



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

LEONARDO DA SILVA DOS SANTOS

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DE
CARTOGRAFIA SOCIAL: CASO ITACURUBA - PE**

Recife

2024

LEONARDO DA SILVA DOS SANTOS

**Uso de Sensoriamento Remoto como ferramenta de análise de Cartografia
Social: Caso Itacuruba - PE**

TCC apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador(a): Dra. Prof.^a Ana Lúcia Bezerra Candeias

**Recife
2024**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos, Leonardo da Silva dos.

Uso de sensoriamento remoto como ferramenta de análise de cartografia social: caso Itacuruba - PE / Leonardo da Silva dos Santos. - Recife, 2024.
58 : il., tab.

Orientador(a): Ana Lúcia Bezerra Candeias

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Cartografia Social. 3. Itacuruba. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

LEONARDO DA SILVA DOS SANTOS

Uso de Sensoriamento Remoto como ferramenta de análise de Cartografia Social: Caso Itacuruba - PE

TCC apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Aprovado em: 13/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

À minha mãe, Rosa
e à minha tia, Sueli (*In memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, em especial à minha mãe, por todas as lágrimas, lutas e dores para que eu pudesse chegar mais longe. A vocês minha eterna gratidão. Às minhas irmãs: Rebeka, Mariana e Ana Beatriz, por tudo que passamos juntos, amo vocês.

Ao grande amor da minha vida, melhor amiga e parceira, que passou junto comigo os melhores e piores momentos. Stefany Lopes, obrigado por tudo, amo você demais.

A todos os meus familiares, em especial ao meu primo Williams Miguel, a quem sempre me espelhei, agradeço por todas as conversas, ajudas e conselhos. Estamos juntos, sempre.

À minha orientadora, professora Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias. Muito obrigado por todas as orientações, correções e, sobretudo, por sua paciência e generosidade. Estendo aqui meus agradecimentos também ao professor Dr. João Rodrigues Tavares Junior, muito obrigado pelos ensinamentos e pela ajuda.

Aos amigos que o Cabo de Santo Agostinho me deu a oportunidade de conhecer, Edcleybson e Rodrigo, sou grato por ter trabalhado e aprendido tanto com vocês. Muito obrigado por toda ajuda.

Aos colegas e amigos que o Decart me deu, em especial os que entraram junto comigo: Paulo, Madan e Álvaro, e aos que fiz ao longo do caminho: Luis Augusto, Isaac, Eunnyce e Brenda. Levarei vocês para a vida.

Sozinho não chegamos a lugar algum, dessa forma, atribuo a cada um de vocês os méritos deste trabalho e a mim, exclusivamente, todos os erros.

Um passo à frente e você não está
mais no mesmo lugar – Chico Science

RESUMO

A paisagem do sertão nordestino, banhada pelo rio São Francisco, foi radicalmente transformada nas últimas décadas do século XX com a construção de grandes usinas hidrelétricas, como Paulo Afonso, Xingó e Luiz Gonzaga. Essas obras, que inundaram vastas áreas e alteraram o regime hídrico do rio, marcaram o fim de um modo de vida tradicional para muitas comunidades ribeirinhas. A construção da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga exemplifica os conflitos do desenvolvimentismo com a preservação de gestão dos recursos naturais em regiões semiáridas, onde a demanda por energia coexiste com a necessidade de conservar os ecossistemas e garantir o direito à terra das comunidades tradicionais como indígena e quilombola. A construção da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga provocou a submersão de 27,21% do território de Itacuruba-PE, impactando significativamente as comunidades locais. Este trabalho buscou analisar, através de ferramentas de sensoriamento remoto, as informações obtidas por meio da cartografia social elaborada no projeto Nova Cartografia Social da Amazônia com a participação das comunidades locais de Itacuruba, que apontavam a submersão, causada pela usina hidrelétrica Luiz Gonzaga, de ilhas fluviais utilizadas por povos indígenas para agricultura. Utilizando imagens de satélite dos anos de 1985 e 2022, foram elaborados mapas temáticos de índices que avaliam parâmetros biofísicos, como o Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) e o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). Com aplicação de técnicas de processamento digital de imagens (PDI), este trabalho realizou a análise espaço-temporal pelo NDWI, que quantificou uma redução de aproximadamente 96% nas áreas insulares entre 1985 e 2022. Por meio da análise do NDVI, foi observada a presença de vegetação nessas áreas, corroborando os relatos da cartografia social sobre a utilização das ilhas para fins agrícolas. A sobreposição entre os dados de sensoriamento remoto e a cartografia social valida os conhecimentos tradicionais e reforça a importância da participação das comunidades na gestão dos seus territórios. Os resultados deste estudo podem contribuir para o fortalecimento das lutas dessas comunidades tradicionais por seus direitos territoriais e pela conservação dos seus espaços.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Cartografia Social; Itacuruba.

ABSTRACT

The landscape of the northeastern backlands, bathed by the São Francisco River, was radically transformed in the last decades of the 20th century with the construction of large hydroelectric plants, such as Paulo Afonso, Xingó and Luiz Gonzaga. These works, which flooded vast areas and changed the river's water regime, marked the end of a traditional way of life for many riverside communities. The construction of the Luiz Gonzaga hydroelectric plant exemplifies the conflicts between developmentalism and the preservation of natural resource management in semi-arid regions, where the demand for energy coexists with the need to conserve ecosystems and guarantee the right to land of traditional communities such as indigenous and quilombola communities. . The construction of the Luiz Gonzaga hydroelectric plant caused the submersion of 27.21% of the territory of Itacuruba-PE, significantly affecting local communities. This work sought to analyze, through remote sensing tools, the information obtained through social cartography elaborated in the New Amazon Social Cartography project with the participation of local communities in Itacuruba, which pointed out the submersion, caused by the Luiz Gonzaga hydroelectric plant, of river islands used by indigenous people for agriculture. Using satellite images from the years 1985 and 2022, thematic index maps were created that evaluate biophysical parameters, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Water Index (NDWI). Using digital image processing (PDI) techniques, this work carried out a spatiotemporal analysis using the NDWI, which quantified a reduction of approximately 96% in island areas between 1985 and 2022. Through the NDVI analysis, the presence of vegetation in these areas, corroborating reports from social cartography about the use of the islands for agricultural purposes. The overlap between remote sensing data and social cartography validates traditional knowledge and reinforces the importance of community participation in the management of their territories. The results of this study can contribute to strengthening the struggles of these traditional communities for their territorial rights and the conservation of their spaces.

Keywords: Remote Sensing; Social Cartography; Itacuruba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípios físicos do Sensoriamento Remoto.....	15
Figura 2 - Espectro eletromagnético.....	16
Figura 3 - Reflectância de alvos naturais.....	17
Figura 4 - Efeitos da resolução espacial e radiométrica em corpos d'água.....	19
Figura 5 - Linha do tempo da série Landsat.....	20
Figura 6 - Oficina de mapa participativo e palestra.....	25
Figura 7 - Mapa temático - "Territorialidades e Conflitos Socioambientais em Itacuruba – PE".....	26
Figura 8 - Mapa de localização da área de estudo.....	30
Figura 9 - Categorias de nebulosidade, Itacuruba - PE.....	31
Figura 10 - Mapa temático - NDWI de Itacuruba-PE em 1985 e 2022.....	37
Figura 11 - Histograma dos pixels da área de estudo dos anos 1985 e 2022 – NDWI.....	38
Figura 12 – Mapa temático - NDVI de Itacuruba-PE em 1985 e 2022.....	40
Figura 13 - Histograma dos pixels da área de estudo dos anos 1985 e 2022 – NDVI.....	40
Figura 14 - Mapa temático - Áreas superficiais no trecho indicado pela cartografia social nos anos de 1985 e 2022.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição do TM Landsat 5.....	21
Tabela 2 – Descrição do OLI/TIRS Landsat 8.....	22
Tabela 3 - Informações das imagens utilizadas, TM Landsat 5 e OLI Landsat 8.....	30
Tabela 4 – Bandas, intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera do TM Landsat 5.....	33
Tabela 5 - Valores do NDWI (1985 e 2022) - mínimo, máximo, médio e desvio padrão.....	36
Tabela 6 - Valores do NDVI (1985 e 2022) - mínimo, máximo, médio e desvio padrão.....	39
Tabela 7 - Valores de áreas calculados e sua representação em relação ao município de Itacuruba - PE.....	42

LISTA DE ABREVIações

ERTS	<i>Earth Resources Technological Satellite</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LDCM	<i>Landsat Data Continuity Mission</i>
NDWI	Índice de Diferença Normalizada da Água
NDVI	Índice de Diferença Normalizada da Vegetação
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PDI	Processamento Digital de Imagem
PNCSA	Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia
REM	Radiação Eletromagnética
SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UHE	Usina Hidrelétrica
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Sensoriamento remoto (SR)	14
2.1.1 <i>Resoluções de sensores orbitais no Sensoriamento Remoto</i>	17
2.2 LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite)	19
2.2.1 <i>TM Landsat 5 (Thematic Mapper)</i>	20
2.2.2 <i>OLI Landsat 8 (Operational Land Imager)</i>	22
2.3 Índices espectrais	23
2.3.1 <i>Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI)</i>	23
2.3.2 <i>Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI)</i>	23
2.4 Cartografia Social	24
2.4.1 <i>Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia (PNCSA): Conflitos Socioambientais em Itacuruba</i>	25
3 OBJETIVOS	28
3.1 Objetivo Geral	28
3.2 Objetivos Específicos	28
4 METODOLOGIA	29
4.1 Caracterização da área de estudo	29
4.2 Aquisição de imagens de satélite	30
4.3 Processamento Digital de Imagem	31
4.3.1 <i>Reprojeção</i>	32
4.3.2 <i>Processamento das imagens do TM Landsat 5</i>	32
4.3.2 <i>Reflectância</i>	33
4.3.2 <i>Processamento das imagens do OLI Landsat 8</i>	34
4.4 Processamento dos Índices Espectrais	34
4.4.1 <i>Índice de diferença normalizada da água – NDWI</i>	34
4.4.2 <i>Índice de Diferença Normalizada da Vegetação – NDVI</i>	35
5 RESULTADOS	36
5.1 Índices espectrais	36
5.1.1 <i>Índice de diferença normalizada da água – NDWI</i>	36
5.1.2 <i>Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI)</i>	39
5.2 Análise quantitativa das ilhas submersas de Itacuruba	41

6 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS.....	45
APÊNDICE A – NDWI de Itacuruba no ano de 1985.....	48
APÊNDICE B – NDWI de Itacuruba no ano de 2022.....	49
APÊNDICE C – NDVI de Itacuruba no ano de 1985.....	50
APÊNDICE D – NDVI de Itacuruba no ano de 2022.....	51
APÊNDICE E – Artigo do REALP 2023.....	52

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os territórios dos povos e comunidades tradicionais como indígenas e quilombolas são marcados por conflitos socioambientais. No caso dos povos tradicionais que vivem à beira do rio São Francisco no sertão de Itaparica de Pernambuco, não é diferente, e um dos principais conflitos se dá com o setor elétrico do país. No ano de 1988, com a construção finalizada da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga, o município de Itacuruba, no sertão pernambucano, sofreu uma inundação de 27,21% do seu território, incluindo a sua sede que era localizada próxima ao rio São Francisco (CHESF, 1986).

Em busca de dar visibilidade e voz a esses grupos, surgiram projetos como PNCSA - Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia e Projeto Brasil Central que através da elaboração de mapas colaborativos com uso de cartografia social, buscam identificar demandas comunitárias, evidenciar situações de conflitos ambientais e agrários (Ferreira, Leite e Neves, 2021). Em 2019, o PNCSA, elaborou um mapa temático através do uso da cartografia social, produzida com ajuda de comunidades tradicionais de Itacuruba, povos indígenas e quilombolas, com título “Territorialidades e conflitos socioambientais em Itacuruba – PE”, onde propuseram, além outros conflitos, uma área de ilhas fluviais que teriam sido submersas com a inundação provocada pela instalação da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga (PNCSA, 2019).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens (PDI) desempenham um papel importante na análise e no monitoramento de mudanças ambientais em áreas de difícil acesso, ou que sofreram transformações significativas ao longo do tempo. Este trabalho consistiu na utilização de técnicas de sensoriamento remoto e PDI, para, com o uso de imagens de satélite, índices físicos como NDWI (Índice de diferença normalizada da água) e NDVI (Índice de Diferença Normalizada da Vegetação), mensurar a extensão das ilhas que foram mencionadas pela cartografia social no município de Itacuruba, e analisar sua mudança anos de 1985, antes do enchimento, e 2022, depois do enchimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esse trabalho procurou mostrar como o Sensoriamento Remoto (SR), o Processamento de Imagem, e a Cartografia Temática podem ser utilizados na Cartografia Social voltada para causas sociais como o caso dos indígenas. Nesse sentido serão apresentados conceitos de SR e uma breve descrição da série LANDSAT e dos sensores TM e OLI, produtos utilizados neste trabalho, nas seções 2.1 e 2.2.

Os índices físicos NDWI e NDVI são bastante utilizados em aplicações com imagens de sensoriamento remoto. Na seção 2.3 eles são apresentados e na seção 4, eles são utilizados na metodologia

O estudo com mapeamento participativo na Amazônia é mostrado na seção 2.4. Ela servirá de base para o tema desenvolvido nesse trabalho com os dados de cartografia social.

2.1 Sensoriamento remoto (SR)

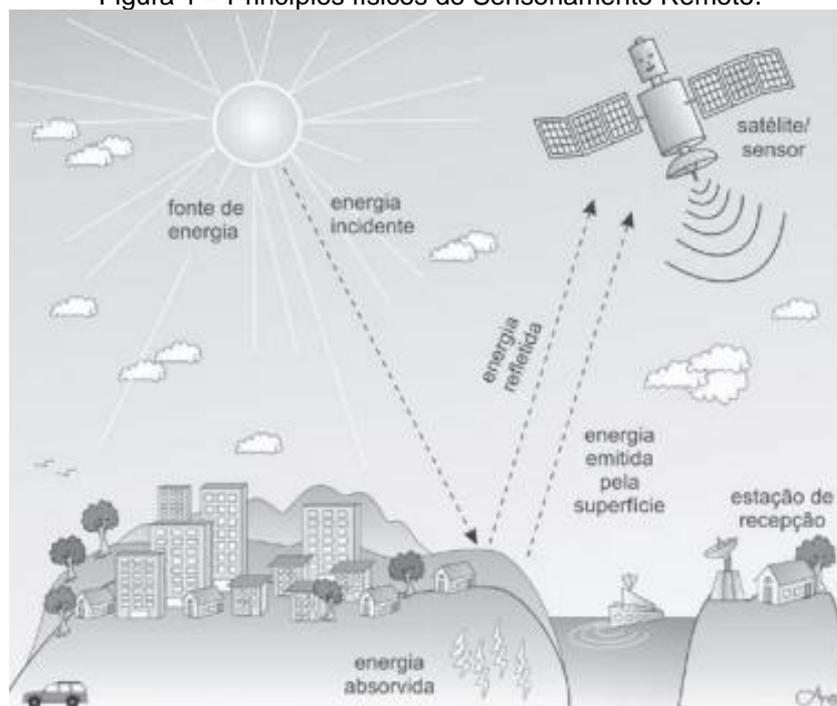
Segundo Lillesand e Kiefer (2015), Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno a partir da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação. Esses dispositivos, chamados de sensores remotos, são capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações sobre o referido objeto.

