bacia - 23,67% da área de Tucuruí.

Tabela 14 - Tipo de uso da terra da área de Tucuruí que compreende a área da bacia hidrográfica.

Tipo de uso da terra	2005			2010		
	Km <sup>2</sup> /bacia	% / Bacia	% / Tucuruí	Km <sup>2</sup>	% / Bacia	% / Tucuruí
Formação florestal	1.051,28	1,41	51,25	973,06	1,31	47,43
Rio, lago	472,07	0,64	23,01	548,61	0,74	26,74
Pastagem	459,76	0,62	22,41	463,59	0,62	22,60
Formação campestre	24,52	0,03	1,20	23,30	0,03	1,14
Área urbanizada	18,81	0,03	0,92	19,37	0,03	0,94
Campo alagado e área pantanosa	6,26	0,01	0,31	4,49	0,01	0,22
Formação savânica	0,76	0,001	0,04	0,70	0,001	0,03
Outras lavouras temporárias	0,17	0,0002	0,01	0,45	0,001	0,02
Mineração	0,02	0,00003	0,001	0,08	0,0001	0,004
Silvicultura	-	-	-	-	-	-

<b>ÁREA TOTAL</b>	2033,65	2,74	99,13	2033,65	2,74	99,13
<b>Tipo de uso da terra</b>	<b>2015</b>			<b>2020</b>		
	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>% / Bacia</b>	<b>% / Tucuruí</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>% / Bacia</b>	<b>% / Tucuruí</b>
Formação florestal	964,93	1,30	47,04	902,38	1,21	43,99
Rio, lago	542,49	0,73	26,44	600,90	0,81	29,29
Pastagem	478,17	0,64	23,31	485,67	0,65	23,67
Formação campestre	20,55	0,03	1,00	21,03	0,03	1,03
Área urbanizada	19,31	0,03	0,94	15,05	0,02	0,73
Campo alagado e área pantanosa	6,03	0,01	0,29	4,87	0,01	0,24
Formação savânica	1,20	0,002	0,06	2,02	0,003	0,10
Outras lavouras temporárias	0,85	0,001	0,04	1,58	0,002	0,08
Mineração	0,11	0,0001	0,01	0,14	0,0002	0,01
Silvicultura	0,01	0,00001	0,0005	0,01	0,00001	0,0005
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>2033,65</b>	<b>2,74</b>	<b>99,13</b>	<b>2033,65</b>	<b>2,74</b>	<b>99,13</b>

Fonte: Autora (2022).

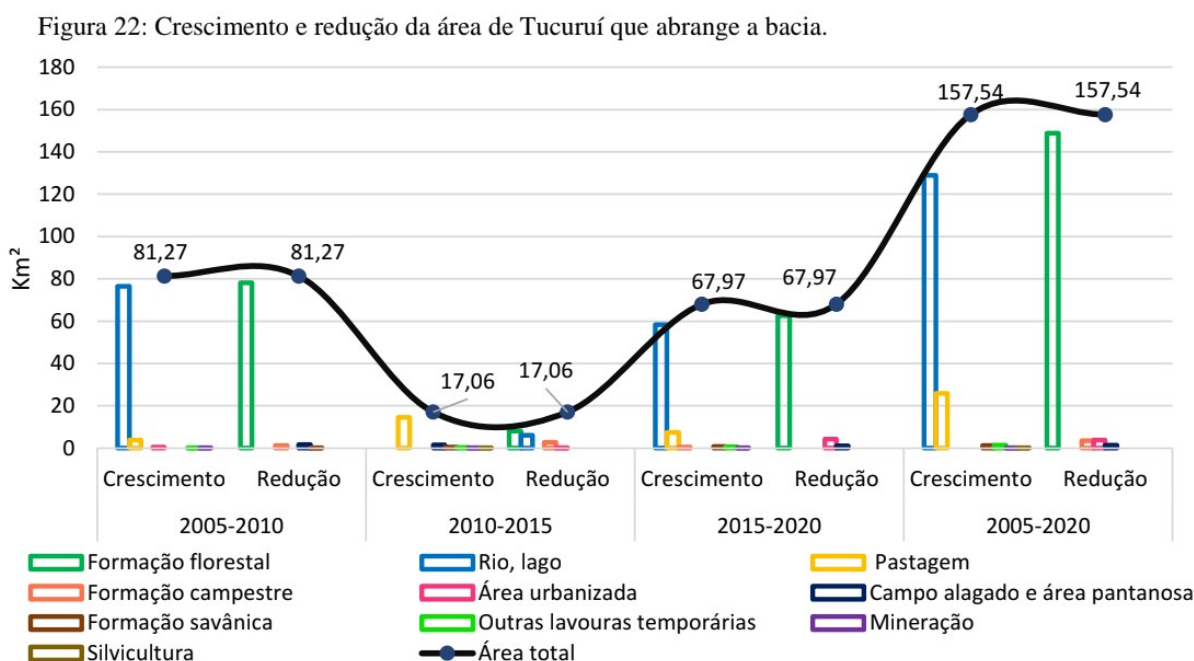
A Tabela 14 mostra que o ano de 2005 a 2010 houve um crescimento para rio e lago com 76,54 Km<sup>2</sup> e redução na formação florestal com 78,22 Km<sup>2</sup>. Entretanto, para 2010 a 2015 teve crescimento significativo na pastagem com 14,58 Km<sup>2</sup>, redução na formação florestal com 8,13 Km<sup>2</sup> e rio e lago com 6,12 Km<sup>2</sup>. Para o ano de 2015 a 2020, verificou-se que teve um crescimento no rio e lago com 58,41 Km<sup>2</sup> e pastagem com 7,5 Km<sup>2</sup>, já a formação florestal houve redução com 62,55 Km<sup>2</sup> assim como área urbanizada com 4,26 Km<sup>2</sup>. Em relação a 2005 a 2020, verificou-se que houve extenso crescimento no rio e lago com 128,85 Km<sup>2</sup> e pastagem com 25,91 Km<sup>2</sup>, assim como grande redução na formação florestal de 148,90 Km<sup>2</sup> e redução na área urbanizada com 3,76 Km<sup>2</sup> e formação campestre com 3,49 Km<sup>2</sup>.

Tabela 15 - Mudanças no uso e ocupação da terra da área de Tucuruí que compreende a área da bacia hidrográfica, no período de cinco em cinco anos.

<b>Tipo de uso do solo</b>	<b>2005-2010 (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>2010-2015 (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>2015-2020 (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>2005-2020 (Km<sup>2</sup>)</b>
Formação florestal	-78,22	-8,13	-62,55	-148,90
Rio, lago	76,54	-6,12	58,41	128,83
Pastagem	3,83	14,58	7,50	25,91
Formação campestre	-1,22	-2,75	0,48	-3,49
Área urbanizada	0,56	-0,06	-4,26	-3,76
Campo alagado e área pantanosa	-1,77	1,54	-1,16	-1,39
Formação savânica	-0,06	0,50	0,82	1,26
Outras lavouras temporárias	0,28	0,40	0,73	1,41
Mineração	0,06	0,03	0,03	0,12
Silvicultura	0	0,01	0	0,01
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>162,54</b>	<b>34,12</b>	<b>135,94</b>	<b>315,08</b>

Fonte: Autora (2022).

Figura 22 mostra que o ano de 2005 a 2010 houve um crescimento para rio e lago e redução na formação florestal, as áreas de crescimento e redução somam 81,27 Km<sup>2</sup>. Para 2010 a 2015 teve crescimento significativo na pastagem, redução na formação florestal e rio e lago, para este período o crescimento e redução foi de 17,06 Km<sup>2</sup>. Já para o ano de 2015 a 2020, verificou-se que teve um crescimento no rio e lago e pastagem, já a formação florestal houve redução assim como área urbanizada, o crescimento e redução para este período foi de 67,97 Km<sup>2</sup>. Em relação a 2005 a 2020, verificou-se que houve extenso crescimento no rio e lago e pastagem, já a formação florestal houve redução assim como área urbanizada e formação campestre, o crescimento e redução para este período foi de 157,54 Km<sup>2</sup>.



Fonte: Autora (2022).

De acordo com a Tabela 15, pode-se verificar que para o município de Novo Repartimento, em 2005 a área de formação florestal com maior área 3.712,48 Km<sup>2</sup> - 5% da área da Bacia – 24,23% da área, em seguida vem pastagem com 1.460,20 Km<sup>2</sup>- 1,96% da área da Bacia – 9,53% da área, rio e lago com 1.109,74 Km<sup>2</sup> - 1,49% da área da Bacia – 7,24% da área, formação campestre com 48,35 Km<sup>2</sup>- 0,03% da área da Bacia - 1,20% da área. Em relação a 2010, observa-se que houve redução na formação florestal com 3.403,83 Km<sup>2</sup>- 4,58% da área da Bacia - 22,22% da área e crescimento de pastagem com 1.793,32 Km<sup>2</sup>- 2,41% da área da Bacia - 11,71% da área, houve estabilidade no rio e lago com 1.090,58 Km<sup>2</sup>- 1,47% da área da Bacia - 7,12% da área, formação campestre com 44,13 Km<sup>2</sup>- 0,06% da área da Bacia - 0,29% da área, visto que houve alteração em relação a 2005.

Para o ano de 2015, verificou-se que teve redução na formação florestal com 3.318,23 Km<sup>2</sup>- 4,47% da área da Bacia - 21,66% da área e crescimento de pastagem com 1.864,41 Km<sup>2</sup>- 2,51% da área da Bacia - 12,17% da área, no rio e lago com 1.111,26 Km<sup>2</sup>- 1,50% da área da Bacia - 7,25% da área de Novo Repartimento, formação campestre com 33,70 Km<sup>2</sup>- 0,05% da área da Bacia - 0,22% da área. Já em 2020, foi visto que houve redução na formação florestal com 3.127,29 Km<sup>2</sup>- 4,21% da área da Bacia – 20,41% da área, formação campestre 27,19 Km<sup>2</sup>- 0,04% da área da Bacia – 0,18% da área, área urbanizada com 7,36 Km<sup>2</sup>- 0,01% da área da Bacia – 0,05% da área. Além de crescimento no rio e lago com 2.045,85 Km<sup>2</sup>- 2,75% da área da Bacia - 13,35% da área, pastagem com 1.132,36 Km<sup>2</sup>- 1,52% da área da Bacia - 7,39% da área de Novo Repartimento.

Tabela 16 - Uso da terra de Novo Repartimento que compreende a área da bacia hidrográfica.

Tipo de uso da terra	2005			2010		
	Km <sup>2</sup> /bacia	% / Bacia	%/N. Repart.	Km <sup>2</sup>	% / Bacia	%/N. Repart.
Formação florestal	3.712,48	5,00	24,23	3.403,83	4,58	22,22
Pastagem	1.460,20	1,96	9,53	1.793,32	2,41	11,71
Rio, lago	1.109,74	1,49	7,24	1.090,58	1,47	7,12
Formação campestre	48,35	0,07	0,32	44,13	0,06	0,29
Campo alagado e área pantanosa	11,04	0,01	0,07	9,4	0,01	0,06
Área urbanizada	4,87	0,01	0,03	5,32	0,01	0,03
Formação savânica	3,61	0,005	0,02	3,39	0,005	0,02
Outras lavouras temporárias	0,07	0,0001	0,00	0,39	0,001	0,00
<b>ÁREA TOTAL</b>	6350,36	8,55	41,45	6350,36	8,55	41,45

Tipo de uso da terra	2015			2020		
	Km <sup>2</sup>	% / Bacia	%/. Repart.	Km <sup>2</sup>	% / Bacia	%/N. Repart.
Formação florestal	3.318,23	4,47	21,66	3.127,29	4,21	20,41
Rio, lago	1.864,41	2,51	12,17	2.045,85	2,75	13,35
Pastagem	1.111,26	1,50	7,25	1.132,36	1,52	7,39
Formação campestre	33,70	0,05	0,22	27,19	0,04	0,18
Área urbanizada	8,92	0,01	0,06	7,36	0,01	0,05
Campo alagado e área pantanosa	6,18	0,01	0,04	6,37	0,01	0,04
Formação savânica	5,73	0,008	0,04	2,78	0,00	0,02
Outras lavouras temporárias	1,93	0,003	0,01	1,16	0,00	0,01
<b>ÁREA TOTAL</b>	6350,36	8,55	41,45	6350,36	8,55	41,45

Fonte: Autora (2022).

De acordo com a Tabela 16 para o ano de 2005 a 2010, houve um crescimento para rio e lago com 333,12 Km<sup>2</sup> e redução na formação florestal com 308,65 Km<sup>2</sup>. No entanto, para 2010 a 2015 teve crescimento significativo no rio e lago com 71,09 Km<sup>2</sup> e na pastagem com 20,68 Km<sup>2</sup>, redução na formação florestal com 85,60 Km<sup>2</sup>. Para o ano de 2015 a 2020, verificou-se que teve um crescimento no rio e lago com 181,44 Km<sup>2</sup> e pastagem com 21,10 Km<sup>2</sup>, já a formação florestal houve redução com 190,94 Km<sup>2</sup> bem como área urbanizada com 1,56 Km<sup>2</sup>. Já em relação a 2005 a 2020, constatou-se que houve vasto crescimento no rio e lago com

585,65 Km<sup>2</sup> e pastagem com 22,62 Km<sup>2</sup>, assim como grande redução na formação florestal de 585,19 Km<sup>2</sup> e redução na área urbanizada com 3,68 Km<sup>2</sup> e formação campestre com 21,16 Km<sup>2</sup>. Foi verificado que a redução de formação florestal ficou com área semelhante a do crescimento do rio e lago para os anos de 2005 a 2020.

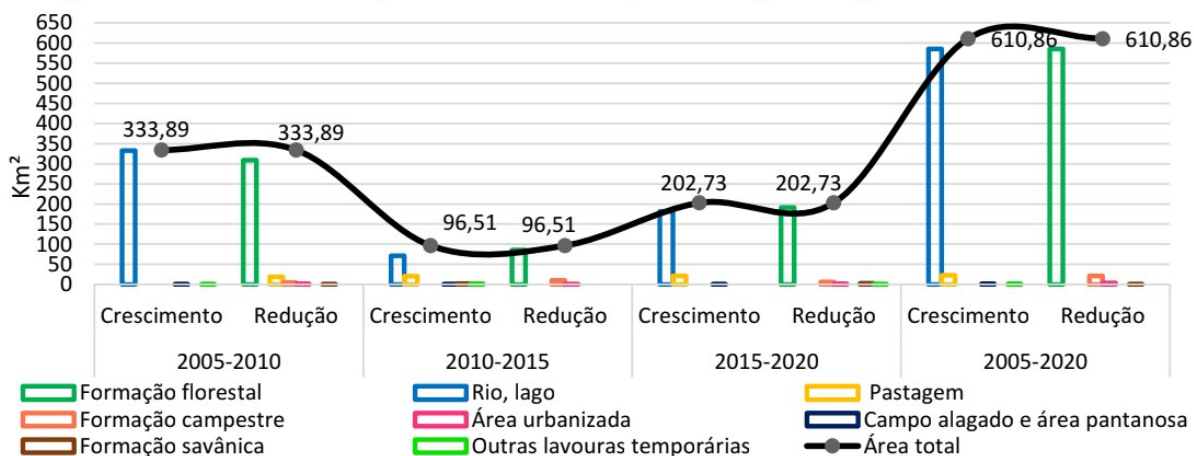
Tabela 17 - Mudanças no uso e ocupação da terra da área de Novo Repartimento que compreende a área da bacia hidrográfica, no período de cinco em cinco anos.

