

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DAVICSON GUSTAVO NORO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO DO
MUNICÍPIO DE ITAIPULÂNDIA – PR**

SANTA HELENA

2025

DAVICSON GUSTAVO NORO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO DO
MUNICÍPIO DE ITAIPULÂNDIA – PR**

**Multitemporal analysis of vegetation cover and land use in the municipality of
Itaipulândia – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus*
Santa Helena.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Amadeu Stuani
Pereira

SANTA HELENA

2025



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DAVICSON GUSTAVO NORO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO DO
MUNICÍPIO DE ITAIPULÂNDIA – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus*
Santa Helena.

Data de aprovação: 26 de junho de 2025.

Prof. Vinícius Amadeu Stuani Pereira
Doutor em Ciências Cartográficas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Prof. Anderson Sandro da Rocha
Doutor em Geografia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Prof. Diego Venâncio Thomaz
Doutor em Métodos Numéricos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

SANTA HELENA

2025

Dedico este trabalho a minha família, por estar
sempre comigo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança durante toda esta jornada acadêmica.

Aos meus pais, Adilson Vilmar Noro e Eliane Noro, pelo apoio constante e por acreditarem em meu potencial, mesmo nos momentos mais desafiadores.

A minha namorada, por todo companheirismo e apoio durante os anos.

Ao meu orientador, Prof. Vinícius Amadeu Stuaní Pereira, pela orientação precisa, paciência e dedicação, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso de agronomia da UTFPR, pela transmissão de conhecimento ao longo da minha formação.

Aos meus colegas e amigos, pelo companheirismo, troca de experiências e apoio que tornaram essa caminhada mais leve.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação e a concretização deste trabalho, deixo minha sincera gratidão.

"O que eu penso não muda nada além do meu pensamento, o que eu faço a partir disso, muda tudo." (Leandro Karnal).

RESUMO

Ao longo dos anos, as formas de uso e ocupação do solo dos municípios localizados na Bacia do Paraná III foram modificadas em função das diversas interações entre as atividades humanas e o meio natural. A aquisição de conhecimentos sobre a distribuição das formas de uso e ocupação do solo em termos quantitativos e qualitativos é fundamental para o desenvolvimento econômico, social e ambiental. O Sensoriamento Remoto demonstra-se cada vez mais importante na obtenção e distribuição de dados para o mundo todo, principalmente dados ligados ao meio ambiente. Informações que facilitam e contribuem para o monitoramento e a preservação dos recursos naturais, fundamental na busca de soluções que diminuam os impactos causados pelo homem. O presente trabalho teve como principal objetivo, por meio de imagens obtidas pelos sistemas LANDSAT-5, LANDSAT-8 e LANDSAT-9 disponíveis gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS), nos anos de 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2024, realizar uma análise multitemporal do uso e cobertura do solo do município de Itaipulândia, localizado no extremo oeste do Paraná, por meio do uso do método de classificação supervisionada - método das chaves. Foram selecionadas algumas áreas de treinamento para cada uma das classes utilizando o algoritmo de Bhattacharyya. Para avaliar e classificar foi utilizado o *software* SPRING, que oferece de maneira categorizada o porcentagem da área com sua respectiva área de treinamento, sendo finalizados por meio de mapas de *layouts* de impressão no SCARTA. Os resultados mostraram que os corpos d'água mantiveram-se estáveis ao longo do período, variando entre 41,38% (2000) e 41,58% (2024) da área total. As áreas agrícolas (culturas + solo exposto) apresentaram variação entre 39,2% (média do período), com destaque para o pico de solo exposto em 2005 (28,28%). Já as áreas de mata natural aumentaram de 15,12% em 2000 para 20,03% em 2024, indicando a eficácia dos programas de recuperação ambiental na região.

Palavras-chave: análise multitemporal; uso e ocupação do solo; classificação supervisionada; sensoriamento remoto; LANDSAT.