De acordo com Tôsto *et al.* (2014) por essa definição, seriam considerados sensores remotos, os sensores que operam com energia acústica (sonares, sismógrafos, sismômetros, etc.), com energia gravitacional (gravímetros) e com energia eletromagnética (radiômetros). Entretanto, costuma-se restringir o uso do termo sensores remotos aos equipamentos que operam apenas pela detecção da energia eletromagnética ou radiação eletromagnética (REM).

No Sensoriamento Remoto, o processo de aquisição da informação envolve interações entre a radiação eletromagnética proveniente do sol, ou de alguma outra

fonte e os alvos de interesse localizados na superfície da Terra. Na figura 1 podemos observar os princípios físicos envolvidos, onde temos a fonte de energia, sol, emitindo energia eletromagnética para os alvos na superfície terrestre, essa energia viaja e interage num primeiro momento com a atmosfera e num segundo momento com os objetos na superfície terrestre, essa interação depende tanto da energia incidente quanto das propriedades de cada alvo. Após esse espalhamento de energia, os sensores a bordo dos satélites registram a radiação eletromagnética. Essa informação é transmitida para uma estação terrestre onde é recebida e processada para que então seja gerada a imagem digital.

Figura 1 – Princípios físicos do Sensoriamento Remoto.



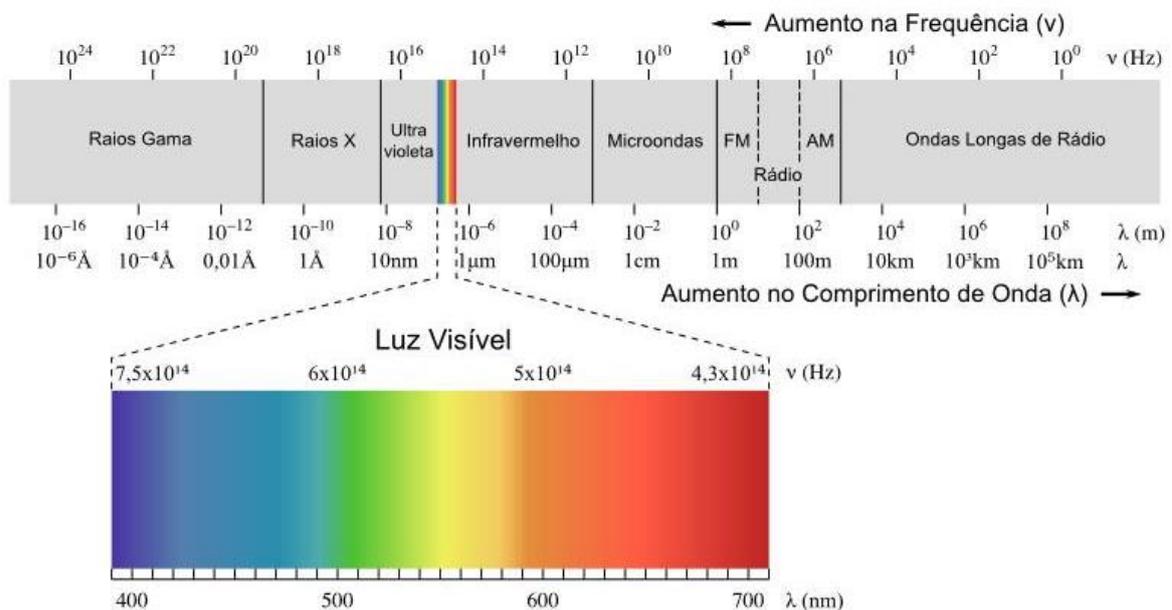
Fonte: Embrapa, 2014.

Para Jensen (2009), no Sensoriamento Remoto da superfície terrestre, o Sol é a principal fonte de energia eletromagnética, embora qualquer matéria com temperatura absoluta acima de zero emita radiação eletromagnética. Por conta dos processos nucleares que ocorrem no interior do sol, o processo de emissão da radiação solar se dá ao longo de todo o espectro eletromagnético (Figura 2). Esse espectro representa o conjunto de comprimento de onda conhecido, variando desde

ondas muito curtas, como os raios gama ($10^{-10}m$) até ondas de longo comprimento como as de rádio (10^3m).

As principais faixas espectrais utilizadas para o Sensoriamento Remoto da superfície terrestre são a do visível ($0,38 - 0,76 \mu m$), do infravermelho ($0,8 - 300 \mu m$) e micro-ondas ($0,01 - 100 \text{ cm}$).

Figura 2 - Espectro eletromagnético.



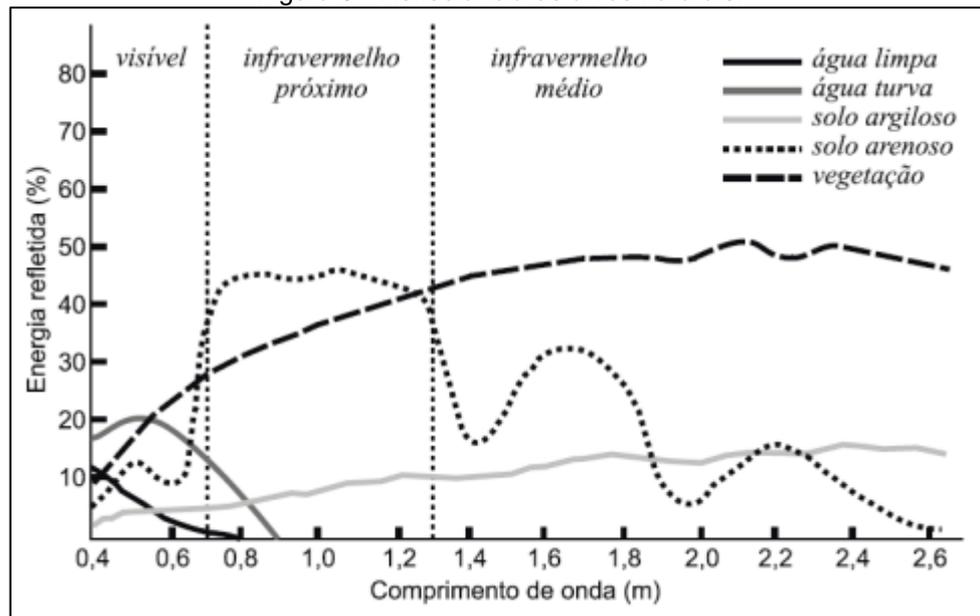
Fonte: <https://dan-scientia.blogspot.com/2010/03/>

Quando a radiação eletromagnética (REM) incide sobre um objeto, ela pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Essas interações são determinadas pelas características físico-químicas e biológicas dos corpos e podem ser identificadas nas imagens de sensoriamento remoto (Tôsto et al., 2014). O comportamento da REM ao interagir com um objeto é medido por três fatores principais: a capacidade do objeto de refletir energia radiante, indicada pela sua reflectância; a capacidade de absorver essa energia, conhecida como absorptância; e a capacidade de transmitir a energia radiante, referida como transmitância (Jensen, 2009).

As variações na energia refletida pelos objetos são fundamentais para o sensoriamento remoto, pois podem ser representadas por meio de curvas espectrais (Richards & Jia, 2006). Essas curvas, como ilustrado na figura 3, permitem a

diferenciação entre os diversos objetos presentes na superfície terrestre, possibilitando a identificação com base em suas assinaturas espectrais (Lillesand, Kiefer & Chipman, 2015).

Figura 3 - Reflectância de alvos naturais.



Fonte: Florenzano (2002).

2.1.1 Resoluções de sensores orbitais no Sensoriamento Remoto

As características das imagens e dos sensores em sensoriamento remoto são frequentemente descritas pelas suas resoluções: espacial, espectral, radiométrica e temporal. A escolha adequada dos dados de sensoriamento remoto é uma etapa crucial em qualquer projeto de observação da Terra, considerando-se o número variado de programas de observação disponíveis. Dessa forma, é fundamental que o usuário compreenda as limitações e oportunidades de cada conjunto de dados, baseando-se nas resoluções de cada sensor (Barbosa, Novo e Martins, 2019).

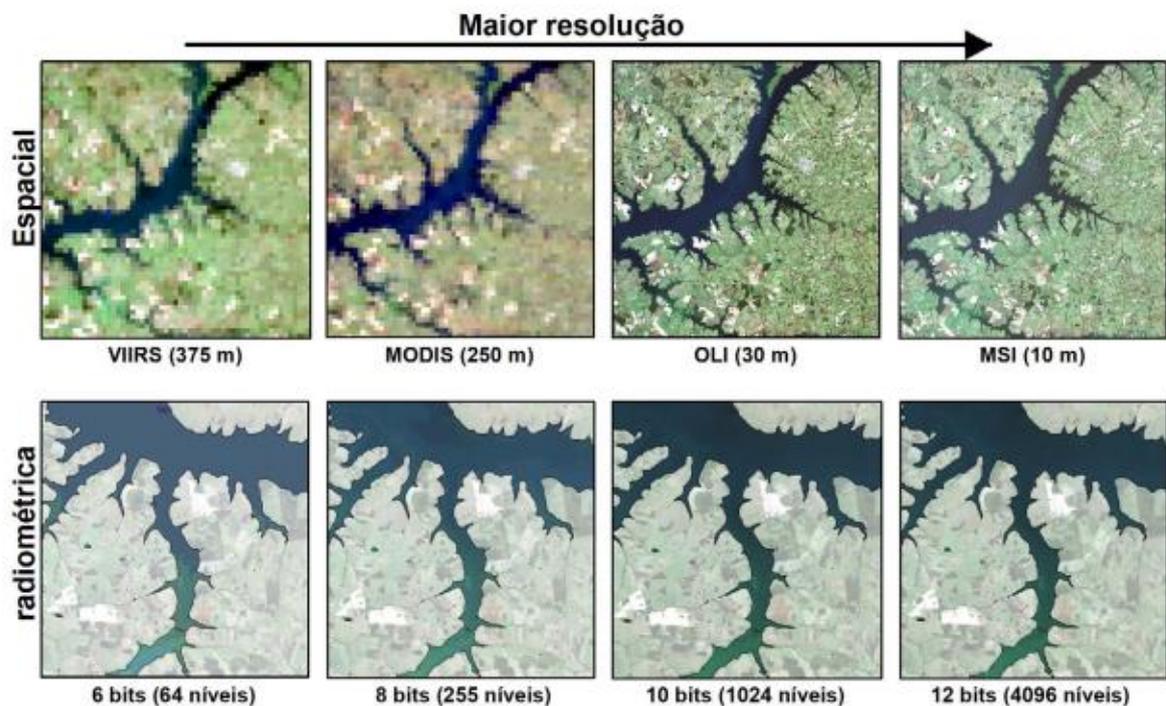
A resolução espacial refere-se à medida que determina o menor objeto identificável na imagem ou à menor área da superfície terrestre que pode ser representada. Esta resolução é diretamente influenciada pelo tamanho do pixel: quanto menor a dimensão do pixel, maior será a resolução espacial da imagem (Jensen, 2009). Dessa forma, uma alta resolução espacial permite identificar mais

detalhes, enquanto uma baixa resolução espacial limita a capacidade de distinção de pequenos objetos.

A resolução espectral é definida pelo número e pela largura das bandas espectrais nas quais o sensor opera. Segundo Barbosa, Novo e Martins (2019), essa resolução é especialmente relevante para a distinção de feições espectrais de diferentes constituintes, como os presentes em ambientes aquáticos. Sensores multiespectrais, por exemplo, geralmente possuem um número limitado de bandas na região do visível e do infravermelho próximo (NIR), muitas vezes com uma faixa espectral ampla. Essa característica pode limitar a capacidade de discriminar entre diferentes tipos de materiais ou substâncias presentes na água.

A resolução radiométrica diz respeito ao número de níveis digitais utilizados para representar os dados capturados pelo sensor. Essa resolução define a sensibilidade do sensor em detectar e distinguir variações sutis na intensidade da radiação que chega ao sensor, sendo expressa em termos de bits (Tôsto, 2014). Quanto maior a resolução radiométrica, maior será a capacidade do sensor de detectar pequenas variações de intensidade, melhorando a precisão na identificação de diferentes alvos ou condições ambientais. Um exemplo da combinação dessas resoluções pode ser observado na figura 4.

Figura 4 - Efeitos da resolução espacial e radiométrica em corpos d'água.