Tipo de uso do solo	2005-2010 (Km <sup>2</sup> )	2010-2015 (Km <sup>2</sup> )	2015-2020 (Km <sup>2</sup> )	2005-2020 (Km <sup>2</sup> )
Formação florestal	-308,65	-85,60	-190,94	-585,19
Rio, lago	333,12	71,09	181,44	585,65
Pastagem	-19,16	20,68	21,10	22,62
Formação campestre	-4,22	-10,43	-6,51	-21,16
Área urbanizada	-1,64	-0,48	-1,56	-3,68
Campo alagado e área pantanosa	0,45	0,86	0,19	1,50
Formação savânica	-0,22	2,34	-2,95	-0,83
Outras lavouras temporárias	0,32	1,54	-0,77	1,09
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>667,78</b>	<b>193,02</b>	<b>405,46</b>	<b>1.221,72</b>

Fonte: Autora (2022).

Pode ser visto na Figura 23, que para o Novo Repartimento em 2005 a 2010 teve um vasto crescimento para rio e lago bem como uma grande redução na formação florestal, a área de crescimento foram as mesmas com 333,89 Km<sup>2</sup>. Para 2010 a 2015 a área de formação florestal e rio e lago tiveram áreas menores que os anos de 2005 a 2010, porém houve um crescimento na pastagem, para este mesmo tempo o crescimento e redução foi de 96,51 Km<sup>2</sup>. Já para o ano de 2015 a 2020, constatou-se um crescimento no rio e lago e pastagem, já a formação florestal houve avanço na redução, o crescimento e redução para este período foi de 202,73 Km<sup>2</sup>. Em relação a 2005 a 2020, verificou-se que houve amplo crescimento no rio e lago e ainda na pastagem, assim como extensa redução na formação florestal e redução na formação campestre, o crescimento e redução para este período foi de 610,86 Km<sup>2</sup>.

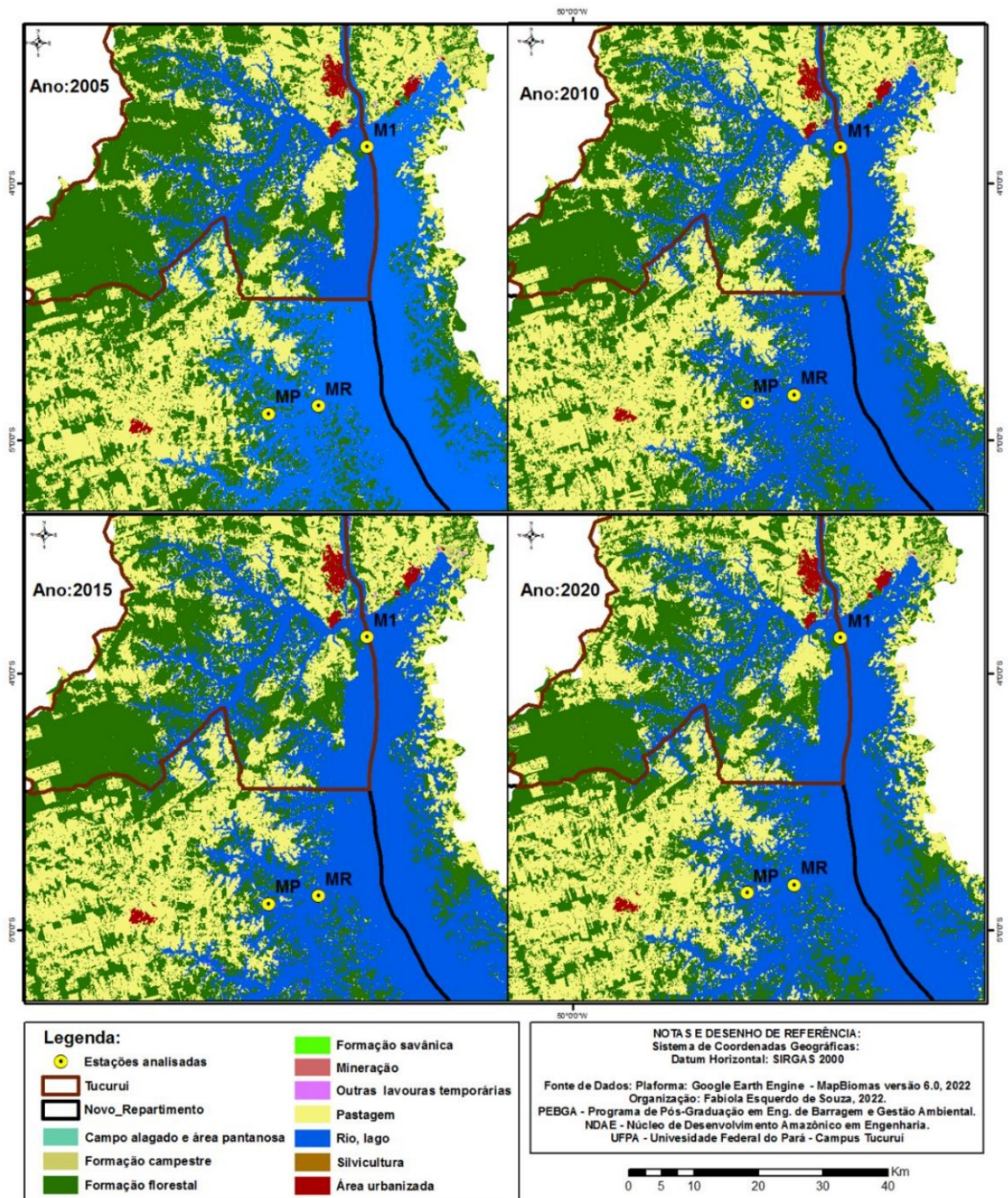
Figura 23 - Crescimento e redução da área de Novo Repartimento que abrange a bacia.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 24 apresenta o uso e ocupação da terra em relação a estações de coleta (M1, MP, MR) e análises limnológica a montante do reservatório da UHE Tucuruí, através das imagens pode-se observar a evolução dos usos da terra com o avanço de pastagem próximo as estações e a redução de formação florestal.

Figura 24 - Crescimento e redução da área de Tucuruí que abrange a bacia.



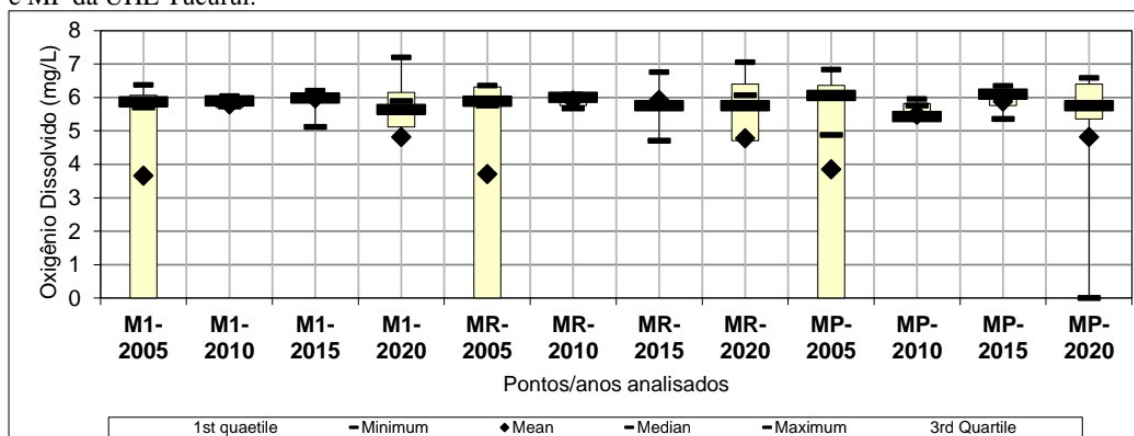
Fonte: Autora (2022).

Em relação a análise de qualidade da água das estações M1, MR e MP, foram comparando os valores dos principais parâmetros monitorados em 2020 com os resultados obtidos nos anos anteriores (2005, 2010, 2015), mediante a avaliação estatística, a análise gráfica dos “boxplot” e o confronto dos valores apresentados na tabela, evidenciam-se o comportamento descrito a seguir, por estação amostrada.

Na estação M1, situada próxima à barragem, observa-se a manutenção da tendência de melhoria contínua da qualidade da água nos últimos cinco anos. Os principais parâmetros monitorados apresentaram uma evolução favorável ao estabelecimento e manutenção de condições oligotróficas.

A Figura 25 mostra que os níveis de oxigênio dissolvido na superfície foram mais elevados em 2005 quando comparados com os anos de 2010, 2015 e 2020, apresentando valores máximos em torno de 6,4 mg/L, no mês de maio, época de cheia. As concentrações oscilaram entre 5,49 mg.L<sup>-1</sup> (2010) a 6,49 mg.L<sup>-1</sup> (2005) para o MP.

Figura 25 - Valores do oxigênio dissolvido na camada superficial de água das estações de monitoramento M1, MR e MP da UHE Tucuruí.

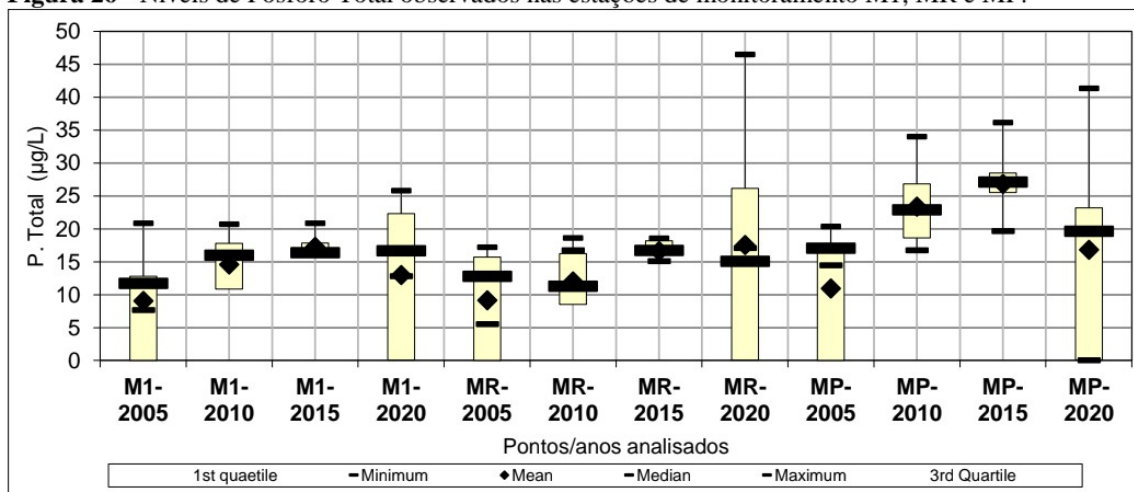


Fonte: Autora (2022).

As concentrações de oxigênio dissolvidos pode ter relação com o aumento da pastagem próximo a este ponto que fica situado próximo ao Município de Novo Repartimento. Em estudo realizado em bacia hidrográfica por Vanzela, Hernandez e Franco (2010), fizeram uma correlação entre o uso e a ocupação a terra e os recursos hídricos, em que relata a importância desta informação para a gestão dos recursos hídricos. Vale ressaltar que a oxidação da matéria orgânica, é resultado da atividade dos microrganismos, perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (ferro e manganês), contribuem para a redução da concentração do oxigênio na água. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (CETESB, 2018).

A Figura 26 apresenta o comportamento do variável fósforo total para a estação M1, MR e MP na superfície para o período de 2005, 2010, 2015, 2020. Em 2015, o MP mostrou-se com valor de 26,82µg/L em relação a todos as estações e anos analisados, isto para o fósforo total, em águas superficiais. E em praticamente todos os anos o MP apresentou resultados superiores ao M1 e MR, mesmo assim, continuam inferiores ao limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/05, 30µg/L.

**Figura 26** - Níveis de Fósforo Total observados nas estações de monitoramento M1, MR e MP.

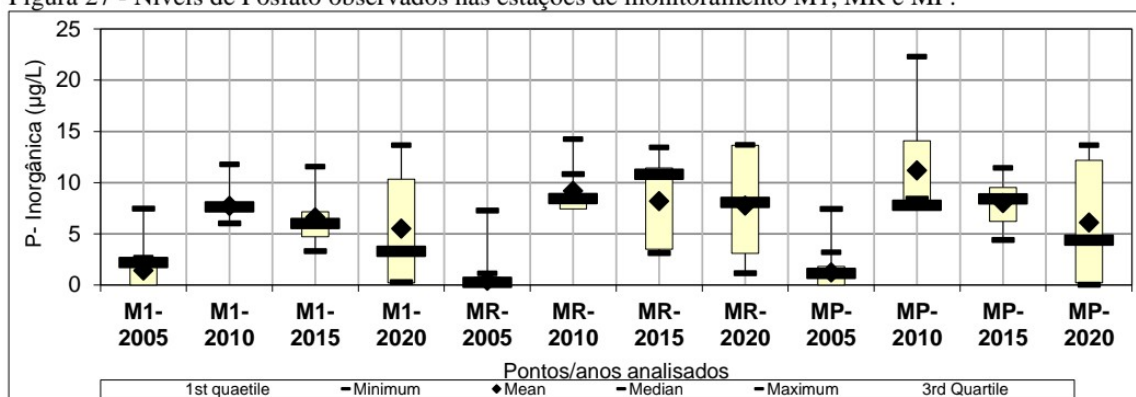


Fonte: Autora (2022).

De acordo com Faria (2012), a crescente concentração de fósforo total acontece especialmente ao uso da terra pela atividade da pecuária extensiva, o qual observou-se o avanço da classe de pastagem na análise através de imagens de satélite, a qual é vista na proximidade da estação MP em 2015, mais precisamente no ponto MP, o qual apresenta maior influência com a atividade pecuária, devido se situar próximo das águas do lago, o qual pode ocorrer contaminação de produtos como ração, esterco de gado ou outro tipo de produto utilizado para melhorar o solo.

As concentrações de fosfato verificadas nas águas das estações que afluem ao reservatório (M1, MR e MP), mostrado na Figura 27, apresentaram valores entre 11,80 µg/L (MP – 2010) a 0,70 µg/L (MR - 2005) para o fosfato. A estação M1 apresentou os valores menores que as outras estações analisadas em todos os anos.

Figura 27 - Níveis de Fosfato observados nas estações de monitoramento M1, MR e MP.