ABSTRACT

Over the years, land use and occupation patterns in the municipalities located within the Paraná III Basin have been modified as a result of various interactions between human activities and the natural environment. Acquiring knowledge about the quantitative and qualitative distribution of land use and occupation is essential for economic, social, and environmental development. Remote Sensing has become increasingly important for global data acquisition and distribution, particularly environmental data. This information facilitates and contributes to the monitoring and preservation of natural resources, playing a key role in developing solutions to mitigate human impacts. This study aimed to perform a multitemporal analysis of land use and cover in Itaipulândia, located in western Paraná, using freely available LANDSAT-5, LANDSAT-8, and LANDSAT-9 imagery from the United States Geological Survey (USGS) for the years 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, and 2024. The supervised classification method (key method) was employed, with training areas selected for each class using the Bhattacharyya algorithm. Classification was performed using SPRING software, which categorizes the percentage of area for each training region, with final outputs generated as print layout maps in SCARTA. Results showed that water bodies remained stable throughout the period, ranging between 41.38% (2000) and 41.58% (2024) of the total area. Agricultural areas (crops + bare soil) varied around a mean of 39.2%, with a peak in bare soil at 28.28% in 2005. Forested areas increased from 15.12% in 2000 to 20.03% in 2024, indicating the effectiveness of environmental recovery programs in the region.

Keywords: multitemporal analysis; land use and occupation; supervised classification; remote sensing; LANDSAT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes básicos de um sistema de aquisição de dados por Sensoriamento Remoto	19
Figura 2 - Caminho percorrido pela REM	20
Figura 3 - Representação esquemática do espectro eletromagnético	22
Figura 4 - Processo aditivo de formação de cores.....	26
Figura 5 - Reflectância espectral de amostras de solo, água e vegetação	27
Figura 6 - Imagem numérica oriunda da composição colorida falsa-cor (a) e imagem classificada (b)	34
Figura 7 - Interface do SPRING após a criação do banco de dados e projeto...	42
Figura 8 - Bandas espectrais do LANDSAT 5 com contraste referente ao ano 2000	43
Figura 9 - Bandas espectrais do LANDSAT 5 com contraste referente ao ano 2005	44
Figura 10 - Bandas espectrais do LANDSAT 5 com contraste referente ao ano 2010	45
Figura 11 - Bandas espectrais do LANDSAT 8 com contraste referente ao ano 2015	46
Figura 12 - Bandas espectrais do LANDSAT 8 com contraste referente ao ano 2020	47
Figura 13 - Bandas espectrais do LANDSAT 9 com contraste referente ao ano 2024	48
Figura 14 - Composições coloridas 1B-2G-3R, 3B-4G-5R e imagem NDVI referente ao ano 2000	50
Figura 15 - Composições coloridas 1B-2G-3R, 3B-4G-5R e imagem NDVI referente ao ano 2005	51
Figura 16 - Composições coloridas 1B-2G-3R, 3B-4G-5R e imagem NDVI referente ao ano 2010	52
Figura 17 - Composições coloridas 2B-3G-4R, 4B-5G-6R e imagem NDVI referente ao ano 2015	53
Figura 18 - Composições coloridas 2B-3G-4R, 4B-5G-6R e imagem NDVI referente ao ano 2020	54
Figura 19 - Composições coloridas 2B-3G-4R, 4B-5G-6R e imagem NDVI referente ao ano 2024	55
Figura 20 - Resultado da segmentação referente ao ano 2000	57
Figura 21 - Resultado da segmentação referente ao ano 2005	57
Figura 22 - Resultado da segmentação referente ao ano 2010	58
Figura 23 - Resultado da segmentação referente ao ano 2015	58