Fonte: Barbosa, Novo e Martins (2019)

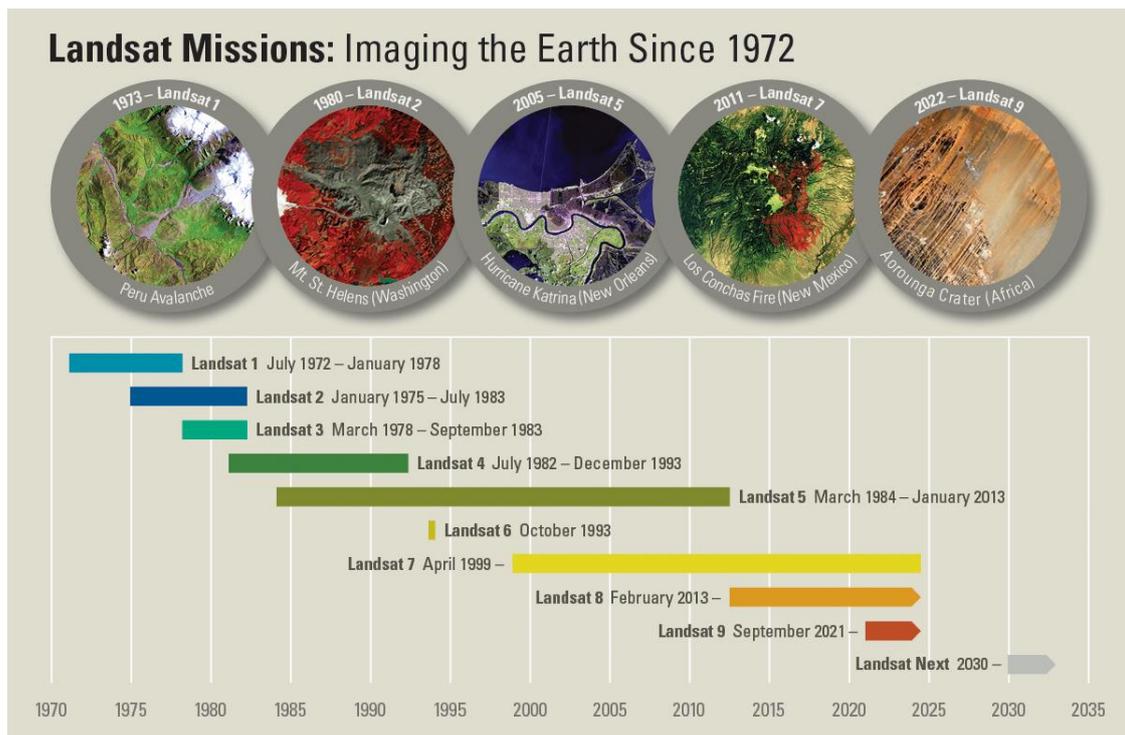
Por fim, a resolução temporal caracteriza o intervalo de tempo entre duas passagens do sensor sobre a mesma área da superfície terrestre. Esta resolução é determinada principalmente pelas características da órbita do satélite e pela largura da faixa de imageamento. Resoluções temporais mais baixas, que resultam em intervalos maiores entre observações consecutivas, podem limitar a capacidade de monitorar mudanças rápidas, como aquelas que ocorrem em ambientes aquáticos dinâmicos (Jensen, 2009; Tôsto, 2014).

2.2 LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite)

A Série de missões Landsat (Figura 5) iniciou em 23 de julho de 1972, com o lançamento do satélite que na época era conhecido como Satélite de Tecnologia de Recursos Terrestres (ERTS-1), em 1975 passou a se chamar oficialmente Landsat,

sendo o primeiro satélite de observação da Terra a ser lançado com a intenção expressa de estudar e monitorar os recursos naturais do planeta Terra (USGS, 2024). O Landsat-1 era equipado com dois sensores: RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner System*). Estes mesmos sensores seguiram a bordo dos lançamentos seguintes como o Landsat 2 e Landsat 3. Novos sensores foram equipados a partir de 1982 quando começa a operar o Landsat 4 que trazia os sensores MSS e o sensor TM (*Thematic Mapper*) que foram seguidos dos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) nos satélites Landsat 5, 6, 7 e 8 principalmente (Embrapa, 2024).

Figura 5 - Linha do tempo da série Landsat.



Fonte: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-missions-timeline>

2.2.1 TM Landsat 5 (Thematic Mapper)

O satélite Landsat 5 foi lançado em 1 de março de 1984, transportando a mesma carga útil do Landsat 4: os instrumentos *Multispectral Scanner System* (MSS) e *Thematic Mapper* (TM). Operando em órbita polar sincronizada com o sol a uma altitude de 705 km com inclinação de 98,2°, apresentando resolução temporal de 16

dias e largura de área imageada de 185 km. O satélite foi desativado em janeiro de 2013.

O sensor TM (*Thematic Mapper*) foi lançado a bordo dos satélites Landsat 4 e 5, possui separação espectral adequada (Tabela 1) para oferecer subsídios aos mapeamentos temáticos na área de recursos naturais, a resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 m (isto é, cada pixel da imagem representa uma área no terreno de 0,09 ha), para a banda 6, a resolução é de 120 m (cada pixel representa 1,4 ha), a resolução radiométrica para todas as bandas é de 8 bits. (USGS, 2024).

Tabela 1 – Descrição do TM Landsat 5.

Bandas Espectrais	Resoluções				Faixa Imageada
	Espectral	Espacial	Temporal	Radiométrica	
(B1) Azul	0.45 - 0.52 μm				
(B2) Verde	0.52 - 0.60 μm				
(B3) Vermelho	0.63 - 0.69 μm	30 m			
(B4) Infravermelho Próximo	0.76 - 0.90 μm		16 dias	8 bits	185 km
(B5) Infravermelho Médio	1.55 - 1.75 μm				
(B6) Infravermelho Termal	10.4 - 12.5 μm	120 m			
(B7) Infravermelho Médio	2.08 - 2.35 μm	30 m			

Fonte: Adaptado de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>

2.2.2 OLI Landsat 8 (*Operational Land Imager*)

O Landsat 8, também denominado LDCM (Landsat Data Continuity Mission), foi lançado em 11 de fevereiro de 2013, opera em uma órbita Hélio-Síncrona a 705 km de altitude com 98,2 graus de inclinação. Equipado com dois instrumentos para imageamento terrestre, são eles: OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor).

O sensor OLI possui 9 bandas espectrais (Tabela 2) sendo duas novas bandas espectrais, uma projetada para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo Cirrus (Embrapa, 2013). Ambos os sensores têm resolução radiométrica de 16 bits (ND de 0 a 32.767), e temporal de 16 dias, com tamanho aproximado da cena Landsat-8 de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste (TEIXEIRA, 2019).

Tabela 2 – Descrição do OLI/TIRS Landsat 8.

Sensor	Bandas Espectrais	Resoluções	
		Espectral	Espacial
OLI	(B1) Azul Costeiro	0.43 - 0.45 μm	
	(B2) Azul	0.45 - 0.51 μm	
	(B3) Verde	0.53 - 0.59 μm	
	(B4) Vermelho	0.64 - 0.67 μm	30 m
	(B5) Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88 μm	
	(B6) Infravermelho Médio	1.57 – 1.65 μm	
	(B7) Infravermelho Médio	2.11 – 2.29 μm	
	(B8) Pancromática	0.50 - 0.68 μm	15 m
	(B9) Cirrus	1.36 – 1.38 μm	30 m
TIRS	(B10) Infravermelho Termal	10.6 – 11.19 μm	100 m
	(B11) Infravermelho Termal	11.5 – 12.51 μm	

Fonte: Adaptado de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>

2.3 Índices espectrais

Índices espectrais são resultados de operações aritméticas entre os valores numéricos de pixels de diferentes bandas de uma imagem (Tôsto *et al.*, 2014), estes valores estão associados a reflectância. Esses índices podem ser utilizados de várias maneiras, pois são algoritmos relativamente simples e eficientes para avaliação do vigor vegetativo, das dinâmicas de crescimento urbano ou da cobertura vegetal, entre outros (MARQUES, 2018).

Nesse contexto existe diversos trabalhos que utilizaram índices físicos como NDVI e NDWI na análise espaço-temporal da vegetação e de recursos hídricos em locais com similar vegetação, clima e relevo (TÔRRES SILVEIRA *et al.*, 2022; DE ALBUQUERQUE LINS LEONARDO *et al.*, 2021; DE ANDRADE SILVA e FARIAS, 2021).

2.3.1 Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI)

De acordo com o (ZHOU *et al.*, 2018) em 1996, McFeeters propôs o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), que utilizou as características de reflectância na banda verde e na banda do infravermelho próximo dos objetos do solo para distinguir a água da vegetação com características espectrais semelhantes (Mcfeeters, S. K., 1996).

Os valores do NDWI variam de -1 para 1, o valor 0 (zero) foi definido por McFeeters (1996) como o limite, ou seja, para todo NDWI maior que 0 (zero) presença de água e NDWI menor que 0 (zero) não-água.

2.3.2 Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI)

O Índice de Diferença Normalizada da Vegetação é um indicador numérico simples, razão entre a diferença da reflectância no infravermelho próximo (NIR) e a reflectância vermelha (RED), pela soma das mesmas, cujo valor matemático varia entre -1 e 1. Suas tendências e dinâmicas fornecem uma estimativa grosseira da

presença, densidade, saúde e mudança na cobertura vegetal, podendo ser usado para monitorá-las ao longo do tempo.

As variações na vegetação são fáceis de interpretar a partir de imagens de satélite. Assim, os índices de vegetação extraídos de imagens de satélite são amplamente utilizados como indicadores na avaliação da desertificação (GUO et al., 2017).

2.4 Cartografia Social

Segundo Acselrad (2008) a cartografia social pode ser entendida como a apropriação de técnicas e modos de representação cartográficos modernos por grupos sociais historicamente excluídos dos processos de tomada de decisão.

A prática de mapear comunidades ou populações em situações de conflito, em particular, ganhou destaque globalmente a partir dos anos 90 do século XX. Em 1990, o professor Alfredo Wagner, da Universidade do Estado do Amazonas, desenvolveu o projeto da Nova Cartografia Social. Esse projeto tinha como principal objetivo mapear as comunidades afetadas pelo projeto Grande Carajás, que envolvia a exploração de minérios pelo Vale S/A na região da Amazônia Legal. Os estudos resultaram em mapas participativos, elaborados pela própria comunidade e serviram como instrumentos essenciais na reivindicação de direitos desses grupos diante de grandes empreendimentos econômicos.

Na cartografia social, é preservado o saber popular dos atores sociais daquele determinado território, mas também o conhecimento científico, determinando o espaço geográfico a partir das técnicas de carta-imagens, mapas, fotos etc. Segundo Santos (2012, p.5), a Cartografia Social pode ser definida como:

(...) cartografia elaborada pelos próprios grupos sociais que ela representa no mapa, um processo no qual membros de um determinado grupo registram quem são, onde e como vivem. O que se busca, portanto, não é mapear os grupos, mas sim, permitir aos grupos que eles próprios se mapeiem, e este processo de (auto) mapeamento é denominado, segundo o próprio núcleo, de “mapeamento situacional”.

Sendo esta é uma metodologia participativa que rompe com a rigidez e normatividade da cartografia tradicional, não perdendo de modo algum seu caráter científico, segundo Acserald (2014) essa diferenciação se dá pela elaboração dos mapas que são produzidas a partir da visão dos atores sociais de um território específico englobam símbolos e representações e espaços significativos, que vão além das disputas territoriais

2.4.1 Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia (PNCSA): Conflitos Socioambientais em Itacuruba

O Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia (PNCSA) é uma iniciativa de pesquisa e ação que visa fortalecer a autonomia e a autodeterminação dos povos e comunidades tradicionais da Amazônia, por meio da produção de mapas participativos e da valorização dos conhecimentos locais sobre o território (Azevedo Marin & Leite, 2009).

O PNCSA surgiu em 2005, como uma resposta à necessidade de ampliar a participação das comunidades tradicionais nos processos de gestão territorial e ambiental na Amazônia (PNCSA, 2024). O projeto parte do princípio de que a cartografia não é apenas uma ferramenta técnica de representação do espaço, mas também um instrumento de empoderamento social e político (Acserald, 2008).

Através de oficinas de mapeamento participativo, o PNCSA envolve as comunidades tradicionais na produção de mapas que refletem suas próprias visões de mundo, seus conhecimentos sobre o território e seus modos de vida (PNCSA, 2024). Esses mapas são utilizados pelas comunidades para reivindicar seus direitos territoriais, defender seus modos de vida e fortalecer sua participação nos processos de tomada de decisão sobre o uso e a gestão dos recursos naturais (Acserald, 2008).

O boletim informativo – Conflitos Sociais e Desenvolvimento Sustentável no Brasil Central, editado pelo Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia – PNCSA, produzido em junho de 2019, relata as diversas formas de violências sofridas pela comunidade tradicional de Itacuruba. Valdeci Ana, em depoimento registrado no boletim informativo N°1/2019, relata que:

“Nós da região de Itaparica, por exemplo, estamos aí no sofrimento tentando resgatar tudo que a gente perdeu. Quando a gentinha tinha os terreiros da gente (...), os mais velhos, nossas ilhas, nossos plantios. A barragem de Itaparica acabou tudo. As pessoas foram ameaçadas.” (NASCIMENTO, 2018, p.3).

Figura 6 - Oficina de elaboração de mapa.

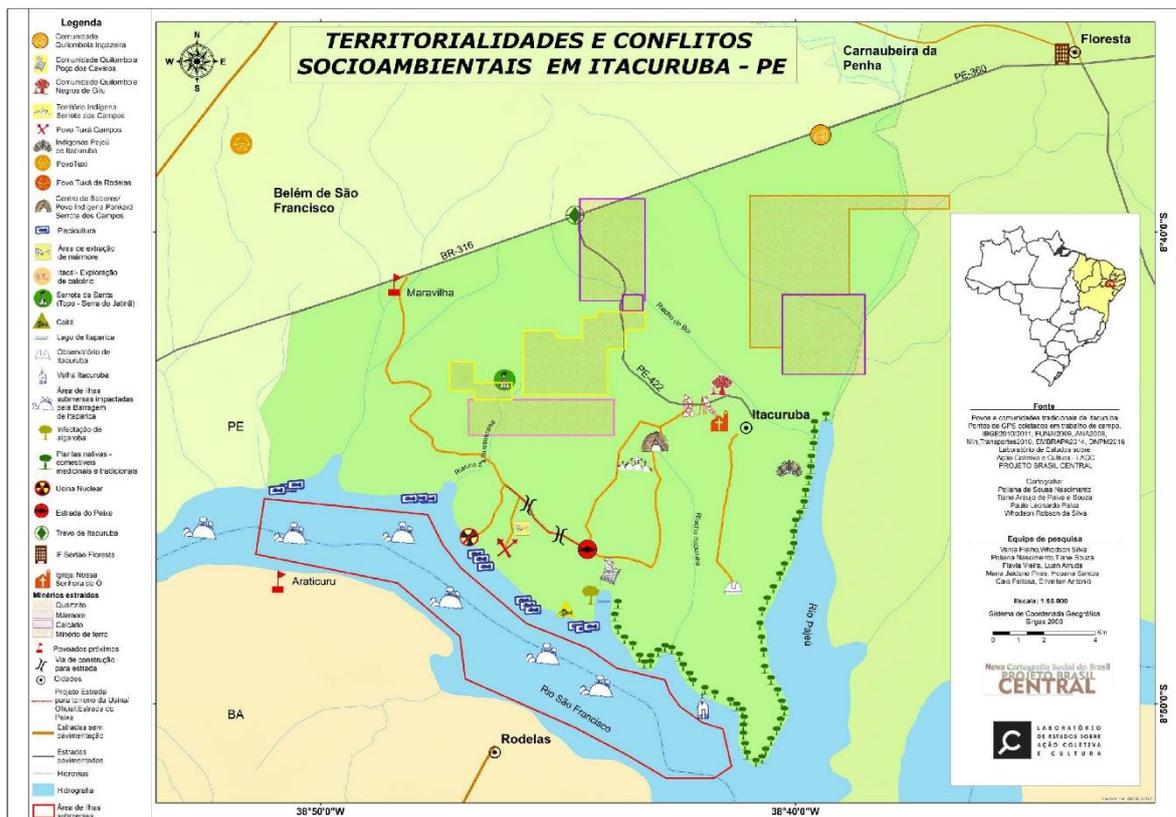


Fonte: PNCSA (2019)

As oficinas realizadas em maio e julho de 2018 e em janeiro de 2019, no município de Floresta – PE, foram essenciais para a criação deste boletim, resultado de um processo coletivo de construção e discussão dos mapas aqui apresentados. A cartografia social sobre a questão nuclear traz à tona denúncias importantes relacionadas aos conflitos que atravessam a realidade dos grupos étnicos da região, destacando a resistência desses povos à instalação de grandes empreendimentos energéticos, como a usina hidrelétrica e a usina nuclear, em sua luta pela sobrevivência e manutenção de sua identidade. O mapa, figura 7, oferece uma visão detalhada da região que inclui o município de Itacuruba, ressaltando os fatores que têm gerado conflitos na área devido a esses empreendimentos e a resistência

persistente dos povos e comunidades tradicionais. Diante desses diversos conflitos este trabalho buscou estudar o conflito causado pela UHE Luiz Gonzaga, que neste mapa é representado por um polígono vermelho sobreposto ao rio São Francisco, conforme figura abaixo.