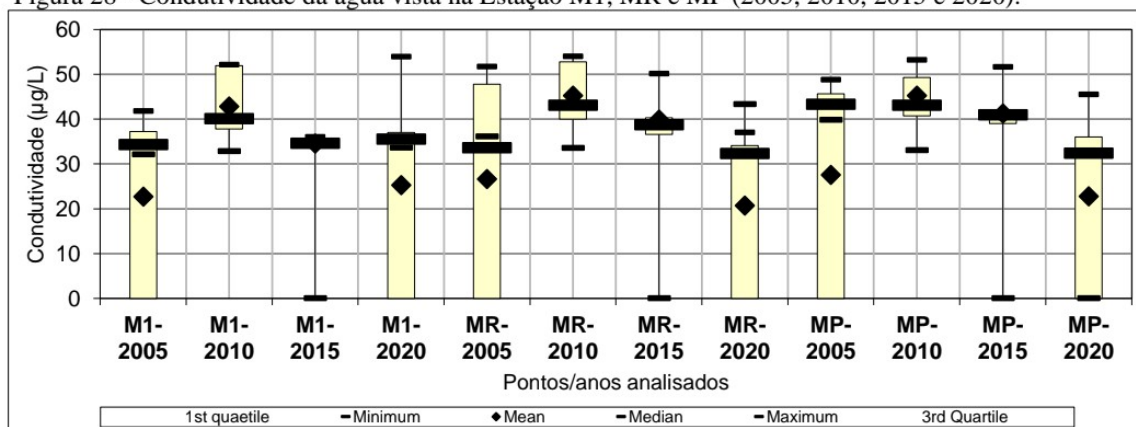


Fonte: Autora (2022).

Um dos fatores que ocasiona a liberação do fosfato, é a partir da forma cristalina dos minerais primários da rocha, ocorre pela desagregação desta pela intemperização. O fosfato liberado da rocha é carregado pelas águas de escoamento superficial e pode alcançar os diferentes ecossistemas aquáticos sob as principais formas: solúvel (menos provável) e absorvido às argilas. Esta última é, sem dúvida, a via mais importante de acesso de fosfato aos ecossistemas aquáticos tropicais, devido à frequência de solos argilosos (solos antigos e muito intemperizados) (CETESB,2018). É importante lembrar que as fontes artificiais de fosfato mais importantes são esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial contido na atmosfera.

A condutividade elétrica, parâmetro indicador da riqueza e disponibilidade iônica do sistema, mostrou-se estável, com valores medianos de 45,90 (MP) e 34,47(MR) µS/cm em 2005 e 2020, respectivamente, na superfície. Este comportamento pode ocorrer devido as variações nos níveis de cálcio, magnésio, sódio e potássio, que apresentaram comportamento semelhante, haja vista fazerem parte do conteúdo iônico do sistema (Figura 28).

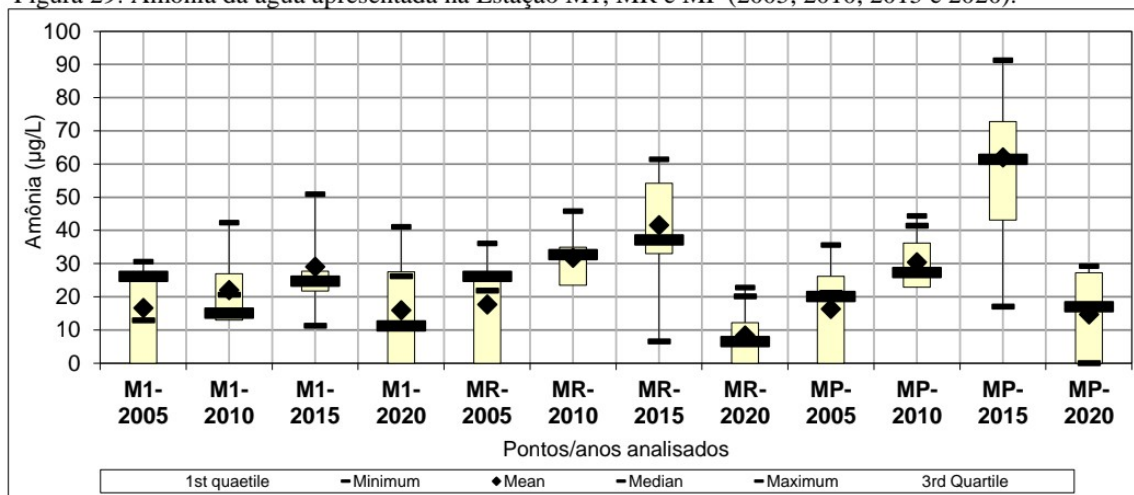
Figura 28 - Condutividade da água vista na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020).



Fonte: Autora (2022).

Os níveis de amônia em MP apresentaram maiores valores em relação ao M1 e MR, com  $62\mu\text{g/L}$  (2015), visto que o menor valor foi  $10,37\mu\text{g/L}$  para o MR em 2020, isto para superfície (Figura 29). Porém, os níveis de nitrogênio amoniacal observados são inferiores aos limites estabelecidos pelo Conama nº 357/05, que estabelece limites máximos de  $3.700\mu\text{g/L}$ .

Figura 29: Amônia da água apresentada na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020).



Fonte: Autora (2022).

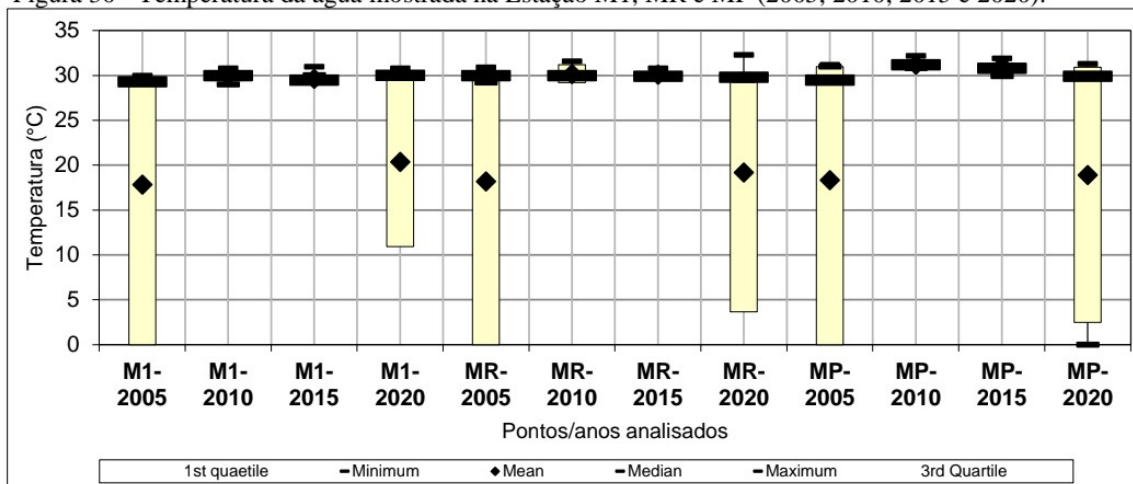
Vale ressaltar que as estações MR e MP estão localizadas em regiões marginais (margem esquerda do reservatório) chamada Repartimento, mostrando elevado tempo de residência da água. Estas características, aliadas à morfometria do braço e influenciadas pelos usos do solo naquele trecho, favorecem uma maior produtividade primária, tornando esta região bem sensível, do ponto de vista limnológico. Esse braço mostra melhora da qualidade da água do reservatório, porém, mais lentamente, em função da reduzida taxa de renovação de suas águas.

As principais fontes naturais de nitrogênio podem ser: chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e fixação do nitrogênio molecular dentro do próprio lago. Dentre as diferentes formas, o nitrato e a amônia, são formas diretas para os produtores primários (ESTEVEZ, 1998). Estes nutrientes chegam ao ambiente aquático através da fixação biológica, chuva, e atualmente, em grande escala, assim como ocorre com o fósforo, pelo aporte de efluentes industriais não tratados e descarga de esgotos domésticos. Portanto, as concentrações de nitrogênio são influenciadas pelo tipo de vegetação e pelas atividades no seu entorno (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Os resultados de temperatura da água das estações da UHE Tucuruí (Figura 30) apresentaram valores entre  $23,65^{\circ}\text{C}$  (2020) a  $31,20^{\circ}\text{C}$  (2010) ambos valores encontrados no MP no período da cheia, sendo valores observados na superfície, evidenciando pequenos

gradientes nos valores de temperatura da água, ao longo dos anos analisados nas estações de monitoramento no reservatório (M1, MR e MP).

Figura 30 - Temperatura da água mostrada na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020).

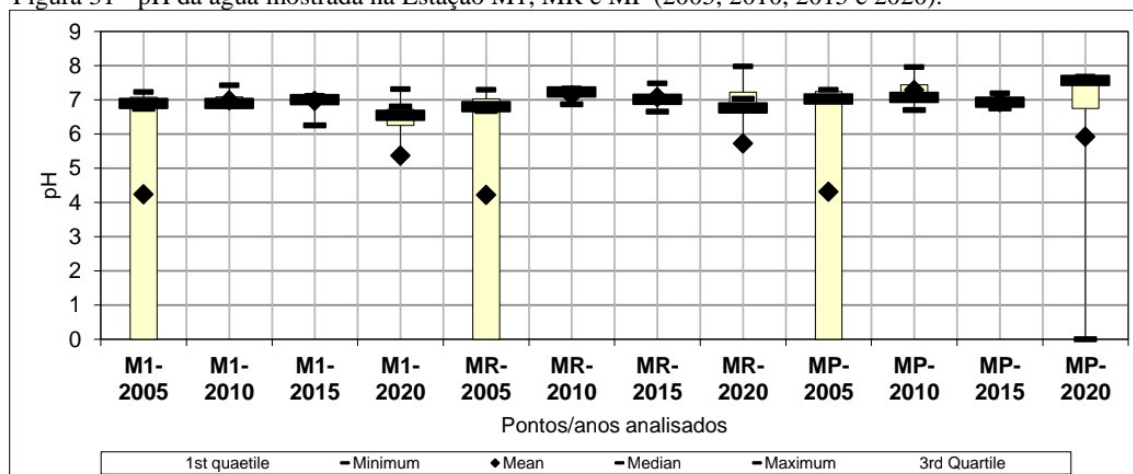


Fonte: Autora (2022).

Variações de temperatura é parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, vazão e profundidade. A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas.

Nesta análise, os valores de pH encontrados nas águas do reservatório (Figura 31) mantiveram-se equilibrados durante os anos analisados, os valores foram entre 6,71 (M1) e 7,40, em 2020, no período da cheia dos rios.

Figura 31 - pH da água mostrada na Estação M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020).

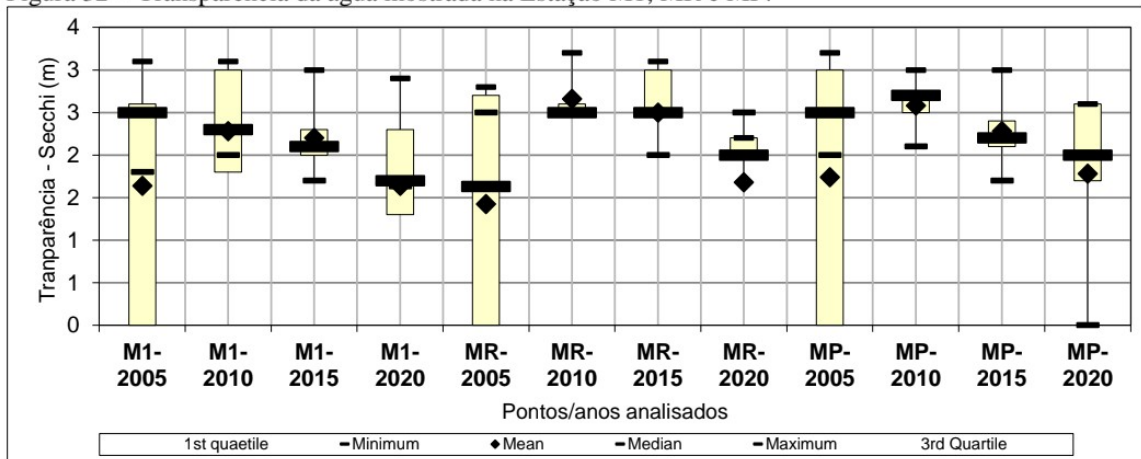


Fonte: Autora (2022).

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais é direta por causa dos efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies, mas também tem um efeito indireto muito importante podendo, em determinadas condições, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, e sobre a solubilidade de nutrientes. Desta maneira, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, em que os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9, inclusive mencionadas na legislação federal, por meio da Resolução Conama n° 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente.

Na Figura 32, os valores de transparência da água observados nas estações M1, MR e MP mantiveram estáveis nos anos analisados na campanha realizada no período de 2005, 2010, 2015 e 2020, quando ocorre baixa vazão afluente ao reservatório, e em consequência pouco carreamento de solo das margens para o reservatório. Os menores valores foram observados na campanha realizada no período de cheia caracterizado pela inundação das margens do reservatório e carreamento de solo para o rio, contribuindo para o aumento da quantidade de material em suspensão e, por consequência, diminuição da transparência da água, sendo observado até diferenças significativas nos valores entre as margens do lago.

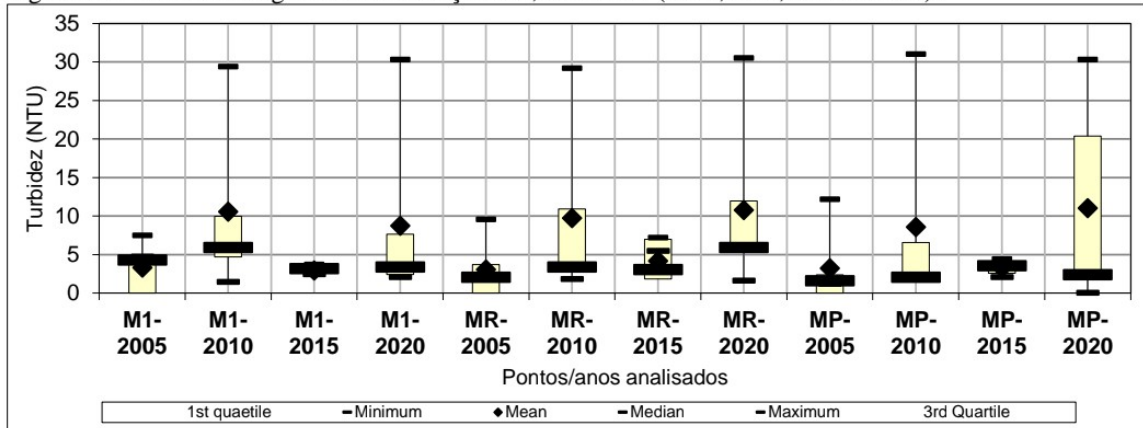
Figura 32 - Transparência da água mostrada na Estação M1, MR e MP.



Fonte: Autora (2022).

Os valores de turbidez das águas superficiais variaram entre 2,90 UNT (M1 -2015) e 13,78 UNT em MP 2020 (Figura 33). A turbidez apresentou os maiores valores para o ano de 2020 com 10,93 UNT (M1), 13,45 UNT (MR) e 13,78 UNT (MP).

Figura 33 -Turbidez da água vista na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020).