Figura 24 - Resultado da segmentação referente ao ano 2020	59
Figura 25. Resultado da segmentação referente ao ano 2024	59
Figura 26 - Criação dos arquivos de contexto	61
Figura 27 - Treinamento da classe “corpo_agua” referente ao ano 2000	62
Figura 28 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2000	63
Figura 29 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2005	63
Figura 30 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2010	64
Figura 31 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2015	64
Figura 32 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2020	65
Figura 33 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2024	65
Figura 34 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2000	66
Figura 35 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2005	67
Figura 36 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2010	67
Figura 37 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2015	68
Figura 38 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2020	68
Figura 39 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2024	69
Figura 40 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2000 e 2005	70
Figura 41 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2005 e 2010	71
Figura 42 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2010 e 2015	71
Figura 43 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2015 e 2020	72
Figura 44 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2020 e 2024	72
Figura 45 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2000	73
Figura 46 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2005	74
Figura 47 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2010	75

Figura 48 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2015.....	76
Figura 49 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2020.....	77
Figura 50 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2024.....	78
Figura 51 - Análise multitemporal do solo exposto	79
Figura 52 - Análise multitemporal da cultura agrícola	81
Figura 53 - Análise multitemporal da mata	83
Figura 54 - Análise multitemporal dos corpos d'água	84
Figura 55 - Área em (%) ocupada em cada classe no período de 2000 a 2024 ..	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais faixas do espectro eletromagnético.....	22
Tabela 2 - Satélites do sistema LANDSAT	29
Tabela 3 - Principais características e aplicações das bandas do sensor TM...	31
Tabela 4 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2000	43
Tabela 5 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2005	44
Tabela 6 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2010	45
Tabela 7 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2015	46
Tabela 8 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2020	47
Tabela 9 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2024	48
Tabela 10 - Classificação de cada classe de categoria.....	60
Tabela 11 - Coloração de cada tema de classificação	62
Tabela 12 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2000	73
Tabela 13 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2005	74
Tabela 14 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2010	75
Tabela 15 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2015	76
Tabela 16 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2020	77
Tabela 17 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2024	78
Tabela 18 - Variação dos valores que representam a área de solo exposto, de 2000 a 2024	79
Tabela 19 - Variação dos valores que representam a área de cultura agrícola, de 2000 a 2024	81
Tabela 20 - Variação dos valores que representam a área de mata, de 2000 a 2024	82
Tabela 21 - Variação dos valores que representam a área de corpos d'água, de 2000 a 2024	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
ERTS	<i>Earth Resources Technology Satellite</i>
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVP	Infravermelho próximo
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ND	Nível Digital
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
REM	Radiação Eletromagnética
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 Justificativa	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Sensoriamento Remoto	18
2.2 Cobertura e uso da terra	21
2.3 Espectro eletromagnético	21
2.4 Sistema sensor	23
2.5 Resolução	24
2.6 Cor e processo aditivo de formação de cores	25
2.7 Comportamento espectral de alvos comuns	26
2.8 Sistema LANDSAT	28
2.9 Interpretação de imagens	32
2.10 Métodos de interpretação de imagens (método das chaves)	32
2.11 Segmentação de imagens digitais	33
2.12 Classificação de imagens digitais	34
2.13 SPRING	36
2.14 SCARTA	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1 Materiais utilizados	40
3.2 Programas utilizados	40
4 EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES	41
4.1 Criação do banco de dados e projeto	41
4.2 Importação das bandas espectrais	42
4.3 Aplicação de contraste a cada banda espectral	42
4.4 Geração das composições coloridas 1B-2G-3R / 2B-3G-4R e 3B-4G-5R / 4B-5G-6R de bandas espectrais e do índice espectral NDVI	49
4.5 Definição dos tipos de cobertura e uso do solo de interesse	56
4.6 Segmentação das imagens	56
4.7 Chave de interpretação	59
4.8 Classificação supervisionada das regiões	60
4.8.1 Criação dos arquivos de contexto	60