Figura 7 - Mapa temático - "Territorialidades e Conflitos Socioambientais em Itacuruba – PE".



Fonte: PNCSA (2019). <http://novacartografiasocial.com.br/download/mapa-territorialidades-e-conflitos-socioambientais-em-itacuruba-pe/>

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar, a partir de análise multitemporal com imagens de sensoriamento remoto dados cartográficos sobre a inundação de ilhas proposto por cartografia social no município de Itacuruba - PE.

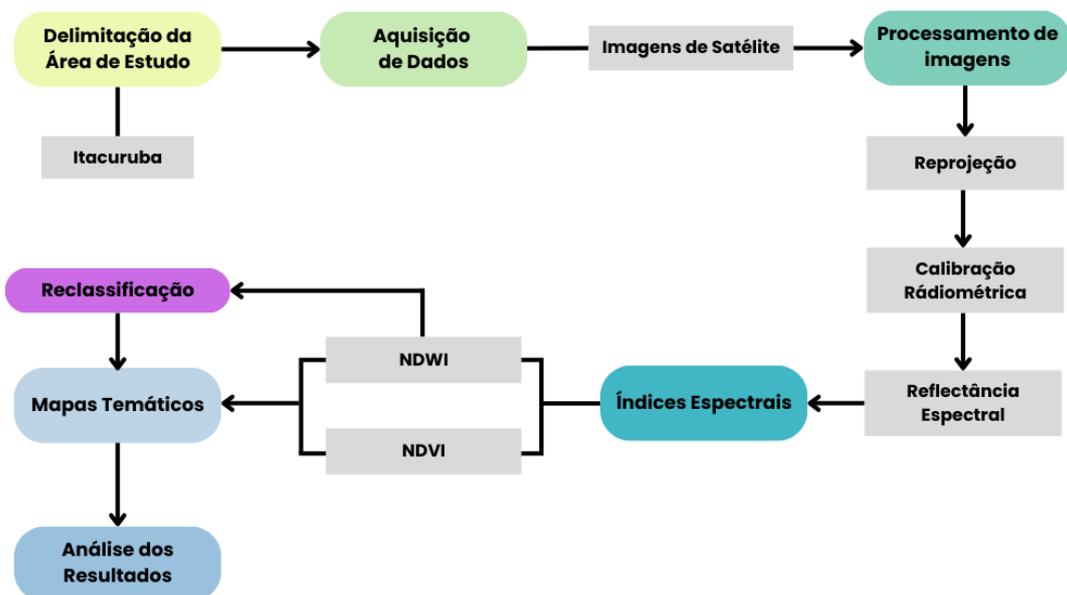
3.2 Objetivos Específicos

- Analisar o impacto da implantação da hidroelétrica na região através da comparação dos produtos do sensoriamento remoto e cartografia social;
- Avaliar a acurácia das informações elaboradas pela cartografia social estudada;
- Mensurar a área das ilhas submersas.

4 METODOLOGIA

Nesta seção foram apresentados os materiais e métodos empregados neste trabalho, que seguiu a ordem do fluxograma metodológico a seguir:

Figura 8 – Fluxograma Metodológico

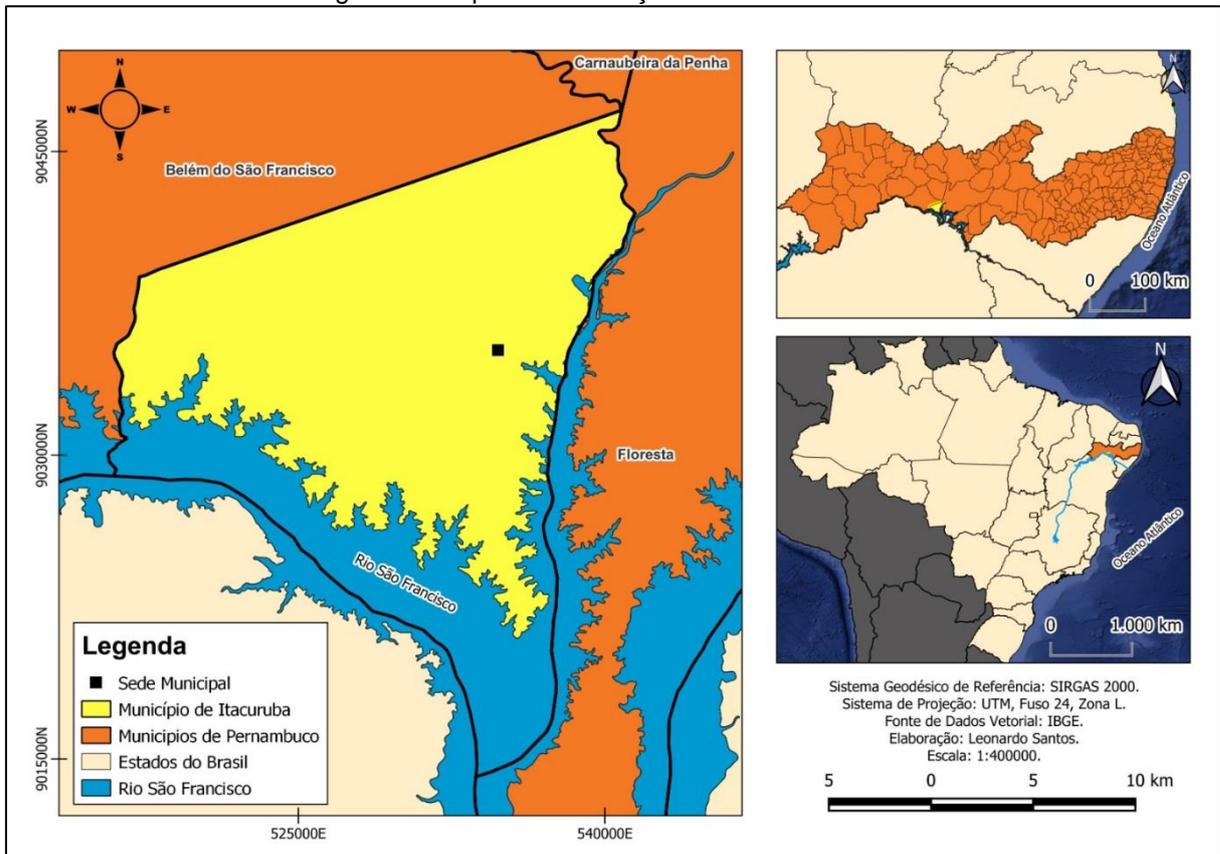


Fonte: O Autor (2024)

4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Itacuruba está localizado no sertão de Pernambuco, na região do Itaparica, Figura 9. Limitado ao norte e a oeste pelo município de Belém do São Francisco, a leste pela cidade de Floresta e ao sul pelo Estado da Bahia. A população em Itacuruba em 2022 era de 4.284 habitantes e a densidade demográfica era de 9,96 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2024).

Figura 8 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: O Autor (2024)

4.2 Aquisição de imagens de satélite

Para realização deste trabalho foram utilizadas imagens de satélite da série Landsat, sendo eles o sensor *Thematic Mapper* (TM) do Landsat 5 e o *Operational Land Imager* (OLI) do Landsat 8, através do portal *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS) de forma gratuita. As imagens podem ser identificadas pelo satélite, sensor, data e órbita-ponto, além de possuírem outras informações fundamentais para a realização do processamento de imagens, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Informações das imagens utilizadas, TM Landsat 5 e OLI Landsat 8.

Data	Órbita	Ponto	Sensor	Azimute Solar	Ângulo de elevação Solar	Distância Terra-Sol
01/10/1985	216	66	TM	82.78306941	56.44590244	1.0010146

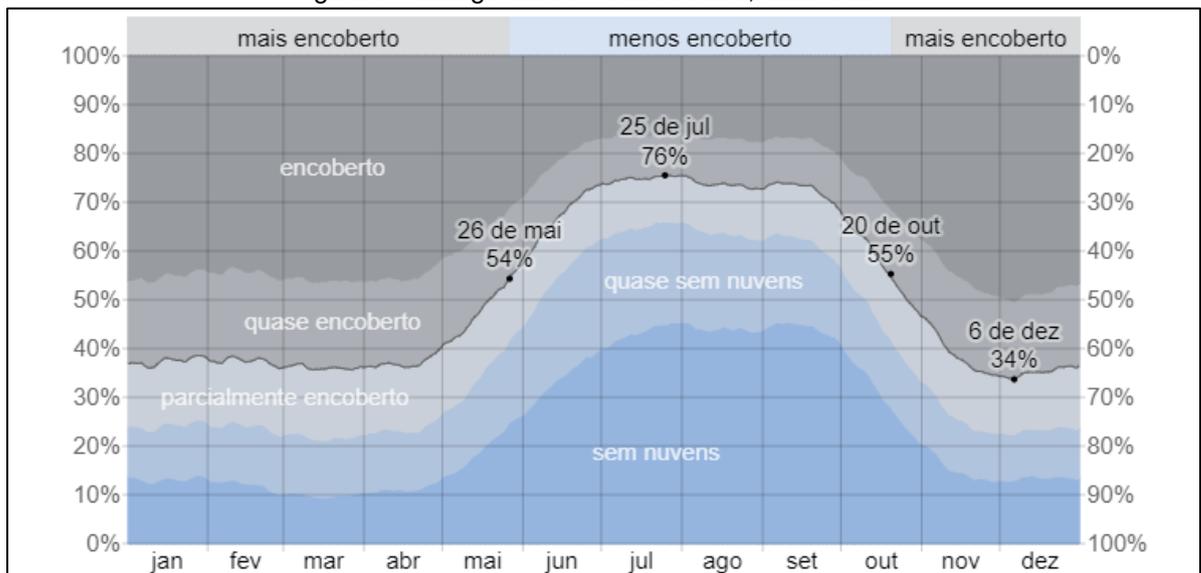
21/09/2022

OLI 71.82524035 62.20984427 1.0040525

Fonte: O Autor (2024).

A primeira imagem, mais antiga, do TM Landsat 5 data do dia 01/10/1985, três anos antes de entrar em operação a UHE Itaparica. Para o OLI Landsat 8 a imagem selecionada é datada de 21/09/2022, ambas cenas escolhidas são da mesma órbita-ponto: 216-66 e seguiram o mesmo critério de escolha, sejam eles: baixa incidência de nuvens conforme figura 5, baixa precipitação e a similaridade das datas entre os anos estudados.

Figura 9 - Categorias de nebulosidade, Itacuruba - PE.



Fonte: weatherspark.com

4.3 Processamento Digital de Imagem

Para a realização do processamento de imagem e elaboração dos produtos cartográficos foi utilizado o software livre de ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), QGIS versão 3.28.12 *Firenze*. Todas imagens utilizadas passaram por reprojeção do sistema de referência de coordenadas.

Cada sensor passou por um processo de transformação dos números digitais (ND) em reflectância para que pudessem ser calculados os índices espectrais. Esses procedimentos estão descritos nos tópicos seguintes.

4.3.1 Reprojeção

As imagens utilizadas oriundas do portal Earth Explorer são, de forma nativa, referenciadas ao sistema de referência WGS84 (World Geodetic System) e, neste caso, projetada no sistema UTM, fuso 24. No QGIS esse sistema de referência e projeção é identificado pelo código EPSG – 32624. Para a realização deste trabalho fez-se necessário realizar a reprojeção destas imagens para o sistema geodésico de referência brasileiro: SIRGAS 2000 e do sistema de projeção adequado para o local de estudo: UTM, Fuso 24, Zona L. O código de indentificação para esse caso é o EPSG – 31984.

Para realização da reprojeção no QGIS, foi utilizado a ferramenta ‘Reprojetar Coordenadas’ da biblioteca GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*). O método de reamostragem selecionado foi o ‘Vizinho mais próximo’. O mesmo método foi utilizado para todas bandas em ambas cenas.

4.3.2 Processamento das imagens do TM Landsat 5

Devido à tecnologia da época, o sensor TM apresenta algumas limitações que exigem uma calibração radiométrica detalhada para a obtenção de dados mais precisos de reflectância (Chander, Markham, & Helder, 2009).

4.3.2.1 Calibração Radiométrica

Para o cálculo da radiância foi utilizada a equação 1 proposta por Markham e Baker (1987):

$$L_{\gamma i} = a_i \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde:

$L_{\gamma i}$: radiância espectral de cada banda ($WM^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)

a_i : radiância máxima de cada banda ($WM^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)

b_i : radiância mínima de cada banda ($WM^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)

ND : número digital (Valor inteiro entre 0 e 255)

Os valores utilizados foram listados na tabela 4, a seguir:

Tabela 4 – Bandas, intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera do TM Landsat 5.