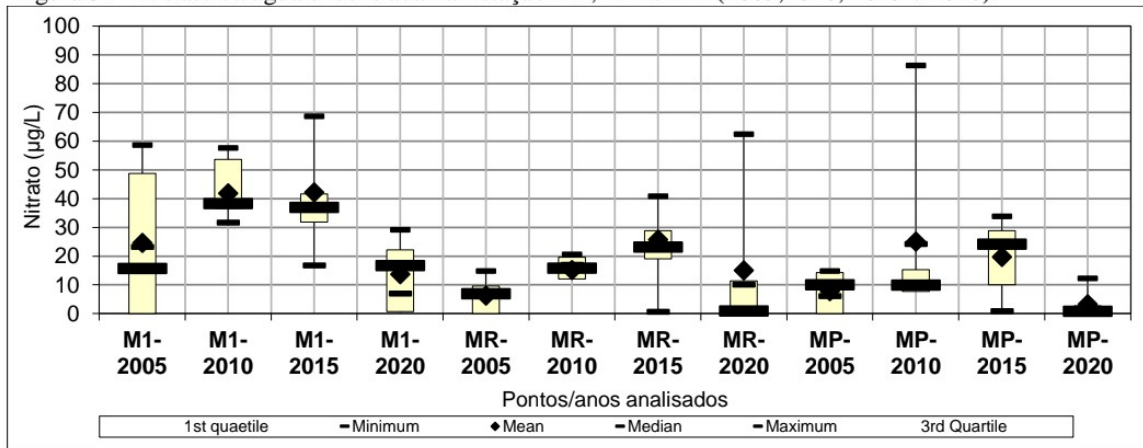


Fonte: Autora (2022).

A diminuição da transparência da água, coincide com a intensificação do período chuvoso e cheia da região, com maior aporte de partículas sólidas do solo oriundas das margens adjacentes da área de influência do reservatório, ocasionando o aumento da turbidez e, consequentemente, a diminuição da transparência da água.

Os níveis de Nitrato para estas análises foram de 4,03 µg/L (MP – 2020) a 42,15 µg/L (M1 – 2015), o M1 apresentou valores semelhantes para os anos de 2005, 2010 e 2015. Vale ressaltar que o ano de 2020 apresentou menores resultados para todas as estações analisadas em relação aos anos avaliadas. Nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2020, as concentrações ultrapassaram o limite de 10 mg.L-1 preconizado pela Resolução CONAMA 357/05, para o enquadramento de corpo hídrico na Classe II (Figura 34). Ficando desta forma apenas o MP enquadrado a legislação.

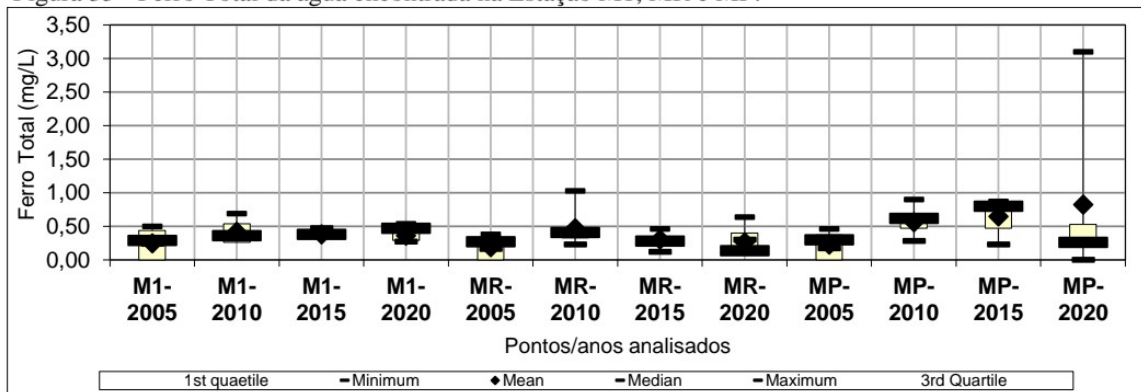
Figura 34 - Nitrato da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020).



Fonte: Autora (2022).

Quanto ao parâmetro Ferro dissolvido, com base na Resolução CONAMA nº357/2005, que estabelece o limite de  $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ , verifica-se que em os valores de Ferro Total encontrados nas águas do reservatório (Figura 35) tiveram acima do limite permissível no M1 – 2005, M1 – 2010, MR -2010, MP-2010, MP – 2015, M1 – 2020, MP - 2020. Os maiores limites foram encontrados no MP – 2020 com  $1,3 \text{ mg/L}$  e o menor foi de  $0,30 \text{ mg/L}$  no MR - 2015, no período da cheia dos rios.

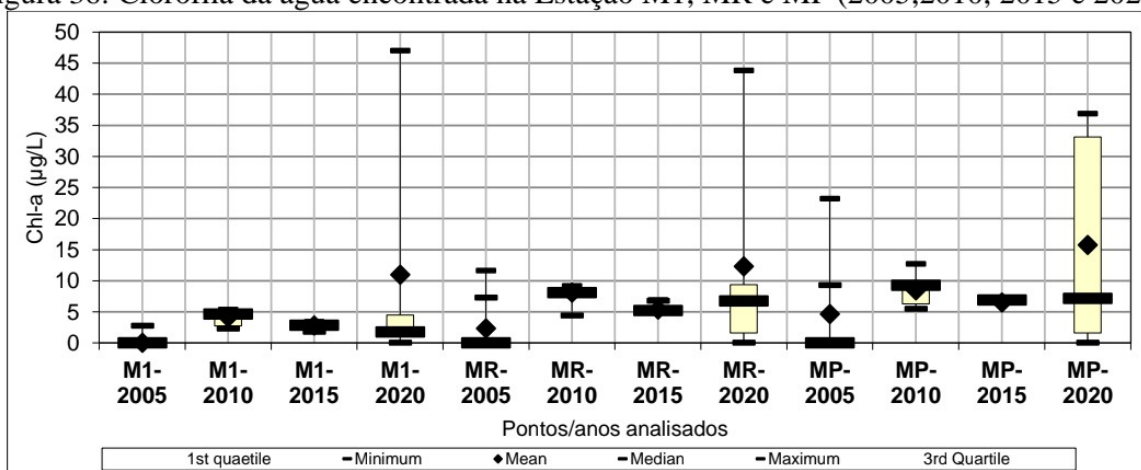
Figura 35 - Ferro Total da água encontrada na Estação M1, MR e MP.



Fonte: Autora (2022).

Os resultados de clorofila da água das estações da UHE Tucuruí (Figura 36) apresentaram valores entre  $2,80 \mu\text{g/L}$  (M1 - 2015) a  $23,22 \mu\text{g/L}$  (MP - 2005) ambos valores encontrados no período da cheia, sendo valores observados na superfície, evidenciando pequenos gradientes nos valores de temperatura da água, ao longo dos anos analisados nas estações de monitoramento no reservatório (M1. MR e MP).

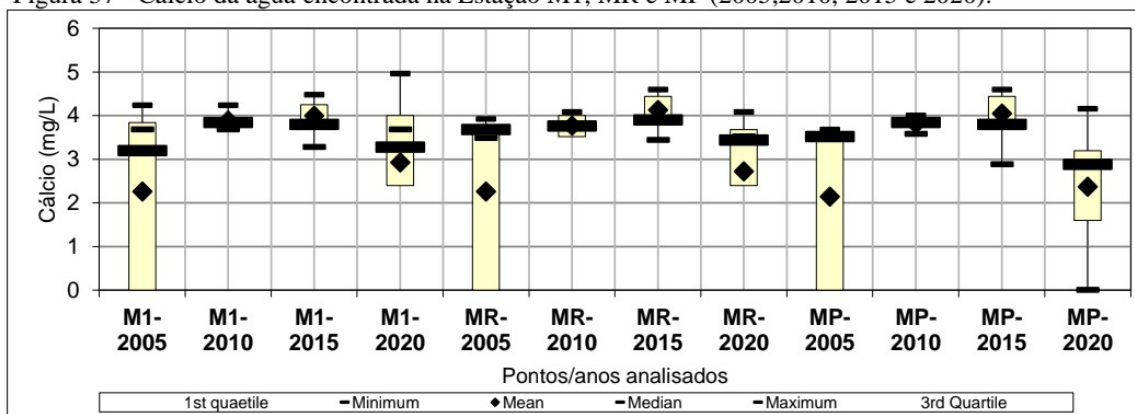
Figura 36: Clorofila da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020).



Fonte: Autora (2022).

Para a cálcio da água das estações da UHE Tucuruí, mostram resultados entre 2,96 mg/L (MP - 2015) a 4,12 mg/L (MR - 2015), os valores de M1 estiveram estáveis para o período analisado, sendo valores observados na superfície, conforme observado na Figura 37.

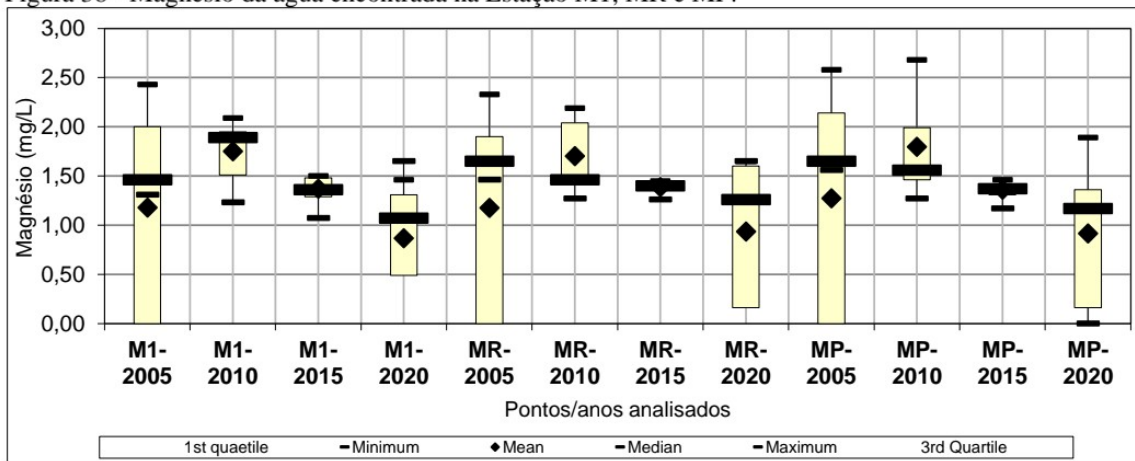
Figura 37 - Cálcio da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010, 2015 e 2020).



Fonte: Autora (2022).

Os resultados de Magnésio da água das estações M1, MR e MP, apresentam resultados entre 1,08 mg/L (M1 - 2020) a 2,12 mg/L (MP - 2020), os valores de 2015 estiveram estáveis em todas as estações, sendo valores observados na superfície, conforme observado na Figura 38.

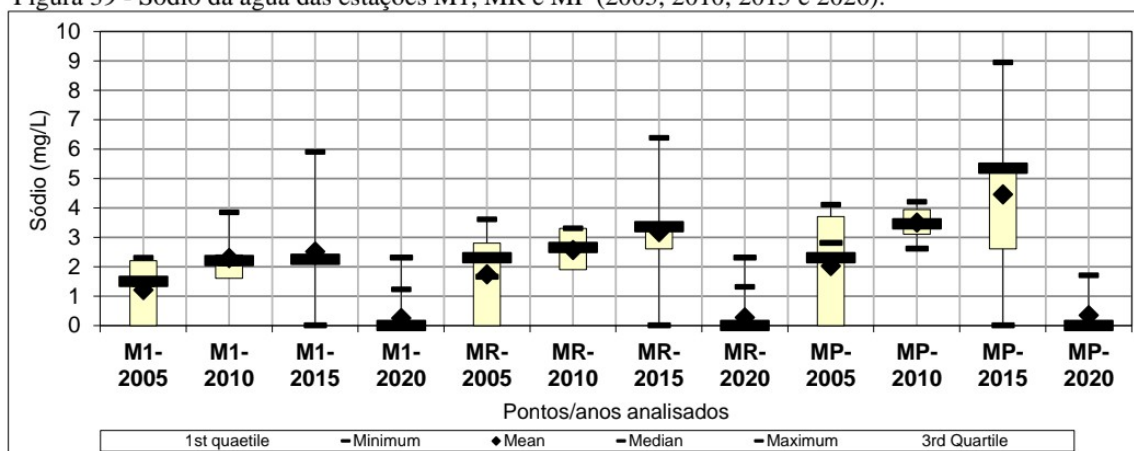
Figura 38 - Magnésio da água encontrada na Estação M1, MR e MP.



Fonte: Autora (2022).

Para a análise de sódio foi verificado que o maior valor foi de 4,46 mg/L para o MP em 2015, e o menor foi de 0,33mg/L no MR em 2020, observou-se que em 2020 os valores das três estações foram baixos, o M1 apresentou valores baixos em todos os anos analisados (Figura 39).

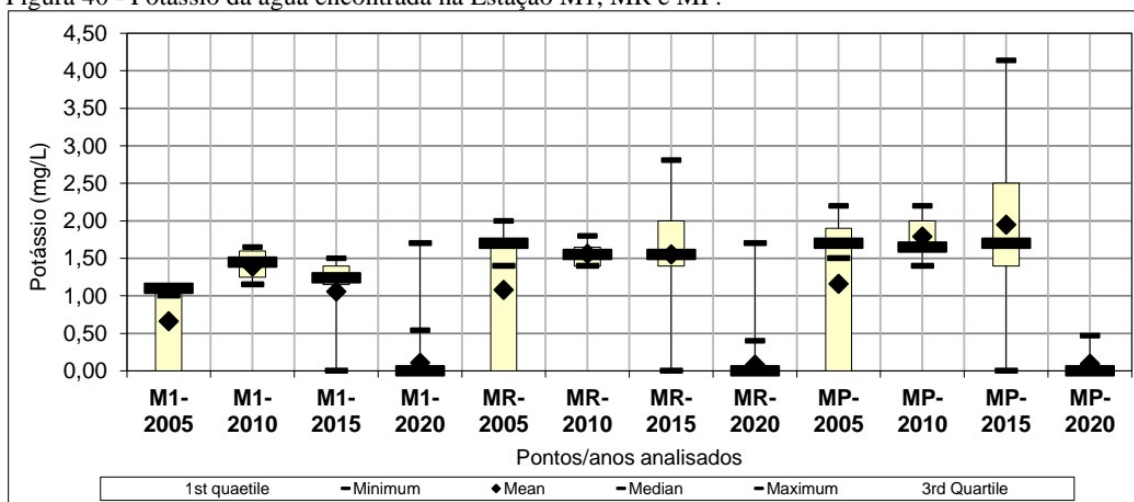
Figura 39 - Sódio da água das estações M1, MR e MP (2005, 2010, 2015 e 2020).



Fonte: Autora (2022).

Os resultados de Potássio da água das estações M1, MR e MP, mostram resultados entre 0,10 mg/L (MR - 2020) a 1,95 mg/L (MP - 2015), os valores de 2020 estiveram menores em toda as estações, sendo valores observados na superfície, conforme observado na Figura 40.