4.8.2 Extração dos atributos das regiões	61
4.8.3 Treinamento	61
4.8.4 Classificação pelo método de Bhattacharya	62
4.8.5 Mapeamento de classes para imagem temática	65
4.9 Elaboração dos mapas temáticos no SCARTA.....	66
4.10 Subtração de imagens	69
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
5.1 Cobertura e uso do solo	73
5.1.1 Cobertura e uso do solo ano de 2000	73
5.1.2 Cobertura e uso do solo ano de 2005	74
5.1.3 Cobertura e uso do solo ano de 2010	75
5.1.4 Cobertura e uso do solo ano de 2015	76
5.1.5 Cobertura e uso do solo ano de 2020	77
5.1.6 Cobertura e uso do solo ano de 2024	78
5.2 Por classes de classificação	79
5.2.1 Solo exposto.....	79
5.2.2 Cultura Agrícola.....	80
5.2.3 Mata.....	82
5.2.4 Corpos d'água	83
5.3 Média final de cada classe ao decorrer de todos os anos avaliados	84
5.4 Conclusão	85
REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O município de Itaipulândia, situado no extremo oeste do Estado do Paraná, próximo ao lago de Itaipu (Bacia do Rio Paraná III), de acordo com o Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), apresentava uma população de 11.485 habitantes no ano de 2022, representando um aumento de 27% em relação ao Censo de 2010. O principal setor econômico é a agricultura, principalmente pelo cultivo de soja e milho. Apesar disso, a indústria, comércio e serviços têm importante contribuição para o produto interno bruto local do município (IBGE, 2023).

A região em estudo é caracterizada por uma intensa atividade agrícola mecanizada, com distintos níveis de ocupação determinados pelas condições de relevo e outras particularidades locais. Além disso, destaca-se pela presença de uma agroindústria robusta e em constante crescimento, o que tem impulsionado um processo de expansão urbana e populacional. Esse dinamismo socioeconômico gera transformações contínuas na paisagem rural e urbana, exigindo ferramentas adequadas para seu monitoramento.

Nesse contexto, a análise multitemporal da cobertura vegetal e do uso do solo torna-se essencial para compreender a magnitude e a direção dessas mudanças ao longo do tempo. Por meio do uso de imagens de satélite, é possível captar, com precisão e abrangência, as alterações na vegetação e nos padrões de ocupação da terra, fornecendo subsídios técnicos importantes para o planejamento territorial e a gestão ambiental (CERQUEIRA et al., 2021).

O sistema LANDSAT, lançado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em 1972, é reconhecido mundialmente como uma das principais fontes de imagens para análise da cobertura vegetal e do uso do solo. O sistema fornece uma série de imagens multiespectrais e multitemporais cobrindo uma variedade de regiões e períodos de tempo. As imagens podem ser usadas para identificar diferentes tipos de vegetação, incluindo florestas, áreas de lavoura e pastagens, recursos hídricos e áreas urbanas, permitindo uma análise abrangente das mudanças que ocorreram numa área ao longo da história (ENGESAT, 2023).

Neste sentido, o presente trabalho buscou, por meio das imagens obtidas por satélites, analisar e quantificar as mudanças ocorridas em Itaipulândia no decorrer do ano de 2000 até o ano de 2024. A metodologia adotada envolve a obtenção e o

processamento de imagens de satélite, a definição de classes temáticas e a aplicação de técnicas de classificação supervisionada. Os resultados incluem a geração de mapas temáticos, a quantificação das áreas ocupadas por cada classe e a análise das implicações dessas informações para o planejamento produtivo e ambiental.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo geral

Realizar a análise e mapeamento temporal dos tipos de cobertura de solo do município de Itaipulândia – PR.

1.1.2 Objetivos específicos

- Aplicar os recursos do *software* SPRING para realizar uma interpretação híbrida de imagens multiespectrais;
- Elaborar mapas temáticos detalhados sobre os tipos de cobertura do solo;
- Gerar gráficos sobre os dados da cobertura do solo captados no mapeamento;
- Analisar os valores, e as mudanças ocorridas para cada data e para cada tipo de cobertura do solo.