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera - $K\lambda_i$ ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)
		a	b	
1 (Azul)	0,452 – 0,518	-1,52	152,1	1983
2 (verde)	0,528 – 0,609	-2,84	296,81	1796
3 (vermelho)	0,626 – 0,693	-1,17	204,3	1536
4 (Infravermelho próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	206,2	1031
5 (Infravermelho médio)	1,567 – 1,784	-0,37	27,19	220
6 (Infravermelho termal)	10,450 – 12,420	1,2378	15,303	-
7 (Infravermelho médio)	2,097 – 2,349	-0,15	14,38	83,44

Fonte: Adaptado Chander e Markham (2003)

4.3.2 Reflectância

De acordo Chander et al. (2009) a reflectância espectral pode ser calculada através da equação:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\gamma i}}{K_{\gamma i} \cos Z d_r} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{\lambda i}$: reflectância espectral monocromática de cada banda

$L_{\gamma i}$: radiância espectral de cada banda ($\text{WM}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)

$K_{\gamma i}$: irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{WM}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)

$\cos Z$: ângulo zenital solar (graus). Conforme equação (3).

d_r : inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (Unidades Astronômica - UA). Conforme equação (4)

$$\cos Z = \cos \left(\frac{\pi}{2} - E \right) \quad (3)$$

Onde:

E : ângulo de elevação solar (graus)

$$d_r = 1 + 0,33 \cos \left(\frac{2\pi DSA}{365} \right) \quad (4)$$

Onde:
DSA: dia sequencial do ano

4.3.2 Processamento das imagens do OLI Landsat 8

Os Números digitais (ND) das bandas refletiva do sensor OLI podem ser convertidos em reflectância exoatmosférica ou no topo da atmosfera através da equação 5 (USGS, 2016). Os coeficientes de redimensionamento podem ser encontrados no ficheiro de metadados das imagens, arquivo denominado MTL.

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}}{\sin(\theta_{SE})} \quad (5)$$

Onde:

ρ_{λ} : Reflectância exoatmosférica (adm)

M_{ρ} : Fator de redimensionamento multiplicativo específico para cada banda ($WM^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)

A_{ρ} : Fator de redimensionamento aditivo específico de banda ($WM^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)

Q_{cal} : Número digital (ND) do pixel;

θ_{SE} : Ângulo de elevação solar

4.4 Processamento dos Índices Espectrais

Para a realização dos cálculos dos índices, foi utilizado a calculadora raster do QGIS e utilizado as formulas descritas a seguir.

4.4.1 Índice de diferença normalizada da água – NDWI

Conforme observado por Pereira (2018), o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) desenvolvido por McFeeters destaca de maneira eficaz as feições hídricas, como corpos d'água, proporcionando um realce superior em comparação com outras feições da paisagem, como vegetação e solo exposto. O NDWI foi calculado através da equação:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (6)$$

Onde:

GREEN: refere-se a banda 2 do TM e a banda 3 do OLI.

NIR: corresponde as bandas 4 e 5 dos sensores TM e OLI, respectivamente.

4.4.2 Índice de Diferença Normalizada da Vegetação – NDVI

Segundo Tôrres Silveira et al. (2022), o Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) é um indicador sensível à presença e condição da vegetação, com valores que variam de -1 a +1. Áreas com vegetação saudável geralmente apresentam valores positivos, enquanto corpos hídricos tendem a exibir valores negativos. O NDVI foi calculado utilizando a seguinte equação:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-\text{RED}}{\text{NIR}+\text{RED}} \quad (7)$$

Onde:

RED: refere-se a banda 3 do TM e a banda 4 do OLI.

NIR: corresponde as bandas 4 e 5 dos sensores TM e OLI, respectivamente.

5 RESULTADOS

Nessa seção, foram apresentados e analisados os resultados deste trabalho.

5.1 Índices espectrais

Neste tópico, são apresentados os resultados dos índices espectrais NDWI e NDVI, obtidos a partir do processamento de imagens dos sensores TM Landsat 5 e OLI Landsat 8. Para ilustrar as mudanças na área estudada, foram elaborados mapas temáticos que mostram a classificação dos índices espectrais na análise espaço-temporal. Além disso, foram geradas tabelas com os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão, bem como histogramas que destacam as mudanças na distribuição de frequências dos pixels em intervalos específicos, representando alvos como água, solo e vegetação.

5.1.1 Índice de diferença normalizada da água – NDWI

A Tabela 5 detalha os valores estatísticos (mínimo, máximo, médio e desvio padrão) do NDWI nos anos estudados. A diminuição no valor da média ocorre pelo aumento de pixels com valores positivos, o que indica uma presença maior de corpos hídricos e áreas úmidas adjacentes.

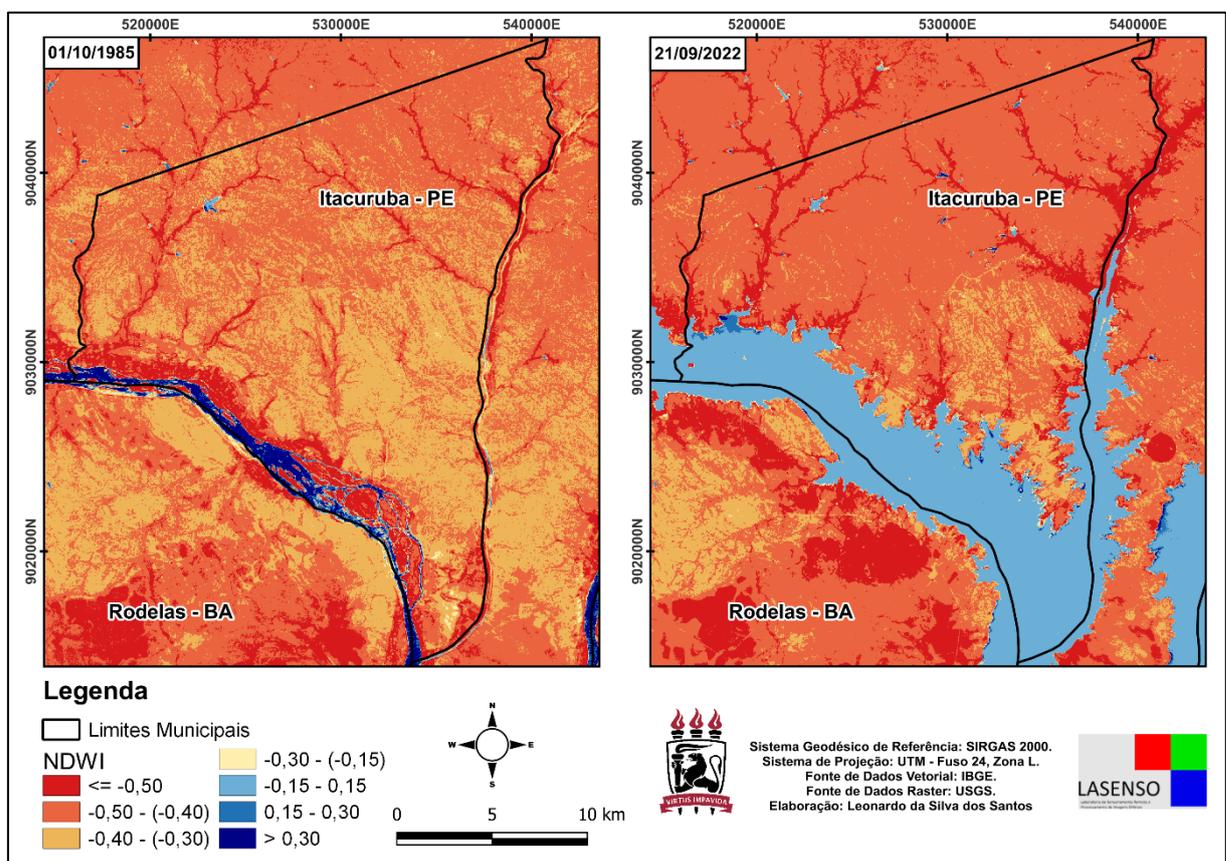
Tabela 5 - Valores do NDWI (1985 e 2022) - mínimo, máximo, médio e desvio padrão.

	01/10/1985	21/09/2022
Mínimo	-0.80708	-0.85238
Máximo	0.83786	0.73430
Média	-0.39636	-0.33655
Desvio Padrão	0.14625	0.20908

Fonte: O Autor (2024).

O NDWI proposto por McFeeters destacou bem os corpos hídricos diferenciando-os dos demais alvos. É possível observar a significativa mudança do Rio São Francisco entre os anos na área estudada, tanto no seu componente espacial, figura 5, onde nota-se um alargamento da margem do Rio, quanto em relação ao seu comportamento espectral que no ano de 1985, antes da inundação, o Rio é quase todo composto por pixels de valores superiores a 0,30. Já no ano de 2022 os valores são mais próximos de 0.

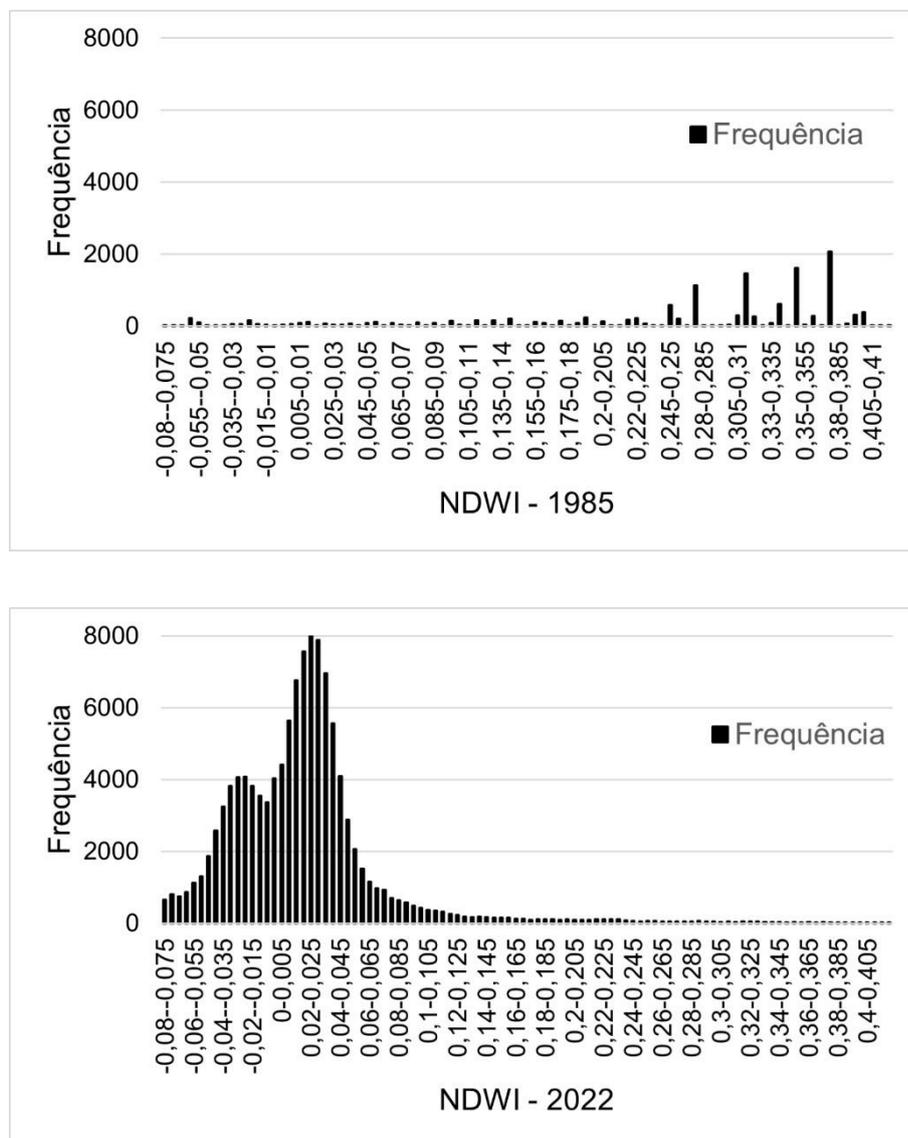
Figura 10 - Mapa temático - NDWI de Itacuruba-PE em 1985 e 2022.



Fonte: O Autor (2024)

Analisando o comportamento espectral deste índice através do gráfico de frequência dos pixels é possível observar uma mudança drástica nos valores próximos de 0 e nos valores próximos de 0,44. No ano de 1985 podemos observar pouca frequência nos valores próximos de 0 e uma concentração maior no intervalo de 0,2 até 0,44. Já no ano de 2022 é possível observar um aumento da frequência e um agrupamento nos valores próximos de 0, que demonstra a inundação pelo rio São Francisco na área estudada.

Figura 11 - Histograma dos pixels da área de estudo dos anos 1985 e 2022 – NDWI.



Fonte: O Autor (2024)

5.1.2 Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI)

Na tabela 6, onde estão descritos os valores estatísticos encontrados, podemos observar a diminuição no valor da média nos anos estudados, isso ocorre em função do aumento de valores negativos, que está associado a presença de corpos hídricos na região. O valor médio encontrado está consistente com a baixa cobertura vegetal presente na área estudada.

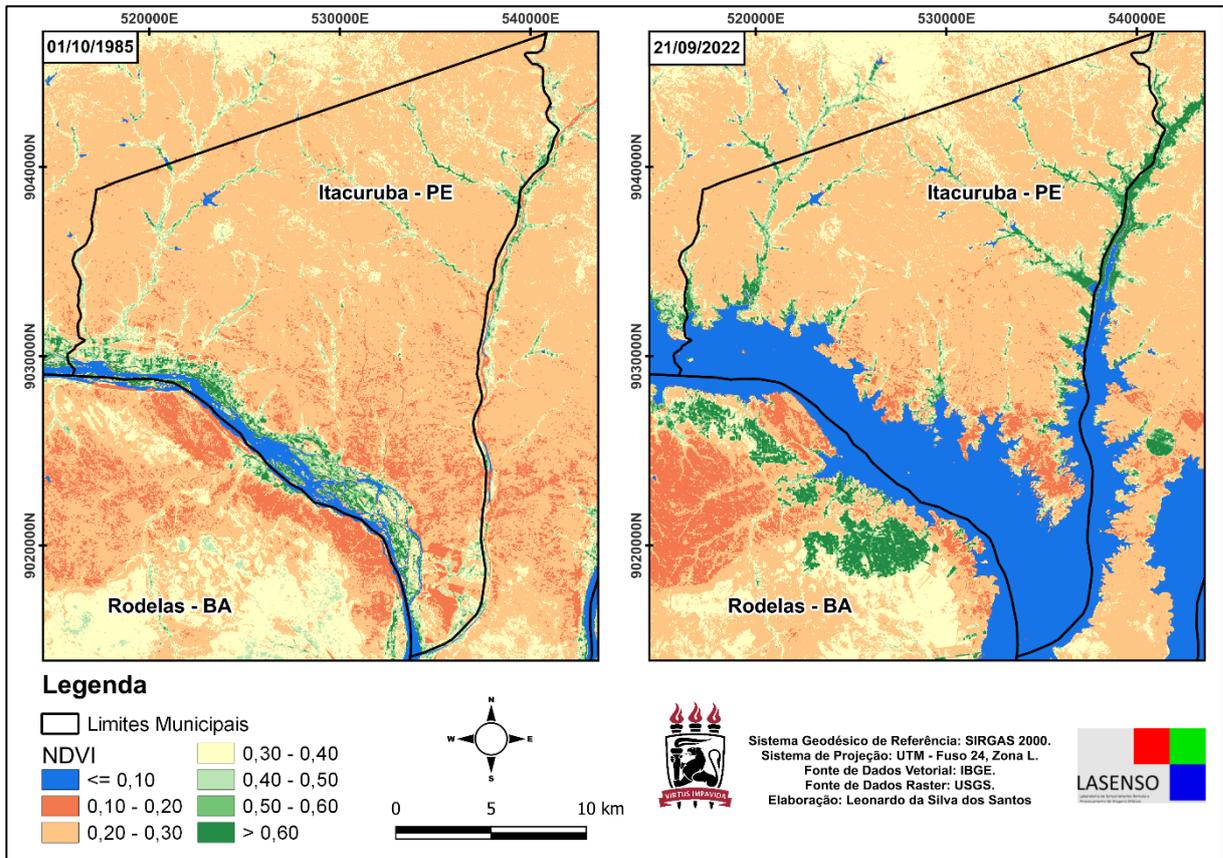
Tabela 6 - Valores do NDVI (1985 e 2022) - mínimo, máximo, médio e desvio padrão.