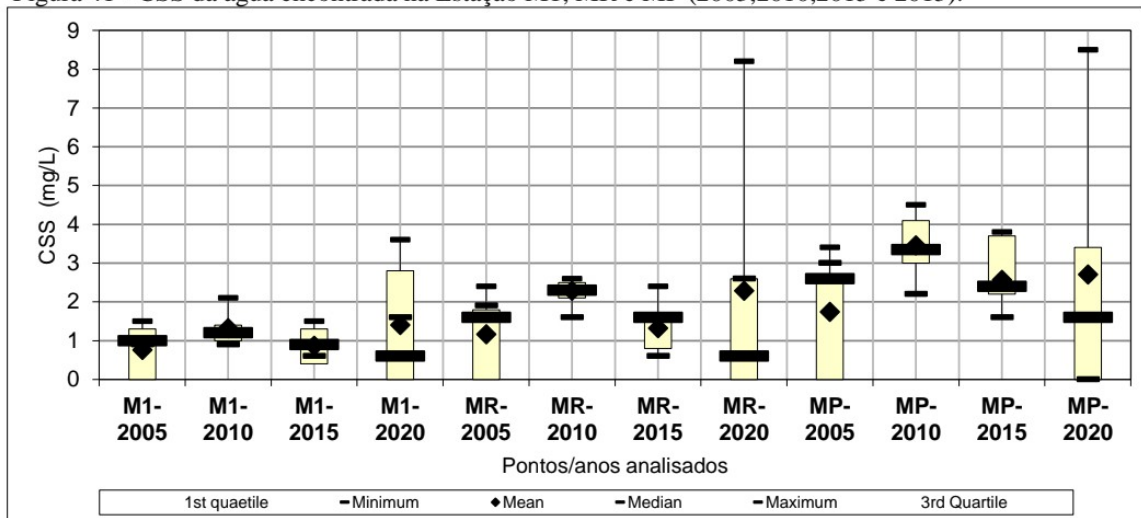
Figura 40 - Potássio da água encontrada na Estação M1, MR e MP.



Fonte: Autora (2022).

Pode ser observado na Figura 41 que houve variação espacial entre as estações M1, MR e MP para o parâmetro de Concentração de Sólidos Suspensos - CSS, com o valor máximo de 4,50 mg.L<sup>-1</sup> (MP - 2020) e mínimo de 0,80 mg.L<sup>-1</sup> (M1-2015). O M1 apresentou menores valores para CSS em todos os anos, e os menores valores para todas as estações foram em 2015, já em 2020 teve aumento em todas as estações de amostragem. As análises do M1, MR e MP encontram abaixo do máximo permitido para águas Classe II pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que é de <10 mg.L<sup>-1</sup>.

Figura 41 - CSS da água encontrada na Estação M1, MR e MP (2005,2010,2015 e 2015).



Fonte: Autora (2022).

A hidrelétrica de Tucuruí foi construída no início de 1979, no qual sua primeira fase aconteceu em 1976 e 1984 e a segunda fase entre 1998 e 2006 (ELETRONORTE, 2010). E fica localizada na Amazônia Central e região sudoeste do estado do Pará.

Conforme mapeamento do uso e cobertura da terra da área de Novo Repartimento, as possíveis influências na qualidade da água devem corresponder às atividades antrópicas associadas predominantemente às classes de pastagem próximo as estações MR e MP, isto devido a atividades agropecuárias e agricultura na área de Novo Repartimento.

Na área de Tucuruí, próximo à estação M1 fica localizado o lixão de Tucuruí (aproximadamente 5 km) e o matadouro do município, ambos situados m frente à Vila Permanente e a barragem da UHE Tucuruí. Observa-se que nesta área a pecuária, agricultura rudimentar e atividade de pesca com tanques rede são atividades recorrentes na região do lago. Vale ressaltar que, as ilhas ao entorno do reservatório vêm sendo ocupada. Isto vem ao encontro ao mapeamento de uso e ocupação da terra na área de Tucuruí, apresentando avanço na pastagem, em outras lavouras temporárias, na silvicultura e na mineração, vale destacar que esse crescimento de uso e ocupação da terra ocorreu em todos os anos analisados.

A classe de floresta teve a diminuição gradativa em toda a série temporal de 2005 a 2020, e crescendo em áreas descobertas que estão fortemente relacionados com o modo de pecuária e agricultura adotado nessa região, tanto para Novo Repartimento como para Tucuruí.

Em 2005-2010 percebeu-se através de análises de imagens de satélite que houve um crescente avanço de pastagem na área de abrangência das estações, MR e MP situadas em Novo Repartimento (333,13 km<sup>2</sup>) e M1 localizada em Tucuruí (3,83 km<sup>2</sup>), para 2005 a qualidade da

água teve alteração na Chl-a com 23,22 µg/L (MP), condutividade com 45,90 µg/L (MP), oxigênio dissolvido com 6,42 mg/L (MP), sódio com 3,37 mg/L (MP), cálcio com 3,57 mg/L (MP), magnésio com 2,12 mg/L (MP), potássio com 1,93 mg/L (MP), amônia com 29,49 µg/L (MR), fosfato com 2,34 µg/L (M1), fósforo total com 18,22 µg/L (MP), nitrato com 41,05 µg/L (MP), concentração de sedimentos suspensos com 2,90 mg/L (MP), ferro total com 0,41 mg/L (M1), turbidez com 5,45 NTU (M1), transparência com 2,90 m (MP), temperatura com 30,57°C, pH com 7,19 (MP)

Segundo Callisto e Anacléto (2015), a qualidade da água disposta em reservatório de UHE é resultado da dinâmica da bacia de drenagem e em seu entorno a começar dos usos e tipos de ocupação da terra, modificações antrópicas e alterações nos habitats, atribuindo alterações nas características de qualidade da água, devendo acarretar grandes prejuízos a biodiversidade aquática e ao adequado desempenho do ecossistema.

O reservatório da UHE Tucuruí é de grande porte, no qual pode ocorrer a autodepuração, que é capacidade de lago restaurar suas características ambientais de forma natural, por causa da decomposição de poluentes. Diante disto, Lolla (2018) relata que os impactos desse uso ainda que sejam pequeno, mas é importante verificar a quantidade e disponibilidade que causam sobre a qualidade dos recursos hídricos, sua ampla ordenação territorial faz com que sua relevância não possa ser ignorada, por ser um recurso finito e no qual necessita ser preservado.

Apesar do reservatório da UHE Tucuruí ser de grande extensão, faz-se necessário a existência de políticas públicas e gestão do reservatório planejando o manejo, a conservação e a sustentabilidade pertinentes para assegurar a vida da biodiversidade terrestre e aquática. Vale destacar a importância dos recursos do sensoriamento remoto e das geotecnologias para o diagnóstico temporal através do mapeamento e análise temporal da bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29), no que se apresenta como uma ferramenta viável e que suporta ampla abundância de dados, como ocorreu para esta bacia que compreende todo e parte de vários municípios, gerando resultados trabalhados e validados, em que servem de subsídio para plano de ação e planejamento da bacia hidrográfica.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo estatístico gerado a partir do infravermelho próximo apresentou boa correlação para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão, proporcionando satisfatória relação linear do M1 do reservatório da UHE Tucuruí, apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) no valor de 0,98 e intervalo de confiança de 95% para estação a montante M1, podendo ser usado como técnica para mapeamentos rápidos e de baixo custo. Vale lembrar que, para um bom resultado é necessário realizar vários testes para validar um modelo, visto que para essa pesquisa foram utilizadas 148 bandas do MODIS (MODO9A1 e MODO9Q1), com período de 8 dias, no qual abrange a data da coleta *in loco*.

Os dados de reflectância (R) podem ser usados como uma solução alternativa para monitoramento e compreensão da distribuição da concentração de sólidos em suspensão em reservatórios, indicando que o sensoriamento remoto é um importante instrumento que auxilia no estudo da composição da água do reservatório.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29), utilizando dados do MapBioma, em que utilizou-se imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 para o período de 35 anos permitiu identificar a redução da área percentual de formação vegetal em detrimento do aumento das áreas correspondentes às demais classes temáticas: pastagem, área urbana, água, mineração, silvicultura e outras lavouras temporárias ao longo dos anos

A criação dos mapas de uso da terra possibilitou analisar as mudanças ocorridas na formação florestal e paisagem da região da bacia hidrográfica Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz (ANA-Código: 29). Em 35 anos (5 em 5 anos), para os anos de 1985 a 2020 a área urbanizada aumentou cerca de 0,25%, o que corresponde a 185,42 km<sup>2</sup>. Houve também um aumento na área de rio e lago de 0,44% o que corresponde 79,78 km<sup>2</sup>, ainda devido à formação do lago do reservatório da usina e a inauguração da segunda parte da UHE. A classe que mais aumentou foi a pastagem que cresceu 26.800,7 km<sup>2</sup> o que representa 36,06% da área. Conseqüentemente, a classe de formação florestal da área de estudos reduziu cerca 26483,6 km<sup>2</sup>. Através de imagens de satélite foi possível observar que em todos os anos analisados houve redução da vegetação, bem como o crescimento da pastagem, área urbanizada, mineração e outras lavouras temporárias.

Deste modo, pode-se observar a relevância de trabalhos usando técnicas de sensoriamento remoto e geotecnologias, como instrumentos que auxiliam nas análises, no planejamento, e gestão do uso e ocupação da terra verificando proporcionando a redução dos impactos ambientais ocasionados em bacia hidrográfica que abrange usinas hidrelétricas.

Para a relação de limnologia decorrente do uso e ocupação da terra foi possível perceber que em 2005, o avanço de pastagem próximo as estações MR e MP cresceram em virtude do desenvolvimento da região, isto pode ter relação com a modificação de qualidade da água, os maiores valores foram encontrados na estação MP para Chl-a com 23,22 µg/L , condutividade com 45,90 µg/L, oxigênio dissolvido com 6,42 mg/L, sódio com 3,37 mg/L, cálcio com 3,57 mg/L, , fósforo total com 18,22 µg/L nitrato com 41,05 µg/L, concentração de sedimentos suspensos com 2,90 mg/L, temperatura com 30,57°C, pH com 7,19. E para a estação MR foi verificado a presença de amônia com 29,49 µg/L, e para a estação M1 constatou-se fosfato com 2,34 µg/L, ferro total com 0,41 mg/L e turbidez com 5,45 NTU. Isso pode ter relação como avanço da pastagem e também com o período de cheia do reservatório em que as coletas ocorreram no mês de maio, a precipitação, as chuvas na região pode influenciar para na elevação dos dados.

## REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K. C., ROUHOLAHNEJAD, E., VAGHEFI, S., SRINIVASAN, R., YANG, H., KLØVE, B. A Continental-Scale Hydrology and Water Quality Model for Europe: Calibration and Uncertainty of a High-Resolution Large-Scale SWAT Model. *Journal of Hydrology*. p. 737. 2015.

ADIAT, K. A.N.; AKEREDOLU B.E.; AKINLALU A.A.; OLAYANJU G. M. Application of logistic regression analysis in prediction of groundwater vulnerability in gold mining environment: a case of Ilesa gold mining area, southwestern, Nigeria. *Environ Monit Assess* (2020) 192:577. Springer Nature Switzerland AG 2020. Pág 1-17.

ALBUQUERQUE, Debora Duque Estrada de; MONÇORES, Elisa Alonso; MORAES, Luiz Antonio Pazos de. De Tucuruí à Belo Monte, na Esteira do Compromisso Social. XIV ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR. Rio de Janeiro - RJ – Brasil. 2011.p.1-26. Disponível em: <https://anais.anpur.org.br/anaisenapur/article/download>. Acessado em: 18/10/2021.

AKINDELE, E. O., ADENIYI, I. F., INDABAWA, I. I. (2013) Spatio temporal assesment and water quality characteristics of Lake Tiga, Kano, Nigeria, *Research Journal of Enviromental and Earth Science*, 5, p. 67-77.

ALAKA, PATIL A. An Assessment of Water Quality of Borgaon Reservoir in Sangli District of Maharashtra, India. 2014. *International Research Journal of Environment Sciences*. ISSN 2319–1414. Vol. 3(5), May (2014), p. 48-53.

ALVARES C.A.; STAPE J.L.; SENTELHAS P.C; Gonçalves J.L.M.; SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*.; 22 (6): p.711-728.

AYENI, AO; ADESALU, TA. Validating chlorophyll-a concentrations in Lagoa de Lagos using sensing extraction remote and laboratory uorometric methods. *MethodsX* 5. 2018. Pág. 1211. ScienceDirect. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.09.014>.

APHA, 2012: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, New York.

ARAÚJO, ALINE REIS DE OLIVEIRA; ROCHA, GILBERTO DE MIRANDA. Unidades de Conservação em Tucuruí/PA como instrumento de Gestão Territorial. *Anais. IV Encontro Nacional da Anppas*. Brasília-DF, 2008. p. 1 -20.

ARTIGAS, F.; MARTI, A.; YAO, N.; PECHMANN, I. (2008). Chlorophyll Detection and Mapping of Shallow Water Impoundments Using Image Spectrometry. *Research Letters in Ecology*, 2008. p. 1-4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9897, Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9898, Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987b.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARÁ. 2002. LEI Nº 6.451, DE 8 DE ABRIL DE 2002. Cria Unidades de Conservação da Natureza na região do Lago de Tucuruí no território sob jurisdição do Estado do Pará, e dá outras providências. Disponível em: <<https://documentacao.socioambiental.org/documentos/N0D00183.pdf> >. Acesso em: 09 de outubro de 2020.

AUBERTIN, CATHERINE; BECKER, BERTHA; SWAIN, TÂNIA NAVARRO; FERREIRA, IGNEZ COSTA BARBOSA; LÉNA, PHILIPPE; LÉVÊQUE, FRANÇOIS; KONINCK, RODOLPHE DE; COY, MARTIN; BARBOSA, PRISCILA FAULHABER; MOUGEOT, LUC. J. A. Planejamento Hidroelétrico e Reinstalação de Populações na Amazônia: Primeiras Lições de Tucuruí, Pará. *Fronteiras*. Editora Universidade de Brasília. Paris: ORSTOM. 1988. p.231-250.

BANDEIRA, JEFFERSON VIANNA et al. The present migration of São Francisco river mouth: Part II. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Abrh, 2018. Disponível em: <[http://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-201\\_the-present-migration-of-sao-francisco-river-mouth-part-ii](http://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-201_the-present-migration-of-sao-francisco-river-mouth-part-ii)>. Acesso em: 9/02/2021.

BEZERRA, ULISSES ALENCAR. ÍNDICES ESPECTRAIS UTILIZANDO OS SENSORES OLI/LANDSAT-8 E MSI/SENTINEL-2, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ-PE. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/33226/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Ulisses%20Alencar%20Bezerra.pdf>. Acessado em: 12/11/2020.

BORGES, P. P.; TERESA, F. B.; MARTINS, P. T. A.; NABOUT, J. C. Relative influence of direct and indirect environmental effects on sestonic chlorophyll-a concentration in Cerrado streams. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol.27, n. 3, 2015, p. 301-310.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/leis/L9433.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2005.

BRESCIANI, MARIANO; GIARDINO, CLAUDIA; STROPPIANA, DANIELA; DESSENA, MARIA ANTONIETTA; BUSCARINU, PAOLA; CABRAS, LORETTA; SCHENK, KARIN; HEEGE, THOMAS; BERNET, HENDRIK; BAZDANIS, GIORGOS; TZIMAS, APOSTOLOS. Monitoring water quality in two dammed reservoirs from multispectral satellite data, *European Journal of Remote Sensing*, 2019. 52:sup4, p.113-122, DOI: 10.1080/22797254.2019.1686956

CALDERANO FILHO, B.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CALDERANO, S.B.; GUERRA, A.J.T. Suscetibilidade dos Solos à Erosão na Área de Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tombos (MG). *REVISTA GEONORTE*, Edição Especial 4, V.10, N.10, 2014. p.476– 481.

CALLISTO, M.; ANACLÉTO, M.J.P. Avaliação ecológica de empreendimentos hidrelétricos em um cenário de seca extrema. In: *Reunião de Estudos Ambientais e Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis*. 2015. Anais 5ª e II, Porto Alegre: Instituto de Pesquisa Hidráulicas IPH/UFRGS, 2015, p.1-3.

CANTY, M. J. *Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python*. Crc Press, 2014.p.35.

CARAMELO, Sérgio Ulisses Jatobá; CIDADE, Lúcia Cony Faria. Gestão do Território e Conflitos Ambientais na Represa de Tucuruí na Amazônia Brasileira. *Polígonos. Revista de Geografía*, 14. 2004, p. 53-77.

CARNEIRO, F. M., NABOUT, J. C., VIEIRA, L. C. G., ROLAND, F., & BINI, L. M. Determinants of chlorophyll-a concentration in tropical reservoirs. *Hydrobiologia*, 2014.740(1), p.89–99.

CARSTENS, DANA; AMER, REDA. Spatio-temporal analysis of urban changes and surface water quality. Research papers. Department of Earth and Environmental Sciences, Tulane University, New Orleans, LA 70118, United States. ScienceDirect. *Journal of Hydrology*. 2019. Contents lists available at ScienceDirect. *Journal of Hydrology* 569 (2019) 720–734. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol).

CEOS. (2017). Feasibility study for an aquatic ecosystem earth observing sensor. In A.G. Dekker Ed., CEOS report 2017, Canberra: CSIRO.p. 203.

CHAPMAN, D.V. Water quality assessment-a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. CRC Press, New York, 2016.

CHEN G; POWERS R; CARVALHO L; MORA B. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Appl. Geogr.* 63: 1-8. 2015.

CHELOTTI, GIANCARLO BRUGNARA. Análise Espaço-Temporal da Concentração de Sedimentos em Suspensão no Reservatório do Descoberto (DF), por meio de Sensoriamento Remoto. Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Área de Concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental. Brasília – DF. 2017, p.65. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31872>. Acessado em: 25/06/2022.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo, 2011. 326p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. São Paulo. 2018, p.28-30.

CUNHA, D. G. F., SABOGAL-PAZ, L. P., & DODDS, W. K., SABOGAL-PAZ, L. P., & DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil) *Ecol. Eng.* 94, 2016, p. 516–524.

CUNHA, HELÂNDIA BRANDÃO DA CUNHA; PASCOALOTO, DOMITILA. Hidroquímica dos rios da Amazônia. Manaus. Editor: Edições Governo do Estado Data: 2007, p.33-42. Disponível em: <https://issuu.com/bibliovirtualesec/docs/hidroquimicadosriosdaamazonia>. Acessado em: 20/12/2021.

CMB.COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. Estudos de Caso da Comissão Mundial de Barragens - Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil). Relatório Final. 2000. p.165. Disponível em: <http://www.lima.coppe.ufrj.br/index.php/br/producaoacademica/artigos/2002/87--45/file>. Acessado em: 18/10/2021.

DAMIR, T.; CURLIN, M.; MARIC, A.; (2017) Assessing the surface water status in Pannonian ecoregion by the water quality index model. *Ecol Indic* 79: 182- 190.

DENG, XINYUAN; CHUNQIAO, CANÇÃO; LIU, KAI; KE, LINGHONG; ZHANG, WENSONG; MA, RONGHUA; ZHU, JINGYING; WU, QIANHAN. Estimativa de sensoriamento remoto de represamento de água do reservatório em escala de bacia no alto rio Amarelo e implicações para a alteração da descarga do rio. *Journal of Hydrology* 585 (2020) 124791. ScienceDirect *Journal of Hydrology*. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)

DEVERCELLI, M., P. SCARABOTTI, G. MAYORA, B. SCHNEIDER & F. GIRI, 2016. Unravelling the role of determinism and stochasticity in structuring the phytoplanktonic metacommunity of the Paraná River floodplain. *Hydrobiologia Springer International Publishing* 764: p.139–156. DIAS, VIVIANE DE SOUZA. Simulação de vazão aplicada ao reservatório da UHE Furnas Utilizando modelo SWAT. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. 2017. Disponível em: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/bitstream/tede/3679/2/Viviane%20de%20Souza%20Dias.pdf>. Acessado em: 01/08/2020.

DÖRNHÖFER, K., OPPELT, N., 2018. Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. *Ecol. Indic.* 64, p.105 – 122 .

ELETRONORTE. 1988. UHE Tucuruí: Plano de utilização do reservatório: caracterização e diagnóstico do reservatório e de sua área de influência. TUC-10-26346-RE. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 3 Vols

ELETRONORTE.. Manual do Sistema de Gestão Ambiental- UHE Tucuruí. 2018 Pág.34.

ERENA, MANUEL; DOMÍNGUEZ, JOSÉ A.; AGUADO-GIMÉNEZ, FELIPE; SORIA, JUAN; GARCÍA-GALIANO, SANDRA. Monitoring Coastal Lagoon Water Quality through Remote Sensing: The Mar Menor as a Case Study. *Water* 2019, 11, 1468; doi:10.3390/w11071468. Pág 1-19. [www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water)

ESTEVEZ, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 2a edição. Rio de Janeiro, 1998.

FEARNSIDE, PHILIP M. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13(4): 1989. p. 401-423. Versão em português, Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/1990/A%20Hidreletrica%20de%20Balbina%20o%20Faraonismo.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/1990/A%20Hidreletrica%20de%20Balbina%20o%20Faraonismo.pdf). Acessado em: 18/04/2020.

FEARNSIDE, PHILIP M. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24(4). 1999. p.483-495. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br>. Acessado em: 18/04/20.

FEARNSIDE, PHILIP M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27(3). 2001. p.377-396. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br>. Acessado em: 18/10/2021.

FEARNSIDE, PHILIP M. Livro: Hidrelétricas na Amazônia - Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras. Capítulos: 2, 3, 5, 12 e 13. Vol. 1. Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 2015. p.35-74.

FISCH, G.F.; JANUÁRIO, M.; & SENNA, R.C.; 1990. Impacto ecológico em Tucuruí (PA): Climatologia. *Acta Amazônica* 20: p.49-60.

GONZÁLEZ-MÁRQUEZ, LC; TORRES-BEJARANO, FM. Use of LANDSAT 8 images for depth and water quality assessment of El Guájaro reservoir, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*. Volume 82, 2018, pág. 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.01.004>.

GHOLIZADEH, M. H., A. M. MELESSE; L. REDDI. 2016. "A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques." *Sensors* 16 (8): 2016, p.1-43. doi:10.3390/s16081298.

GU, Q.; LI, J.; DENG, J.; LIN, Y.; MA, L.; WU, C.; WANG, K.; HONG, Y. Eco-environmental vulnerability assessment for large drinking water resource: A case study of Qiandao Lake Area, China. *Front. Earth Sci.* 2015, 9, p578–589.

GU, Q., HU, H., MA, L., SHENG, L., YANG, S., ZHANG, X., ... CHEN, L. (2019). Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using selforganizing map approach. *Ecological Indicators*, 102(February), 633–643. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.017>

GUNKEL, G.; SOBRAL, M. C. (2013). Re-oligotrophication as a challenge for tropical reservoir management with reference to Itaparica Reservoir, São Francisco, Brazil. *Water Sci. Technol.*, Vol. 67, No. 4, p. 708-714.

HANSEN, C.H., WILLIAMS, G.P., ADJEI, Z., BARLOW, A., NELSON, E.J., MILLER, A.W., 2015. Reservoir water quality monitoring using remote sensing with seasonal models: case study of fi ve central-Utah reservoirs. *Lake and Reservoir Management* 31, p225 – 240.

HEEGE, T.; FISCHER, J. (2004). Mapping of water constituents in Lake Constance using multispectral airborne scanner data and a physically based processing scheme. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30, 77–86. doi:10.5589/m03-056.

HO, J.C., MICHALAK, A.M., PAHLEVAN, N., 2019. Widespread global increase in intense lake phytoplankton blooms since the 1980s. *Nature* 574, 2019, p.667 – 670. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1648-7>.

HUA, ANG KEAN. Land Use Land Cover Changes in Detection of Water Quality: A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistics. Hindawi. *Journal of Environmental and Public Health*. Volume 2017, Article ID 7515130, 12 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/7515130>

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese. 2009. p. 411-444.

JUNK, WOLFGANG J.; MELLO, J. A. S. Nunes de. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados*, [s.l.], v. 4, n. 8, p.126-143, abr. 1990. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40141990000100010>.

JUNK, W. J.. et. al. Classificação hidroquímica de rios da Amazônia: uma revisão sistemática e meta-análise. *Caminhos de Geografia*. Uberlândia-MG. v. 21, n. 78, Dez/2020. p. 211-226.

JURAS, ANASTÁCIO AFONSO; CINTRA, ISRAEL HIDENBURGO ANICETO; LUDOVINO, RUI MANUEL ROSÁRIO. A pesca na área de influência da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Estado do Pará. Bol. Téc. Cient. CEPNOR, Belém, v. 4 , n. 1, 2004, p. 77-88,

KARAOUI, ISMAIL; ARIOUA, ABDELKRIM; BOUDHAR, ABDELGHANI; HSSAISOUNE, MOHAMMED; MOUATASSIME, SABRI EL; OUHAMCHICH, KAMAL AIT; ELHAMDOUNI, DRISS. Evaluating the potential of Sentinel-2 satellite images for water quality characterization of artificial reservoirs: The Bin El Ouidane Reservoir case study (Morocco). Meteorology Hydrology and Water Management. Research and operational applications. 2019.pág 37. Vol. 7 Issue 1. <https://doi.org/10.26491/mhwm/95087>. Disponível em: <http://www.mhwm.pl/Evaluating-the-potential-of-Sentinel-2-satellite-images-for-water-quality-characterization,95087,0,2.html>. Acessado em: 05/09/2020.

KLEIN-GUNNEWIEK, ÁTILA FOSTER. ANÁLISE HIDRODINÂMICA ATRAVÉS DA MODELAGEM COMPUTACIONAL DO RESERVATÓRIO DA UHE BARRA BONITA – SP. 2019. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/334209>. Acessado em: 15/02/2021.

KONAPALA, G., MISHRA, A., 2020. Quantifying clima and catchment control on hydroseca lógica no território continental dos Estados Unidos. Recursos de água. Res. 2020, p.56 <https://doi.org/10.1029/2018WR024620>.

KUWAJIMA, JULIO ISSAO. Avaliação de Perfrmance Computacional de Simplificações da Equação de Saint-Venant aplicadas na Operação da UHE Três Marias, MG. São Carlos. Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo. 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10022017-084413/pt-br.php>. Acessado em: 01/08/2020.

LATRUBESSE, EDGARDO M; ARIMA, EUGENIO Y.; et al. Damming the rivers of the Amazon Basin. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/317588378\\_Damming\\_the\\_rivers\\_of\\_the\\_Amazon\\_basin/link/5ac27446a6fdcccda65f7c5d/download](https://www.researchgate.net/publication/317588378_Damming_the_rivers_of_the_Amazon_basin/link/5ac27446a6fdcccda65f7c5d/download). Acessado em:02/12/2020.

LAW, M.; COLLINS, A. Getting to know ArcGIS for desktop. ESRI press, 2013.

LEDESMA, MARÍA MICAELA; BONANSEA, MATIAS; LEDESMA, CLAUDIA; RODRIGUEZ, CLAUDIA; PINOTTI, LUCIO. Water quality assessment of the Cassaffouth

Reservoir using multivariate statistical techniques. *Revista Científica FAV-UNRC Ab Intus* 2018, 2 (1): p. 27-38 ISSN 2618-2734.

LEDESMA, M.M., BONANSEA, M., LEDESMA, C.R., RODRÍGUEZ, C., CARREÑO, J., PINOTTI, L., 2019. Estimation of chlorophyll-a concentration using Landsat 8 in the Cassaffouth reservoir. *Water Supply*. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.080>

LE, C.F.; LI, Y.M.; ZHA, Y.; SUN, D.Y.; HUANG, C.C.; LU, H. (2009) A Four- Band Semi-Analytical Model for Estimating Chlorophyll-a in Highly Turbid Lakes: The Case of Taihu Lake, China. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, n. 6, p. 1175-1182. 2009.

LEE, Hye Won; LEE, Yong Seok; KIM, Jonggun; LIM, Kyoung Jae; CHOI, Jung Hyun. Contribution of Internal Nutrients Loading on the Water Quality of a Reservoir. *Water* 2019, 11, 1409. Pág. 2. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/7/1409>. Acessado em: 05/03/2021.

LEHNER, B., et al., 2011. Mapeamento de alta resolução dos reservatórios e represas do mundo para rio sustentável fl gestão ow. *Frente. Ecol. Environ.* 9 (9), p. 494 - 502.

LIM, J., CHOI, M., 2015. Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. *Environ. Monit. Assess.* 187 .

LIM, H.C.; BABU, S.; CHASE, J.S.; PAREKH, S.S. (2009) Automated control in cloud computing: challenges and opportunities. In *Proceedings of the 1st workshop on Automated control for datacenters and clouds, ACDC '09*, New York, NY, USA. ACM, 2009. p. 13-18.

LIU, X., FEI, D., HE, G., LIU, J., 2014. Use of PCA-RBF model for prediction of chlorophyll-a in Yuqiao Reservoir in the Haihe River Basin, China. *Water Sci. Technol. Water Supply* 14, p.73–80. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.p.175>.

LIU, HAI; ZHENG, LIANG; JIANG, LIANG; LIAO, MINGWEI. Mudanças no corpo de água de quarenta anos no Lago Poyang e os impactos ecológicos com base nas observações Landsat e HJ-1 A / B. *Journal of Hydrology* 589 (2020) 125161. ScienceDirect. *Journal of Hydrology*. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol).

LIGEIRO, R.; HUGHES, ROBERT M.; KAUFMANN, P. R.; Maceo D. R.; Firmiano, K. R.; FERREIRA, W.; Oliveira, D.R.; MELO, A. S.; CALLISTO, M. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. *Ecological Indicators*, v. 25, 2013, p. 45-57.

LIMA FILHO, GILBERTO QUEIROZ DE. AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO HUMANO. Tese do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/33440>. Acessado em: 03/11/2020.

LOLLO, JOSÉ AUGUSTO. Gestão e qualidade de recursos hídricos, 1 ed. Câmpus de Ilha Solteira, São Paulo, 2018, p.85.

LOURES-MARCIONÍLIO, S.M.L.O.; MACHADO, KARINE BORGES; CARNEIRO, F. M.; FERREIRA, M. E.; CARVALHO, P.; VIEIRA, L. C. G.; HUSZAR, V. L. M.; NABOUT, JÓAO CARLOS. 'Environmental factors affecting Chlorophyll-a concentration in Tropical floodplain lakes, Central Brazil'. Environmental Monitoring and Assessment (Print), 2016.

MARTINEZ, J.M., GUYOT, J.L., FILIZOLA, N., SONDAG, F.. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data: Catena, v. 79, p. 257-264. 2009.

MATSUSHITA, BUNKEI; YANG, WEI; JAELANI, LALU; SETIAWAN, FAJAR; FUKUSHIMA, TAKEHIKO. (2016). Monitoring Water Quality with Remote Sensing Image Data. No livro: Sensoriamento Remoto para Sustentabilidade (pp.357) Editora: CRC Press Editores: Qihao Weng.