	01/10/1985	21/09/2022
Mínimo	-0.72929	-0.72144
Máximo	0.86117	0.87330
Média	0.26258	0.21483
Desvio Padrão	0.11518	0.15074

Fonte: O Autor (2024)

Conforme observado por Chouhan e Rao (2011), valores negativos de NDVI estão associados a corpos d'água, enquanto valores muito baixos (0,1 e abaixo) correspondem a áreas desérticas, como rochas ou areia. Valores moderados (0,2 a 0,3) indicam a presença de arbustos e pastagens, e valores altos (0,6 a 0,8) são característicos de florestas ou vegetação densa. Em estudos sobre a Caatinga, região semiárida do Brasil, é comum observar valores de NDVI variando entre 0,2 e 0,5, dependendo do estado fenológico da vegetação, o que é consistente com a presença de arbustos e pastagens típicos dessa área. Já em áreas irrigadas dentro do bioma, como observado em perímetros irrigados, os valores de NDVI tendem a ser superiores a 0,61, refletindo a presença de vegetação mais densa e bem desenvolvida (Santos et al., 2017).

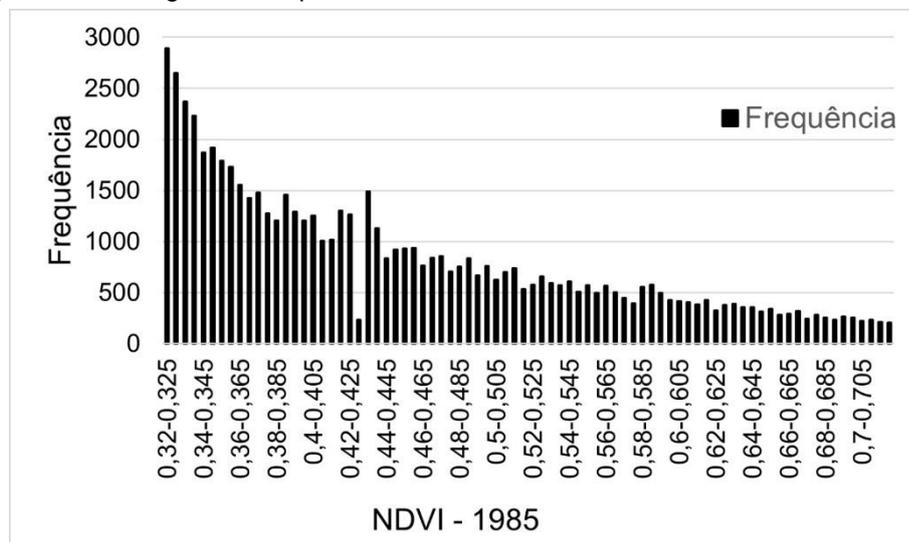
Figura 12 – Mapa temático - NDVI de Itacuruba-PE em 1985 e 2022.

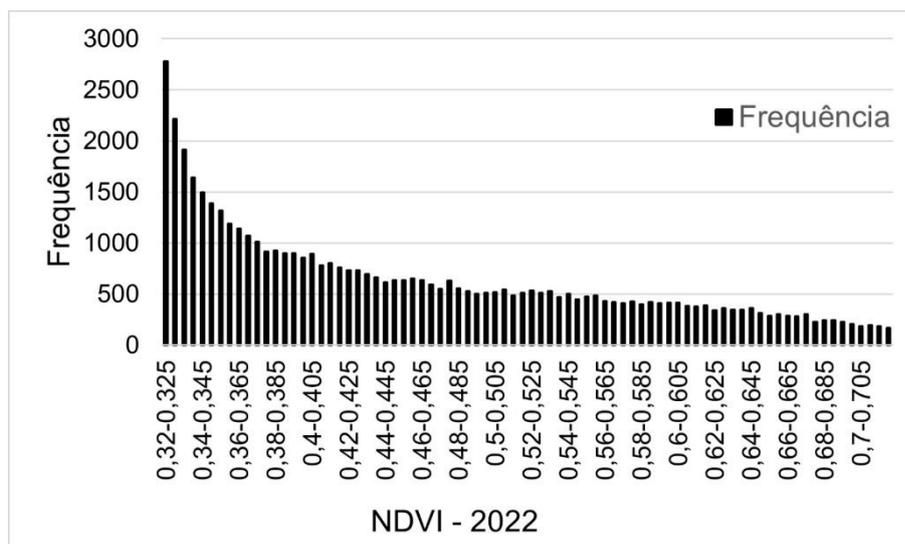


Fonte: O Autor (2024)

Na figura 13 abaixo, podemos notar que não houve mudança significativa na frequência no intervalo dos valores de 0,3 até 0,7 que são associados a vegetação

Figura 13 - Histograma dos pixels da área de estudo dos anos 1985 e 2022 – NDVI.



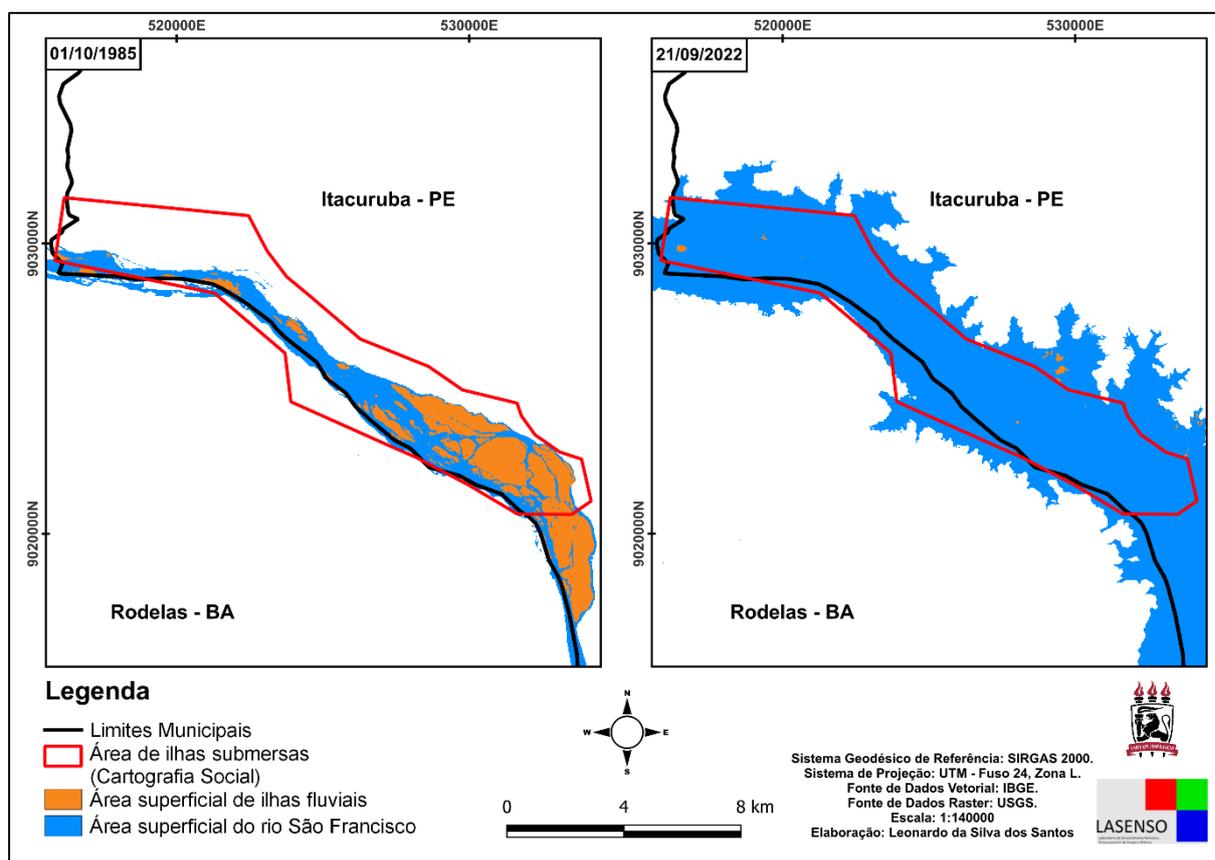


Fonte: O Autor (2024)

5.2 Análise quantitativa das ilhas submersas de Itacuruba

A área das ilhas foi determinada por meio da reclassificação do índice físico NDWI, que foi dividido em duas classes: a primeira abrangendo valores negativos de -1 a 0, e a segunda com valores positivos de 0 a 1. Dessa forma, foi possível distinguir corpos d'água de outros alvos, como solo e vegetação. Para o cálculo das áreas das ilhas fluviais, consideraram-se os pixels classificados como não-água, circundadas por água, localizadas no leito do Rio São Francisco e contidas dentro dos limites municipais de Itacuruba. Com a sobreposição do polígono em vermelho indicado pela cartografia social foi realizado o mapa das áreas superficiais das ilhas fluviais do município, figura 15.

Figura 14 - Mapa temático - Áreas superficiais no trecho indicado pela cartografia social nos anos de 1985 e 2022.



Fonte: O Autor (2024).

Em 1985, a área superficial sobre o Rio São Francisco, apenas dentro dos limites municipais de Itacuruba, foi estimada em aproximadamente 1.461 hectares, representando 3,40% do território total da cidade (Tabela 8).

Tabela 7 - Valores de áreas calculados e sua representação em relação ao município de Itacuruba - PE.

	Área (ha)		Porcentagem em relação a área total do município (%)	
	1985	2022	1985	2022
Ilhas Fluviais	1461,15	58,32	3,40	0,14
Rio São Franciso	1459,89	10330,65	3,39	24,02

Fonte: O Autor (2024).

Já em 2022, essa área foi reduzida para cerca de 58 hectares, o que corresponde a

uma diminuição de aproximadamente 96%. Nesse período, o leito do Rio São Francisco expandiu de 1.459,89 para 10.330,65 hectares, ocupando 24,02% da extensão territorial do município.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho reafirmam a submersão de extensas áreas de ilhas fluviais em Itacuruba-PE, corroborando com as informações fornecidas pela cartografia social. A análise dos índices espectrais como NDWI, que destacou os recursos hídricos, combinada com sua reclassificação, foi possível observar uma redução de aproximadamente 96% na área total das ilhas entre 1985 e 2022, equivalendo à perda de mais de 1400 hectares.

O uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permitiu evidenciar a presença de vegetação nas áreas das ilhas que foram submersas. Esses resultados são consistentes com os relatos obtidos por meio da cartografia social, que indicavam que as ilhas eram agricultáveis antes de serem inundadas. A análise corroborou a memória local, destacando a importância dessas áreas para a agricultura, e demonstrou como as técnicas de geoprocessamento podem validar e complementar conhecimentos tradicionais em estudos ambientais.

A sobreposição entre os resultados do sensoriamento remoto e a cartografia social demonstra a relevância do conhecimento tradicional e a importância da participação das comunidades locais nos processos de tomada de decisão sobre o uso e a gestão dos recursos naturais. Acredita-se que a utilização conjunta de formas distintas de mapeamento, podem auxiliar na luta das comunidades tradicionais pelo acesso à terra.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H, COLI, L. (2008) Disputas territoriais e disputas cartográficas. In Cartografias sociais e território/ Henri Acselrad (organizador).-- Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, 2008. 168 p.; 18 cm. - (Coleção Território, ambiente e conflitos sociais; n. 1).

Acselrad, H. (2014). O conhecimento do ambiente e o ambiente do conhecimento: anotações sobre a conjuntura do debate sobre vulnerabilidade. *Revista Em Pauta: Teoria Social E Realidade contemporânea*, 11(32).
<https://doi.org/10.12957/rep.2013.10158>

ALBUQUERQUE LINS LEONARDO, Haylla Rebeka de; SALGUEIRO, Camila Oliveira de Britto; ALMEIDA, Débora Natália Oliveira de; SANTOS, Sylvana Melo dos; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de. Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz - PE e seu Entorno. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 14, n. 6, p. 3592–3607, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbqfe/article/view/251948>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações. 1ª ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. 161 p.

Boletim Informativo – Conflitos Sociais e Desenvolvimento Sustentável no Brasil Central / resistimos para existir: dizemos não à usina nuclear no São Francisco – N.01 (jun. 2019) / Coordenação da pesquisa: Vania Fialho-. -Manaus: UEA Edições / PNCSA, 2019.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

DE ANDRADE SILVA, G.; FARIAS, C. W. L. de A. Análise espaço-temporal da vegetação no semiárido do Nordeste brasileiro utilizando parâmetros biofísicos. *Revista Semiárido De Visu*, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 195–203, 2021. Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/232>. Acesso em: 14 ago. 2024.

FERREIRA, M. V.; LEITE, M. E.; NEVES, S. L. S. Nova Cartografia Social e Geotecnologias aplicadas à gestão territorial de comunidades tradicionais. *Caderno de Geografia*, v. 31, n. 65, p. 613-630, 2021. Disponível em:

<https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/24899/18149>. Acesso em: 15 ago. 2023.

FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FURTADO, A. L. S.; RODRIGUES, C. A. G.; TÔSTO, S. G. Satélites e produtos. Disponível em: [informar link]. Acesso em: [informar data].

GORAYEB, A.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. Princípios Básicos de Cartografia e Construção de Mapas Sociais: Metodologias Aplicadas ao Mapeamento Participativo. In: GORAYEB, A.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. (Orgs.). *Cartografia Social e Cidadania: experiências de mapeamento participativo dos territórios de comunidades urbanas e tradicionais*. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2015. p. 9-24.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE cidades: Panorama do município de Itacuruba. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/itacuruba/panorama>. Acesso em: 10 set. 2024.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução para o português, 2ª ed. São José dos Campos: Parentese Editora, 2009.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 3ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

NOVA CARTOGRAFIA SOCIAL. Resistimos para existir: dizemos não à usina nuclear no São Francisco. Salvador: Nova Cartografia Social, 2019. Disponível em: <http://novacartografiasocial.com.br/download/01-resistimos-para-existir-dizemos-nao-a-usina-nuclear-no-sao-francisco/>. Acesso em: 10 set. 2024.