MENEZES J.; BITTENCOURT R.; FARIAS M.; BELLO I.; FIA R.; COUTINHO, L. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v.21, n.3., 2016, p. 519-534.

MOHAMMED, I. U; NDAHI, A. K; ADAMU, I. C. Rapid Assessment of Reservoir Water Quality and Suitability indices for Irrigation purpose: A Case Study of Ero and Ele Reservoirs in Ekiti State Nigeria. 2015.p.35. International Journal of Multidisciplinary and Current Research. ISSN: 2321-3124. Available at: <http://ijmcr.com>

MONTOYA, ANDRÉS DANILO VELÁSTEGUI; LIMA, ALINE MARIA MEIGUINS; ADAMI, MARCOS. Mapeamento e Análise Temporal da Paisagem no Entorno do Reservatório de Tucuruí-PA. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 41 - 2 / 2018 p. 553-567. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13013>. Acessado em: 01/08/2020.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Relatório Técnico 02 (RT02). Avaliação das Experiências de Planejamento Regional Associados a Empreendimentos Hidrelétricos. Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável (PDRS) e a Implantação de Usinas Hidrelétricas Estruturantes. Versão Final. Abril de 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36144/471801/Produto+2.pdf/ae7cae03-c9c3-5183-7e8e-c29eccf8889a>. Acessado em: 15/06/2020.

MUALA, E., MOHAMED, Y., DUAN, Z., VAN DER, Z. P., 2014. Estimation of Reservoir Discharges do Lago Nasser e reservatório Roseires na Bacia do Nilo usando dados de imagem e altimetria de satélite. *Remote Sens.* 2014 (6), p.7522 - 7545.

OKI, K. Why is the Ratio of Reflectivity Effective for Chlorophyll Estimation in the Lake Water? *Remote Sens.*, v. 2, 2010, p. 1722–1730.

PAHLEVAN, N., SMITH, B., SCHALLES, J., et al., 2020. Seamless retrievals of chlorophyll-a from Sentinel-2 (MSI) and Sentinel-3 (OLCI) in inland and coastal waters: A machinelearning approach. *Remote Sensing of Environment* 240, 111604. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111604>.

PEIXOTO, DANIELA WANCURA BARBIERI. Caracterização da variação temporal de sólidos em suspensão da água em PCHS no Rio Ivaí – RS. A partir de dados limnológicos e de sensoriamento remoto. Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2018.p.65.

PEREIRA, B. W. F. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Rev. Ambient. Água, Taubaté* , v. 11, n. 2, p. 472-485, jun. 2016 . <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1802>. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-993X2016000200472&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2016000200472&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em: 03/11/2020.

PHILIPSON, PETRA; KRATZER, SUSANNE; MUSTAPHA, SELIMA BEM; STRÖMBECK, NIKLAS; STELZER, KERSTIN. Satellite-based water quality monitoring in Lake Vänern, Sweden, *International Journal of Remote Sensing.* 2016. 37:16, 3938-3960, DOI: 10.1080/01431161.2016.1204480.

PISCOYA, RITA DE CÁSSIA CERQUEIRA CONDÉ; LOPES, JEAN-MICHEL MARTINEZ; ARAÚJO, WALSZON TERLLIZZIE; COCHONNEAU, GÉRARD;

NOGUEIRA, MARCOS GOMES; VENTURA, DHALTON TOSETTO; OLIVEIRA, EURIDES. Caracterização do fluxo de sedimentos no reservatório da UHE Jurumirim utilizando dados do sensor espacial MODIS. 2013. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east1.amazonaws.com/Sumarios/155/c9cfb10170ce7e386928a17eee9c24f5\\_b57dde5fca45fe25408e0c6db9325152.pdf](https://abrh.s3.sa-east1.amazonaws.com/Sumarios/155/c9cfb10170ce7e386928a17eee9c24f5_b57dde5fca45fe25408e0c6db9325152.pdf). Acessado em: 03/11/2020.

PISCOYA, RITA DE CÁSSIA CERQUEIRA CONDÉ; MARTINEZ, JEAN-MICHEL; LOPES, WALSZON TERLLIZZIE ARAÚJO; COCHONNEAU, GÉRARD; VILLAR, RAÚL ESPINOZA; VENTURA, DHALTON TOSETTO; OLIVEIRA, EURIDES. Utilização do sensor espacial MODIS para monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão no Reservatório da Usina de Itaipu no Rio Paraná. 2014. P. 24. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/319524213\\_Utilizacao\\_do\\_Sensor\\_Espacial\\_MODIS\\_para\\_monitoramento\\_da\\_concentracao\\_de\\_sedimentos\\_em\\_suspensao\\_no\\_reservatorio\\_da\\_Usina\\_de\\_Itaipu\\_no\\_Rio\\_Parana](https://www.researchgate.net/publication/319524213_Utilizacao_do_Sensor_Espacial_MODIS_para_monitoramento_da_concentracao_de_sedimentos_em_suspensao_no_reservatorio_da_Usina_de_Itaipu_no_Rio_Parana). Acessado em: 03/11/2021.

PISCOYA, RITA DE CÁSSIA CERQUEIRA CONDÉ; MARTINEZ, JEAN-MICHEL; OLIVEIRA, JULIANA FARIAS DE LIMA; BARAN, CAMILLA TURON; SERAFIM, TAYLINE ALENCAR MARQUES; MENDES, RAFAEL DE ARAÚJO; LEMOS, CECÍLIA MOREIRA LIMA; COCHONNEAU, GÉRARD; ROIG, HENRIQUE LLACER; OLIVETTI, DIOGO; VILLAR, RAÚL ESPINOZA; MENEZES, PAULO HENRIQUE BRETANHA JUNKER. Caracterização do fluxo de sedimentos no reservatório da UHE Sobradinho utilizando dados do sensor espacial MODIS. 2017. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322477961\\_CHARACTERIZACAO\\_DO\\_FLUXO\\_DE\\_SEDIMENTOS\\_NO\\_RESERVATORIO\\_DA\\_UHE\\_SOBRADINHO\\_UTILIZANDO\\_DADOS\\_DO\\_SENSOR\\_ESPACIAL\\_MODIS](https://www.researchgate.net/publication/322477961_CHARACTERIZACAO_DO_FLUXO_DE_SEDIMENTOS_NO_RESERVATORIO_DA_UHE_SOBRADINHO_UTILIZANDO_DADOS_DO_SENSOR_ESPACIAL_MODIS). Acessado em: 15/06/2020.

ROBERT, E., GRIPPA, M., KERGOAT, L., PINET, S., GAL, L., COCHONNEAU, G., & MARTINEZ, J.M. Monitoring water turbidity and surface suspended sediment concentration of the Bagre Reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2016. 52, p.243–251. doi:10.1016/j.jag.2016.06.016

RIBEIRO NETO, B. S. Aplicação de sensores virtuais na estimação da concentração dos parâmetros físico-químicos e metais em corpos d'água de reservatório de hidrelétricas: um

estudo de caso na região Amazônica. Dissertação do Curso de Mestrado em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pará – UFPA. ICEN, PPGCC. 2014. p.20. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/9014/1/DissertacaoAplicacaoSensoresVirtuais.pdf>. Acessado em: 15/06/2020.

SAGAN, VASIT; PETERSON, KYLE T.; MAIMAITIJIANG, MAITINIYAZI; SIDIKE, PAHEDING; SLOAN, JOHN; GREELING, BENJAMIN A.; MAALOUF, SAMAR; ADAMS, CRAIG. Monitoramento da qualidade da água interior por sensoriamento remoto: potencial e limitações dos índices espectrais, simulações bio-ópticas, aprendizado de máquina e computação em nuvem. *Earth-Science Reviews* 205 (2020) 103187. ScienceDirect. Críticas da Earth-Science. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/earscirev](http://www.elsevier.com/locate/earscirev).

SANTOS, UMBERTO DE MENEZES SANTOS; RIBEIRO, MARIA DE NAZARÉ GÓES RIBEIRO. A HIDROQUÍMICA DO RIO SOLIMÕES - AMAZONAS. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus - AM. *ACTA AMAZÔNICA*, 18(3-4). 1988, pág.145-172.

SANTIAGO, ERIMAR PONTES; CARTAXO, ELIZABETH FERREIRA; RABELO FILHO, JOSÉ GERALDO FERNANDES; NOGUEIRA, LEVI D'ARAÚJO; SOUZA, PAULO RODRIGUES. Geographic database development prioritizing the use of free softwares for the management of hydroelectric reservoirs in the Amazon. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 5, n. 7, 2019. p.8511. ISSN 2525-8761.

SILVA, F. R. Uso e ocupação do solo associado à qualidade da água no rio Uberabinha. Universidade Federal de Uberlândia Instituto de Ciências Agrárias. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental. Uberlândia. 2016. p. 5.

SILVA, EDSON J.; COELHO, FERNANDO; SILVA, WESLEY PINTO DA. Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. *Cadernos UniFOA*, Volta Redonda, n. 33, p. 121-130, abr. 2017. [www.unifoa.edu.br/revistas](http://www.unifoa.edu.br/revistas).

SIOLI, H. 1985. *Amazônia: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, p.72.

SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. *Amazoniana*. v.1, 1984. p. 74-83.

SOARES, ARLOS BENEDITO SANTANA DA SILVA. Estimativas da Concentração de Sedimentos em Suspensão na Estação Hidrométrica de Manacapuru – Rio Solimões – Por Meio das Imagens do Sensor MODIS. 2012, p.100-119. Disponível em: <https://koha.inpa.gov.br/cgi->

bin/koha/opac-search.pl?q=ccl=Provider%3A%5Bs.n.%5D%20and%20ccode%3ATese&offset=120&sort\_by=relevance\_dsc&count=20. Acessado em: Acesso em: 20 de fevereiro de 2022.

SOININEN, J., LUOTO, M., 2012. Is catchment productivity a useful predictor of taxa richness in lake plankton communities? *Ecol. Appl.* 22, 2012. p.624–633. <https://doi.org/10.1890/11-1126.1>.

SOUSA, W. L. Impacto ambiental de hidrelétricas: uma análise comparativa de duas abordagens. Dissertação (Mestrado em Engenharia Energética) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000, p.160.

TEBALDI, CHARLES. Relação entre parâmetro de qualidade de água e dados do sensor OLI, Landsat, no Guáiba – Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015, p.85.

TONIOLO, GUSTAVO RODRIGUES. Identificação de constituintes ópticamente ativos na água do lago guáiba, a partir de dados de sensores orbitais e espectrorradiometria de campo. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.p.68.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. (Ed.). Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle. IIE, IIEGA, ABC, IAP, Ianas, 2006. p.161-82.

VASCONCELLOS, B. N.; TERRA, L.G.; CARDOSO, C. D. V. Análise multitemporal de uso e cobertura do solo, no município de Unistalda, RS Multi-temporal analyses of land cover and use in the city of Unistalda, RS. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.* Dez. 2013, p. 3438 – 3444. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/11002>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.55-64, 2010.

VERMOTE, E., JUSTICE, C., CLAVERIE, M., FRANCH, B., 2016. Preliminary. analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Rem. Sens. Environ.* 185, p.46–56.

WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. Impactos das Usinas Hidrelétricas a modo de fio d'água no rio Claro na transparência da água, com o uso de dados espectrais de imagens Landsat TM5. IN: Symposium SELPER, 15, 2012. Caiena Anais...Caiena: Proceedings selper, 2012, p. 1-8.

WAGLE, N.; POTE, R.; SHAHI, R.; LAMSAL, S.; THAPA, S.; ACHARYA, T. D.. ESTIMATING AND MAPPING CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION OF PHEWA LAKE OF KASKI DISTRICT USING LANDSAT IMAGERY. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-5/W2, 2019. Capacity Building and Education Outreach in Advanced Geospatial Technologies and Land Management, 10–11 December 2019, Dhulikhel, Nepal. This contribution has been peer-reviewed. The double-blind peer-review was conducted on the basis of the full paper. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-W2-127-2019>.

WANG, X., YANG, W., 2019. Water quality monitoring and evaluation using remote-sensing techniques in China: A systematic review. *Ecosyst. Heal. Sustain.* 2019, 5, p.47–56. <https://doi.org/10.1080/20964129.2019.1571443>.

WANG, Y., ZHANG, N., WANG, D., WU, J., ZHANG, X., Investigando os impactos de desenvolvimento de energia hidrelétrica em cascata no natural regime do rio Yangtze, China. *Sci. Total. Environ.* 2018, 624, 1187 - 1194. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>.

WATANABE, FERNANDA; ALCÂNTARA, ENNER; RODRIGUES, THANAN; ROTTA, LUIZ; BERNARDO, NARIANE; IMAI, NILTON. Remote sensing of the chlorophyll-a based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A (Barra Bonita reservoir, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2018) 90(2 Suppl. 1): 1987-2000 (*Annals of the Brazilian Academy of Sciences*) Printed version ISSN 0001-3765 / Online version ISSN 1678-2690. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170125>.

WIEGAND, M.G.; PIEDRA, J.I.G.; ARAÚJO, J.C. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 21, n. 2, 2016, p. 415-424.

XIAOYAN, D.; ZHOU, Y.; MA, W.; ZHOU, L.; (2017) Influence of spatial variation in land-use patterns and topography on water quality of the rivers inflowing to Fuxian Lake, a large deep lake in the plateau of southwestern China. *Ecol Eng* 99: p.417-428.

XIN, X.K., LI, K.F., FINLAYSON, B., & YIN, W. (2015). Evaluation, prediction, and protection of water quality in Danjiangkou Reservoir, China. *Water Science and Engineering*, 8(1), 2015. p.30–39. doi:10.1016/j.wse.2014.11.001

ZHANG, Y.; GUO, F.; MENG, W.; WANG, X.-Q. Water quality assessment and source identification of Daliao River basin using multivariate statistical methods. *Environ. Monit. Assess.* 2009, 152, p.105–121. [CrossRef] [PubMed]

ZHENGJUN, W. et al. Use of satellite imagery to assess the trophic state of Miyun Reservoir, Beijing, China. *Environmental Pollution*, n. 155, 2008, p. 13-19.

ZHOU, Y., JEPPESEN, E., LI, J., ZHANG, Y., ZHANG, X., LI, X. Impacts of three desfiladeiros reservatório nos regimes de sedimentação nos dois maiores lagos de água doce chineses ligados a jusante. 2016. *Sci. Rep-UK* 6, 35396. <https://doi.org/10.1038/srep35396>.

**APÊNDICE - Relatório fotográfico de trabalho de campo no reservatório da UHE Tucuruí.**

<b>Trabalho de Campo no Reservatório da UHE Tucuruí</b>					
<b>Data:</b>	29/04/2021	<b>Local:</b>	Sítio do Sr. Vânio	<b>Visita:</b>	Primeiro local km 22 Breu Branco
					
Tanques de piscicultura bem próximo a estrada, como identificado na imagem de satélite.			Lixão de Tucuruí localizado na ilha próximo do ponto de coleta M1.		
					
Fotografias aéreas de drone feita em da área de tanques de piscicultura no lago.					
					
Resíduos líquidos dos tanques despejados sem o devido tratamento no lago.		Embarcação utilizada no manejo do pescado e tanques redes.			
					