PEREIRA, L. E.; AMORIM, G.; GRIGIO, A. M.; FILHO, A. C. P. Análise comparativa entre métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em área úmida continental. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 41, n. 2, p. 654-662, 2018.

PNCSA. Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia. <http://novacartografiasocial.com.br/> Acesso em: 10 set. 2024.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. 4th ed. Berlin: Springer, 2006.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA special publication, v. 351, n. 1974, p. 309, 1974.

SILVA, Jhon Lennon Bezerra da et al. Environmental degradation of vegetation cover and water bodies in the semiarid region of the Brazilian Northeast via cloud geoprocessing techniques applied to orbital data. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 121, p. N.PAG, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104164>.

SOUSA, Fernando de. A usina hidrelétrica Luiz Gonzaga e os novos tempos nas relações sociais. Blog do Fernando de Sousa, 29 maio 2019. Disponível em: <https://ferdinandodesousa.com/2019/05/29/a-usina-hidreletrica-luiz-gonzaga-e-os-novos-tempos-nas-relacoes-sociais/>. Acesso em: 11 jul. 2023.

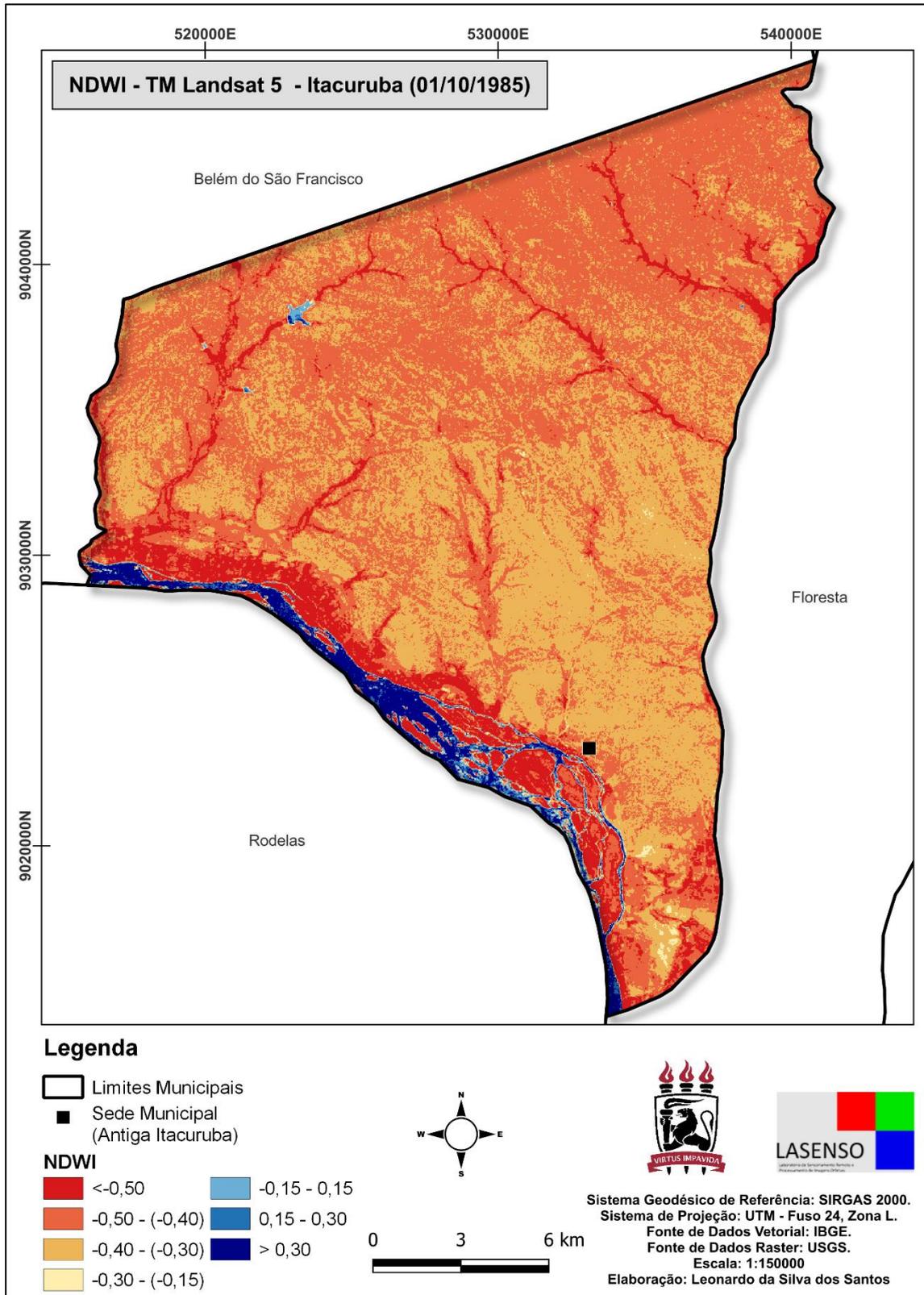
SILVEIRA, N. T.; SANTOS, T. O. dos; TIBÚRCIO, I. M.; GALVÍNCIO, J. D. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (Pernambuco). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 3, n. 3, p. 20-29, 2022.

TEXEIRA, C. M. B. Comportamento e integração de indicadores espectrais da desertificação. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. 152 f.

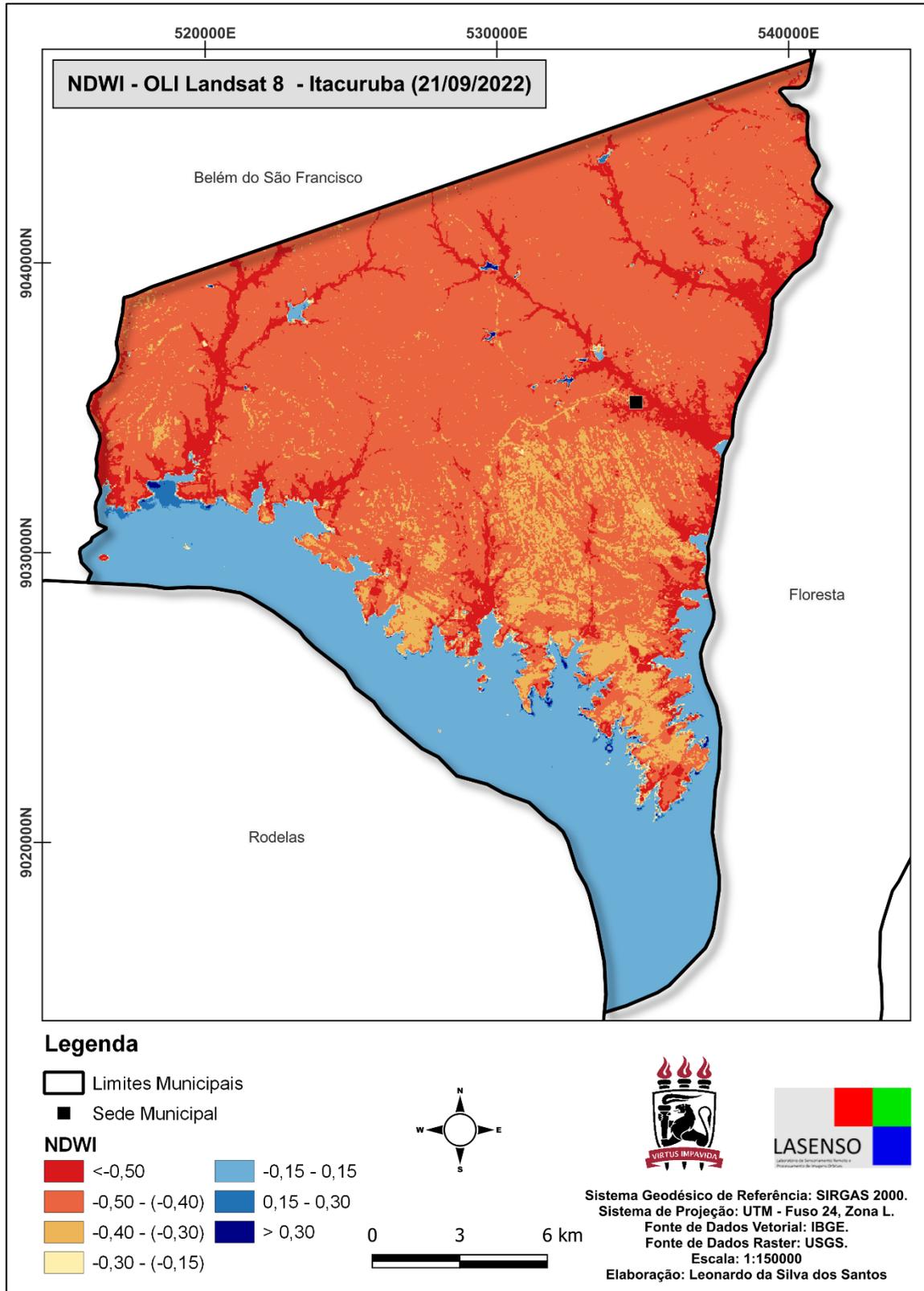
TÔSTO, S. G.; FERREIRA, A. L.; SILVA, L. D. Sensoriamento Remoto: Teoria e Aplicações. Viçosa: Editora UFV, 2014.

ZHOU, Y.; ZHAO, H.; HAO, H.; WANG, C. A new multi-spectral threshold normalized difference water index (MST-NDWI) water extraction method – a case study in Yanhe watershed. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 42, n. 3, Beijing, China, 2018.

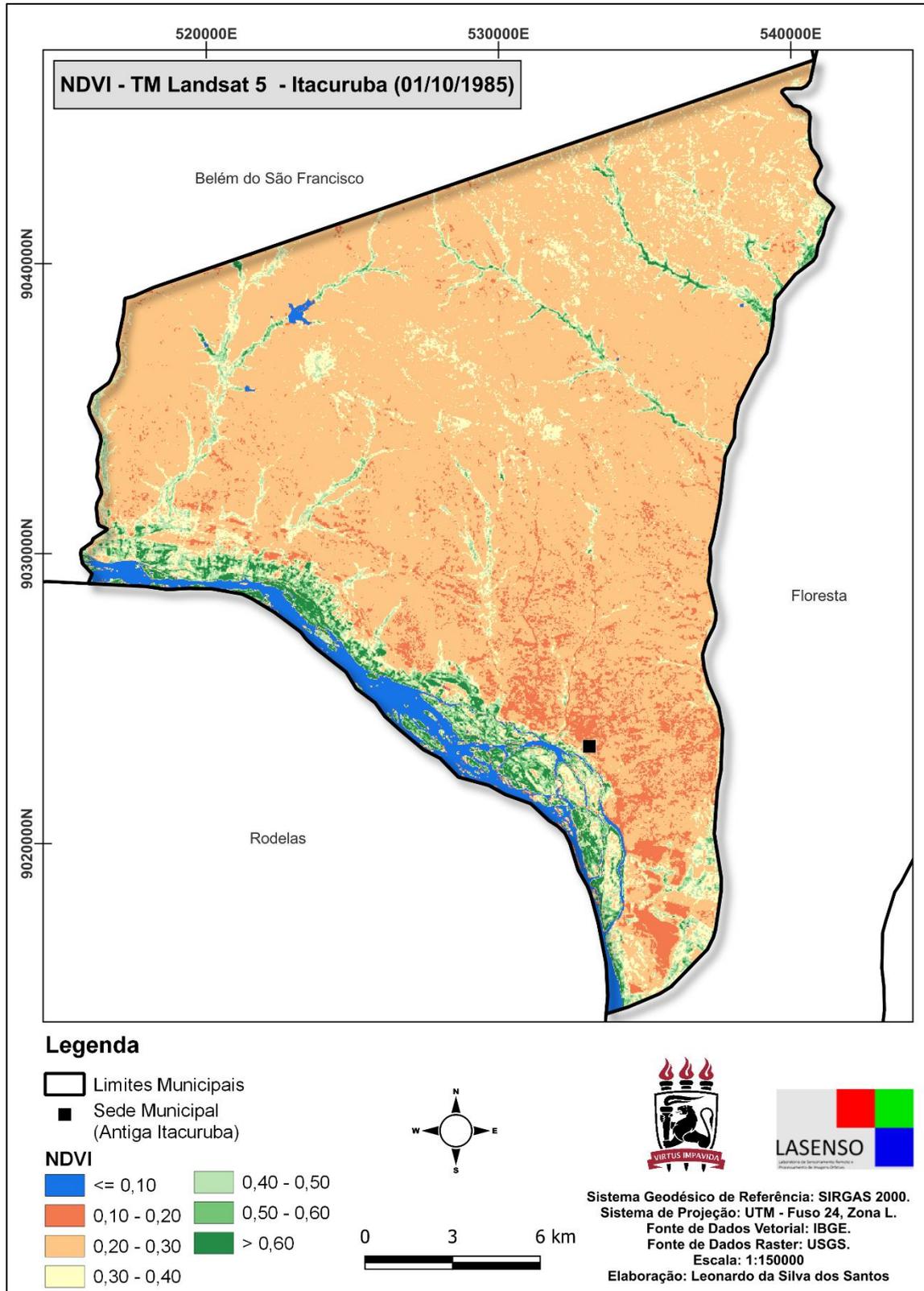
APÊNDICE A – NDWI DE ITACURUBA NO ANO DE 1985



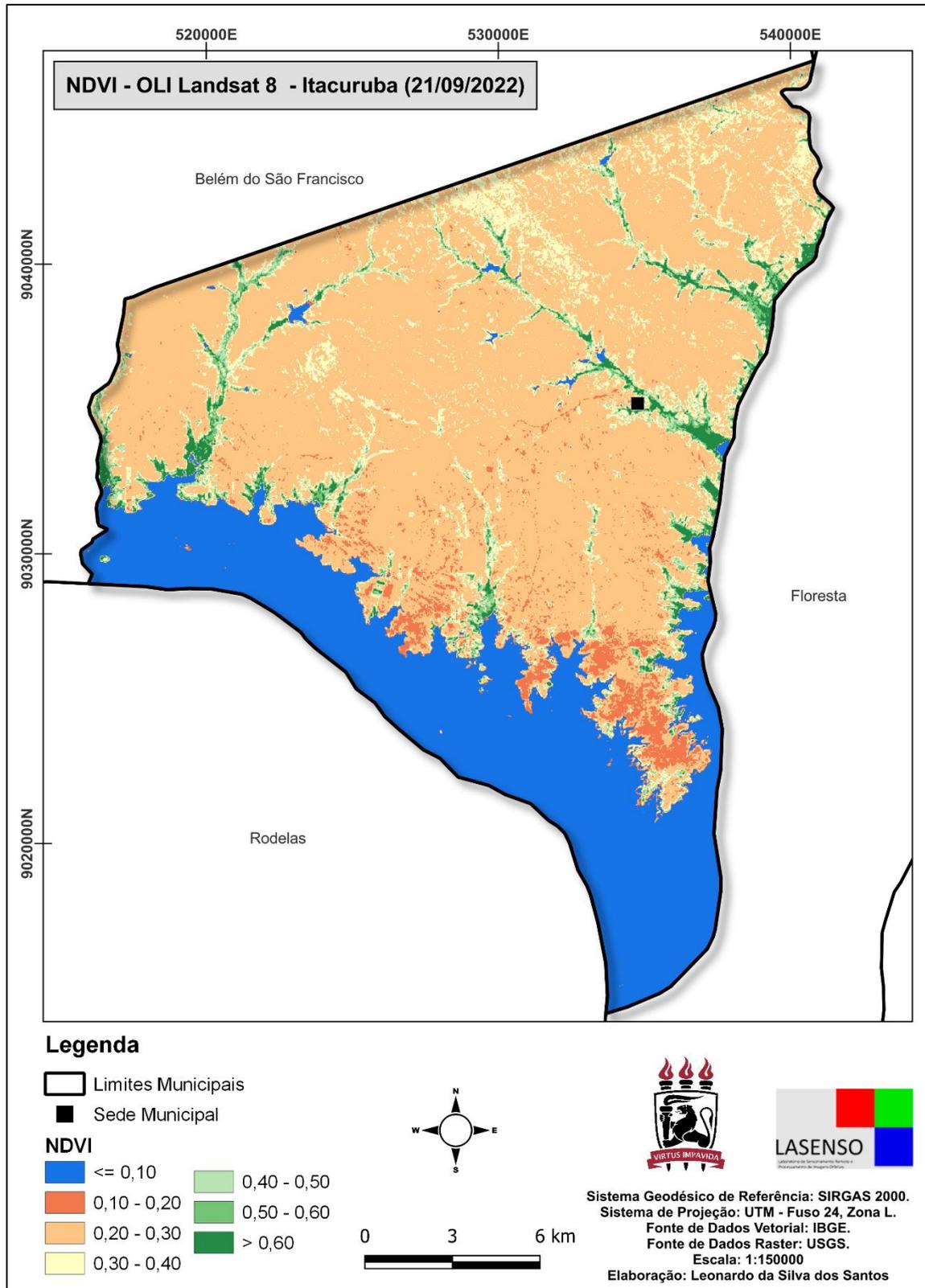
APÊNDICE B – NDWI DE ITACURUBA NO ANO DE 2022



APÊNDICE C – NDVI DE ITACURUBA NO ANO DE 1985



APÊNDICE D – NDVI DE ITACURUBA NO ANO DE 2022



APÊNDICE E – Artigo do REALP 2023

Comparação do mapeamento com cartografia social e imagens de sensoriamento remoto para auxiliar na demarcação de terras de povos indígenas no sertão de Pernambuco

Leonardo da S. dos Santos – UFPE, E-mail: leonardo.ssantos2@ufpe.br
Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias – UFPE, E-mail: ana.candeias@ufpe.br

GT-06: Gestão & Conservação dos Recursos

Introdução

No Brasil, os territórios indígenas são marcados por conflitos socioambientais. Em especial, para o estado de Pernambuco, os povos indígenas que vivem à beira do rio São Francisco, no sertão de Itaparica, destaca-se o conflito com o setor elétrico. No ano de 1988, com a construção finalizada da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga, o município de Itacuruba, no sertão pernambucano sofreu uma inundação de 27,21% do seu território de acordo com a CHESF (Companhia do Vale do São Francisco).

O projeto Brasil central, através de uma cartografia social, produzida com ajuda de comunidades tradicionais de Itacuruba, povos indígenas e quilombolas, elaborou um mapa temático intitulado “Territorialidades e conflitos socioambientais em Itacuruba – PE”, onde propuseram uma área de ilhas como território de povos indígenas. Essas ilhas submersas devido a construção do reservatório de Itaparica e a instalação da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga.

O objetivo deste artigo consistiu no mapeamento cartográfico para localizar as ilhas submersas no reservatório de Itaparica, no município de Itacuruba, e servir de direcionamento para melhor análise da proposta pela cartografia social desenvolvida pelo projeto Brasil central e auxiliar na real dimensão e quantificação das terras antes emersas e que atualmente estão submersas. Para isso utilizou-se técnicas de sensoriamento remoto e processamento de imagens multitemporais para o ano de 1984 (antes do enchimento) e 2022 (imagem recente, depois do enchimento). A metodologia adotada resultou na produção de um mapa temático que possibilitou uma visualização da mudança da paisagem causada pela ação antrópica na área estudada com o enchimento do reservatório.

Referencial Teórico

Segundo Gorayeb, Meireles e Silva (2015) A Cartografia Social corresponde a um instrumento que privilegia a construção do conhecimento popular, simbólico e cultural elaborado sob os preceitos da coletividade onde os diferentes grupos sociais expressam seus anseios e desejos.

Buscando estabelecer um nível de acurácia entre as informações e dados gerados de forma empírica a partir de uma cartografia social, o uso de tecnologias como o do sensoriamento remoto e processamento de imagem pode ser uma alternativa na verificação, validação e quantificação dessas informações através de dados obtidos de forma técnica e científica.

O Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas

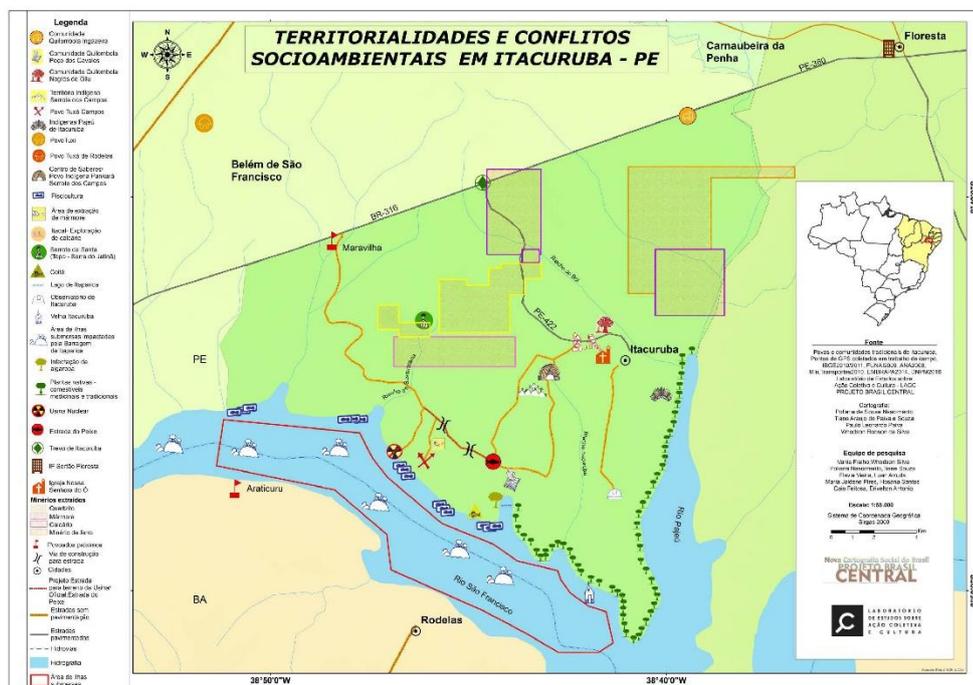
das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (Meneses e Almeida, 2012).

Materiais e Métodos

Área de Estudo

A área de estudo está situada sobre o rio São Francisco, entre os municípios de Itacuruba - PE e Rodelas – BA, sendo demarcada com um polígono na cor vermelha conforme figura 1.

Figura 1 – mapa de caracterização da área de Estudo



Fonte: Projeto Brasil Central (2018). <http://novacartografiasocial.com.br/download/mapa-territorialidades-e-conflitos-socioambientais-em-itacuruba-pe/>

Processamento digital das imagens

As imagens foram obtidas de forma gratuita nos portais Earth Explorer da United States Geological Survey (USGS) e Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram obtidas cenas dos sensores TM Landsat 5, órbita 216, ponto 66, para o ano de 1984 e MUX Cbers-4, órbita 150, ponto 110 para o ano de 2022, o critério de seleção se deu pela baixa incidência de nuvens.

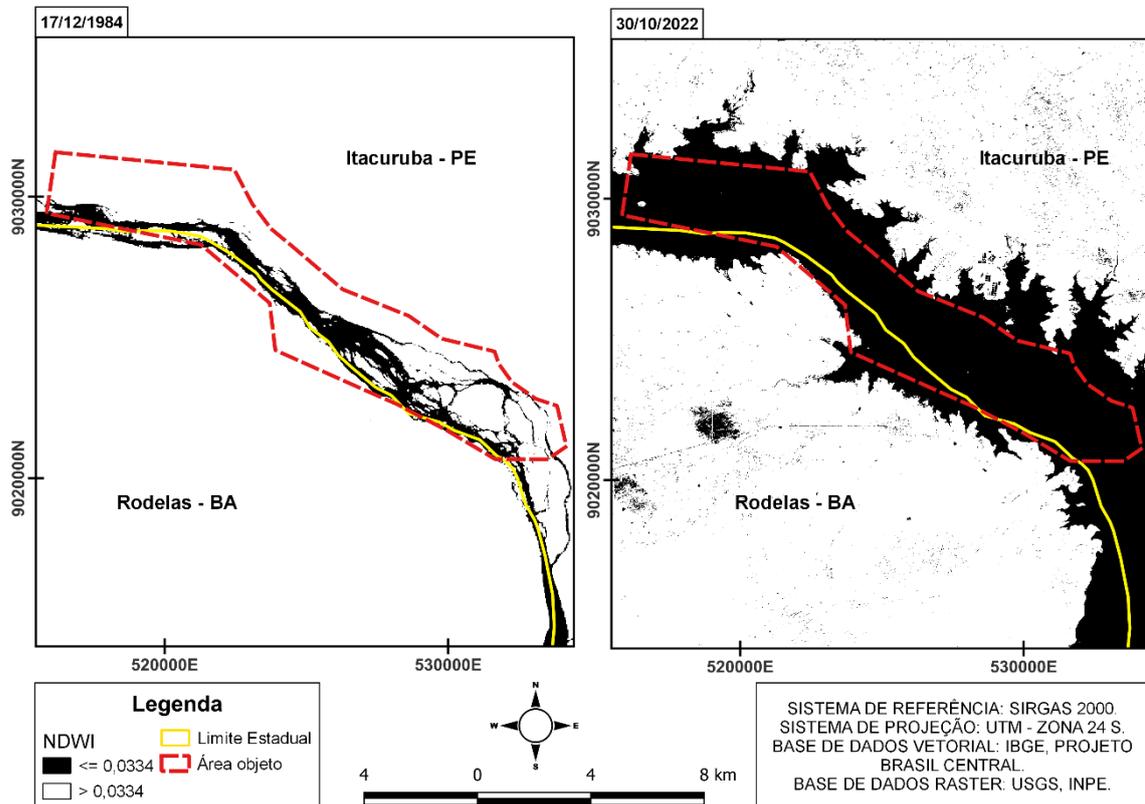
Para a elaboração do mapa temático foi utilizado o índice físico de diferença normalizada da água, NDWI (Normalized Difference Water Index). Melhor detalhamento em GAO (1996). Esse índice requer o uso de uma banda situada na região do comprimento de onda próxima da cor verde ($\pm 490 - 580 \text{ nm}$) e de uma banda situada no comprimento de onda do infravermelho próximo ($\pm 760 - 1000 \text{ nm}$), conforme a equação 1.

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR} \quad (1)$$

Discussão e Resultados

Os resultados do NDWI (Figura 2) foram classificados a partir de uma binarização dos histogramas das imagens para obter área emersa (em branco) e área submersa (em preto) que auxiliaram na interpretação do mapa temático da localização das ilhas.

Figura 2 – NDWI dos anos 1984 e 2022, da área de estudo.



Conclusões

O NDWI é um índice espectral que varia de -1 até 1, no caso do mapa disposto na Figura 2, os valores de limiares menores ou igual à 0,0334 (representados na cor preta), estão associados a água e os valores maiores que 0,0334 representados na cor branca) indicam pixels relacionados a não água.

O mapa temático na figura 2 demonstrou a presença de ilhas no rio São Francisco em 1984, antes do enchimento do reservatório. Em 2022 é possível observar o desaparecimento das ilhas, demonstrando que o mapeamento da cartografia social definiu corretamente e de forma qualitativa essas áreas, e que com esse mapeamento pode ser analisado de forma quantitativa para se mensurar as perdas com essas ilhas atualmente submersas. É possível quantificar também as áreas emersas que não eram ilhas e que também estão atualmente submersas entre o município de Itacuruba, Pernambuco e de Rodelas, Bahia.

Referências

Gao, B.C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, v.58, p.257-266, 1996.

GORAYEB, A; MEIRELES, A. J. A; SILVA, E. V, *Princípios Básicos de Cartografia e Construção de Mapas Sociais: Metodologias Aplicadas ao Mapeamento Participativo* In: GORAYEB, A; MEIRELES, A. J. A; SILVA, E. V.(Orgs).*Cartografia Social e Cidadania:*

experiências de mapeamento participativo dos territórios de comunidades urbanas e tradicionais. Fortaleza. Expressão Gráfica, p. 9-24, 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE cidades: Panorama do município de Arapiraca. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/itacuruba/panorama>. Acesso em 11 jul. 2023.

Jensen, J.R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução português 2 Ed. Parentese Editora. São José dos Campos SP, 2009.

NOVA CARTOGRAFIA SOCIAL. Resistimos para existir: dizemos não à usina nuclear no São Francisco. Salvador: Nova Cartografia Social, 2019. Disponível em: <http://novacartografiasocial.com.br/download/01-resistimos-para-existir-dizemos-nao-a-usina-nuclear-no-sao-francisco/>. Acesso em: 11 jul. 2023.

SOUSA, Fernando de. A usina hidrelétrica Luiz Gonzaga e os novos tempos nas relações sociais. Blog do Fernando de Sousa, 29 maio 2019. Disponível em: <https://ferdinandodesousa.com/2019/05/29/a-usina-hidreletrica-luiz-gonzaga-e-os-novos-tempos-nas-relacoes-sociais/>. Acesso em: 11 jul. 2023.