Tanques com alevinos, aguardando o tamanho adequado para ser colocado no tanque rede.		Dejetos dos tanques lançados em canos e despejados no lago.			

<b>Data:</b>	29/04/2021	<b>Local:</b>	Sítio da Sra. Francisca	<b>Visita:</b>	Segundo local km 22 Breu Branco	
				<p>Durante a visita neste sítio verificou que as margens do lago havia uma coloração esverdeada, o que pode ser proliferação de algas devido os dejetos dos peixes, próximo ao local.</p>		<p>Tanques redes no lago, peixes com tamanho aproximado para despescar.</p>
<b>Data:</b>	23/05/2021	<b>Local:</b>	Ponto de coleta de água M1 do Lago de Tucuruí			
						
<p>Local do ponto M1 e seu entorno</p>				<p>Localizando da estação M1, com auxílio das bolsistas do projeto na atividade de campo</p>		

**Fonte:** Autora (2022).

**ANEXO - Parâmetros de Qualidade da Água das Estações M1, MR e MP.**

Estação	Ano	Chla	pH	Condutividade	Temperatura	Secchi	Turbidez	O. D.	Ferro Total	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Amônia	Nitrato	P-Inorg	P-Total
M1	2003	NA	7,07	34,30	29,30	2,60	7,49	5,87	0,50	3,20	1,46	1,50	1,10	26,18	15,77	2,18	11,75
	2004	NA	7,23	37,20	29,80	3,10	4,29	6,07	0,29	3,84	2,00	2,30	1,10	30,56	48,76	2,18	12,78
	2005	NA	6,90	41,80	30,00	2,50	4,57	6,38	0,44	4,24	2,43	2,20	1,10	26,23	58,62	2,67	20,87
<b>Média (2005)</b>	-	<b>7,07</b>	<b>37,77</b>	<b>29,70</b>	<b>2,73</b>	<b>5,45</b>	<b>6,11</b>	<b>0,41</b>	<b>3,76</b>	<b>1,96</b>	<b>2,00</b>	<b>1,10</b>	<b>27,66</b>	<b>41,05</b>	<b>2,34</b>	<b>15,13</b>	
MR	2003	11,66	7,30	51,70	30,00	2,70	2,03	6,36	0,30	3,68	1,65	2,30	1,70	26,18	14,80	1,11	17,24
	2004	NA	6,80	33,60	30,90	2,80	3,70	6,31	0,27	3,92	1,90	2,80	1,70	36,05	9,64	0,76	12,78
	2005	NA	7,03	47,80	30,00	1,63	9,56	5,89	0,38	3,68	2,33	3,60	2,00	26,23	6,88	0,24	15,73
<b>Média (2005)</b>	<b>11,66</b>	<b>7,043</b>	<b>44,37</b>	<b>30,30</b>	<b>2,38</b>	<b>5,10</b>	<b>6,187</b>	<b>0,32</b>	<b>3,76</b>	<b>1,96</b>	<b>2,9</b>	<b>1,8</b>	<b>29,49</b>	<b>10,44</b>	<b>0,70</b>	<b>15,25</b>	
MP	2003	23,22	7,24	43,30	31,20	3,00	1,57	6,36	0,30	3,68	1,65	2,30	1,70	26,18	14,80	1,11	17,24
	2004	NA	7,30	45,60	29,50	3,20	2,36	6,07	0,37	3,52	2,14	3,70	1,90	35,58	10,00	1,82	17,07
	2005	NA	7,03	48,80	31,00	2,50	12,18	6,84	0,46	3,52	2,58	4,10	2,20	20,13	14,24	3,19	20,36
<b>Média (2005)</b>	<b>23,22</b>	<b>7,19</b>	<b>45,90</b>	<b>30,57</b>	<b>2,90</b>	<b>5,37</b>	<b>6,42</b>	<b>0,38</b>	<b>3,57</b>	<b>2,12</b>	<b>3,37</b>	<b>1,93</b>	<b>27,30</b>	<b>13,01</b>	<b>2,04</b>	<b>18,22</b>	

Estacao	Ano	Chla	pH	Condutividade	Temperatura	Secchi	Turbidez	O. D.	Ferro Total	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Amônia	Nitrato	P-Inorg	P-Total
M1	2006	5,24	6,74	37,80	29,40	1,80	29,40	6,00	0,24	4,24	1,95	2,40	1,25	12,91	57,66	7,63	7,67
	2007	2,74	6,82	32,10	30,00	3,10	5,92	5,70	0,26	3,84	1,31	1,60	1,00	12,92	53,65	7,44	10,87
	2008	5,36	7,43	52,10	30,50	3,00	4,71	6,05	0,69	3,68	2,09	1,40	1,60	15,10	23,20	7,72	20,72
	2009	2,74	7,08	51,90	29,00	1,20	9,96	5,90	0,54	3,84	1,51	3,84	1,65	26,95	36,66	11,78	15,99
	2010	4,64	6,90	40,10	30,80	2,30	2,77	5,35	0,36	3,84	1,89	2,20	1,45	42,32	38,33	3,94	17,82
<b>Média (2010)</b>	<b>4,14</b>	<b>6,99</b>	<b>42,80</b>	<b>29,94</b>	<b>2,28</b>	<b>10,55</b>	<b>5,80</b>	<b>0,42</b>	<b>3,89</b>	<b>1,75</b>	<b>2,29</b>	<b>1,39</b>	<b>22,04</b>	<b>41,90</b>	<b>7,70</b>	<b>14,61</b>	
MR	2006	8,10	6,67	43,10	29,20	2,60	29,20	6,09	0,33	3,48	2,19	1,65	1,65	23,46	19,65	7,25	8,53
	2007	7,74	7,34	36,10	31,20	3,20	1,92	6,01	0,16	3,52	2,04	3,30	1,40	21,79	15,78	7,42	11,28
	2008	7,26	7,27	52,80	30,00	2,50	3,36	5,76	0,43	4,08	1,46	1,90	1,55	32,69	7,54	8,50	5,50
	2009	8,09	7,13	54,00	28,90	2,50	3,21	6,02	1,03	3,76	1,46	3,30	1,80	34,89	20,67	14,24	18,63
	2010	9,16	7,23	40,00	31,60	2,50	10,91	5,69	0,41	4,00	1,36	2,65	1,40	45,78	12,04	8,44	16,26
<b>Média (2010)</b>	<b>8,07</b>	<b>7,13</b>	<b>45,20</b>	<b>30,18</b>	<b>2,66</b>	<b>9,72</b>	<b>5,91</b>	<b>0,47</b>	<b>3,77</b>	<b>1,70</b>	<b>2,56</b>	<b>1,56</b>	<b>31,72</b>	<b>15,14</b>	<b>9,17</b>	<b>12,04</b>	
MP	2006	12,74	7,96	39,80	31,00	2,50	31,00	5,43	0,66	3,76	2,68	2,80	1,50	22,90	15,25	7,46	18,64
	2007	9,64	7,07	43,10	31,20	3,00	1,15	4,88	0,17	4,00	1,99	4,20	1,65	27,34	6,03	7,41	22,90
	2008	9,29	7,44	53,20	31,70	2,00	2,04	5,96	0,62	3,52	1,56	3,10	2,20	21,15	7,67	7,76	14,45
	2009	6,31	6,98	49,30	29,90	2,70	6,55	5,36	0,90	3,84	1,46	3,45	2,00	44,40	9,99	22,29	34,03
	2010	4,37	6,99	40,70	32,20	2,70	1,98	5,82	0,47	3,94	1,29	3,94	1,60	36,16	86,31	14,08	26,85
<b>Média (2010)</b>	<b>8,47</b>	<b>7,29</b>	<b>45,22</b>	<b>31,20</b>	<b>2,58</b>	<b>8,54</b>	<b>5,49</b>	<b>0,56</b>	<b>3,81</b>	<b>1,80</b>	<b>3,50</b>	<b>1,79</b>	<b>30,39</b>	<b>25,05</b>	<b>11,80</b>	<b>23,37</b>	

Estação	Ano	Chla	pH	Condutividade	Temperatura	Secchi	Turbidez	O. D.	Ferro Total	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Amônia	Nitrato	P-Inorg	P-Total
M1	2011	2,26	6,87	34,60	29,50	2,10	3,70	5,99	0,46	4,25	1,23	2,10	1,40	50,91	68,61	7,15	20,88
	2012	2,98	6,83	32,80	29,60	3,00	1,43	6,21	0,32	4,48	1,29	2,25	1,15	20,53	41,59	6,00	16,23
	2013	2,50	7,12	36,00	29,00	2,00	3,63	5,73	0,38	3,68	1,36	2,30	1,50	24,69	31,65	11,56	17,84
	2014	2,86	7,01	34,50	29,00	2,30	3,15	5,87	0,35	3,76	1,48	5,90	1,24	27,66	36,98	4,70	16,41
	2015	3,40	7,03	34,60	31,00	1,60	2,60	6,10	0,40	3,80	1,50	0,00	0,00	21,70	31,90	3,60	15,00
<b>Média (2015)</b>	<b>2,80</b>	<b>6,97</b>	<b>34,50</b>	<b>29,62</b>	<b>2,20</b>	<b>2,90</b>	<b>5,98</b>	<b>0,38</b>	<b>3,99</b>	<b>1,37</b>	<b>2,51</b>	<b>1,06</b>	<b>29,10</b>	<b>42,15</b>	<b>6,60</b>	<b>17,27</b>	
MR	2011	6,90	6,87	38,70	29,80	3,10	1,84	5,76	0,28	4,44	1,27	2,60	1,40	61,41	28,79	11,44	16,75
	2012	4,65	7,06	33,50	30,10	2,50	3,05	6,76	0,23	4,60	1,39	3,35	1,55	33,01	40,81	13,41	18,56
	2013	4,40	7,49	40,30	29,90	3,00	1,81	5,67	0,46	3,78	1,45	3,50	2,00	37,18	16,94	10,81	18,20
	2014	5,24	7,02	50,10	29,90	2,50	7,18	5,65	0,25	3,90	1,43	6,38	2,81	22,32	19,03	1,73	16,06
	2015	5,60	6,97	36,60	30,80	1,40	6,97	5,80	0,30	3,90	1,40	0,00	0,00	54,20	23,20	3,50	13,70
<b>Média (2015)</b>	<b>5,36</b>	<b>7,08</b>	<b>39,84</b>	<b>30,10</b>	<b>2,50</b>	<b>4,17</b>	<b>5,93</b>	<b>0,30</b>	<b>4,12</b>	<b>1,39</b>	<b>3,17</b>	<b>1,55</b>	<b>41,62</b>	<b>25,75</b>	<b>8,18</b>	<b>16,65</b>	
MP	2011	6,90	6,70	41,60	31,30	3,00	1,83	5,76	0,28	4,44	1,27	2,60	1,40	61,41	28,79	11,44	16,75
	2012	5,48	7,04	33,00	30,80	2,10	2,60	6,35	0,47	4,60	1,31	5,35	1,70	43,13	33,80	8,40	25,53
	2013	7,03	7,20	40,90	30,80	2,40	4,39	6,17	0,82	3,58	1,46	5,40	2,50	41,34	24,14	9,52	27,14
	2014	6,19	6,93	51,60	30,40	2,20	3,53	5,05	0,87	3,80	1,37	8,94	4,14	91,30	1,85	4,33	36,18
	2015	7,00	6,82	39,00	31,90	1,70	3,87	6,10	0,80	3,80	1,40	0,00	0,00	72,80	10,00	6,20	28,50
<b>Média (2015)</b>	<b>6,52</b>	<b>6,94</b>	<b>41,22</b>	<b>31,04</b>	<b>2,28</b>	<b>3,24</b>	<b>5,89</b>	<b>0,65</b>	<b>4,04</b>	<b>1,36</b>	<b>4,46</b>	<b>1,95</b>	<b>62,00</b>	<b>19,72</b>	<b>7,98</b>	<b>26,82</b>	

Estação	Ano	Chla	pH	Condutividade	Temperatura	Secchi	Turbidez	O. D.	Ferro Total	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Amônia	Nitrato	P-Inorg	P-Total
M1	2016	4,50	6,25	53,90	30,10	2,30	3,38	6,15	0,51	4,96	1,07	0,00	0,00	27,50	29,21	3,27	25,83
	2017	47,04	6,55	NA	30,80	2,90	2,40	5,12	0,47	3,28	1,46	0,00	0,00	41,08	22,20	10,32	16,70
	2018	1,78	6,72	37,00	30,01	1,70	7,63	7,20	0,54	4,00	1,31	0,00	0,00	11,20	16,74	13,63	22,32
	2019	1,60	7,32	35,50	10,94	1,30	30,30	5,64	0,29	2,40	0,49	1,22	0,54	0,00	0,70	0,21	0,07
<b>Média (2020)</b>	<b>13,73</b>	<b>6,71</b>	<b>42,13</b>	<b>25,46</b>	<b>2,05</b>	<b>10,93</b>	<b>6,03</b>	<b>0,45</b>	<b>3,66</b>	<b>1,08</b>	<b>0,31</b>	<b>0,14</b>	<b>19,95</b>	<b>17,21</b>	<b>6,86</b>	<b>16,23</b>	
MR	2016	9,36	7,98	32,30	30,20	2,20	5,89	4,71	0,12	3,44	1,60	0,00	0,00	6,47	62,47	3,10	15,07
	2017	43,84	6,65	NA	32,30	2,20	5,45	5,76	0,64	4,08	1,26	0,00	0,00	22,80	0,64	13,66	26,16
	2018	6,75	6,77	37,00	29,81	2,00	11,96	6,40	0,40	3,68	1,65	0,00	0,00	12,20	11,39	8,07	46,52
	2019	1,60	7,22	34,10	3,64	2,00	30,50	7,06	0,14	2,40	0,16	1,31	0,40	0,00	0,90	0,24	0,08
<b>Média (2020)</b>	<b>15,39</b>	<b>7,16</b>	<b>34,47</b>	<b>23,99</b>	<b>2,10</b>	<b>13,45</b>	<b>5,98</b>	<b>0,33</b>	<b>3,40</b>	<b>1,17</b>	<b>0,33</b>	<b>0,10</b>	<b>10,37</b>	<b>18,85</b>	<b>6,27</b>	<b>21,96</b>	
MP	2016	36,89	7,57	45,50	30,90	2,60	2,36	5,36	3,10	2,88	1,89	0,00	0,00	16,99	2,72	13,64	23,22
	2017	33,15	7,68	NA	31,30	2,60	2,05	5,76	0,23	4,16	1,17	0,00	0,00	29,27	0,78	12,18	19,63
	2018	7,16	6,75	36,00	29,93	1,70	20,40	6,40	0,53	3,20	1,36	0,00	0,00	27,20	12,31	4,37	41,35
	2019	1,60	7,60	32,40	2,46	2,00	30,30	6,59	0,26	1,60	0,16	1,70	0,47	0,00	0,29	0,21	0,07
<b>Média (2020)</b>	<b>19,70</b>	<b>7,40</b>	<b>37,97</b>	<b>23,65</b>	<b>2,23</b>	<b>13,78</b>	<b>6,03</b>	<b>1,03</b>	<b>2,96</b>	<b>1,15</b>	<b>0,43</b>	<b>0,12</b>	<b>18,37</b>	<b>4,03</b>	<b>7,60</b>	<b>21,07</b>	