1.2 Justificativa

O aumento da população, principalmente nas cidades, faz com que a demanda na produção de alimentos aumente. Com isso as áreas de vegetação não somente vêm sendo desmatadas para o crescimento urbano de maneira desordenada, mas também o rural, como a derrubada de áreas de florestas para serem transformadas em áreas de cultivo e a poluição dos recursos hídricos.

Visto que a fiscalização e monitoramento do território brasileiro realizado por meios terrestres apresentam desafios, como pelo país possuir um vasto território, com áreas de difícil acesso terrestre, além de mobilizar mais pessoas e elevar o custo dos serviços.

Dentre as principais infrações cometidas estão o desmatamento, a poluição dos recursos hídricos, não só superficial, mas também da água profunda presente nas

bacias hidrográficas, sendo mais comum em áreas rurais, no qual vários locais apresentam limitação ao acesso terrestre por não possuírem estradas próximas

Para isso, este trabalho vem com o objetivo de alcançar ótimos resultados na fiscalização e no monitoramento das áreas do município de Itaipulândia, auxiliando na recuperação de áreas degradadas, na diminuição dos índices de desmatamento, no monitoramento dos recursos hídricos e no planejamento urbano do município.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica dos temas abordados na análise multitemporal da cobertura e uso do solo, estruturado em 14 seções: 2.1 – Sensoriamento Remoto, 2.2 – cobertura e uso da terra, 2.3 – espectro eletromagnético, 2.4 – sistema sensor, 2.5 – resolução, 2.6 – cor e processo aditivo de formação das cores, 2.7 – comportamento espectral dos alvos comuns, 2.8 – sistema LANDSAT, 2.9 – interpretação de imagens, 2.10 – métodos de interpretação de imagens – método das chaves, 2.11 – segmentação de imagens digitais, 2.12 – classificação de imagens digitais, 2.13 – SPRING e 2.14 – SCARTA.

2.1 Sensoriamento Remoto

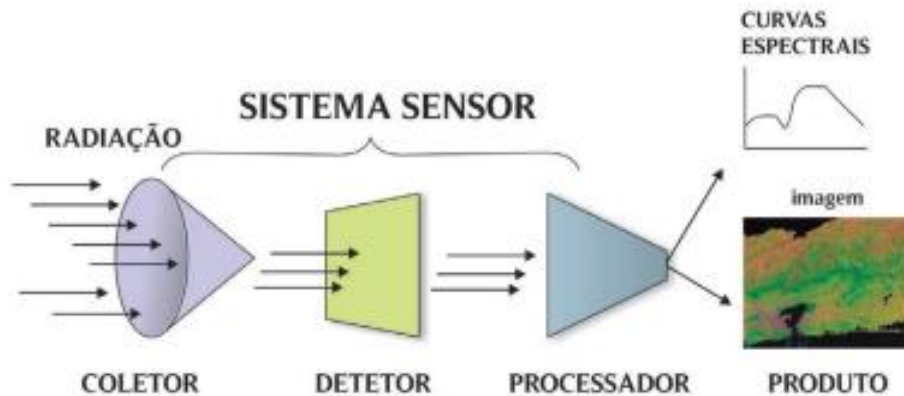
O Sensoriamento Remoto consiste na técnica de aquisição de dados da superfície terrestre por meio de sensores que não estabelecem contato físico direto com o objeto ou fenômeno em estudo (MOREIRA, 2011). Essa tecnologia assume um papel crucial em diversas esferas, desde o monitoramento ambiental até o planejamento urbano. Sua capacidade de coletar informações em diferentes escalas espaciais e temporais, bem como em locais de difícil acesso, oferece uma vasta gama de aplicações (GALO, 2011). Assim, o Sensoriamento Remoto possibilita o registro da distribuição espacial, temporal e espectral da energia eletromagnética.

Diversas áreas do conhecimento científico fazem uso dos produtos gerados pelo Sensoriamento Remoto, entre as quais se destacam: agricultura, análise do meio ambiente, arqueologia, cartografia, floresta; geografia, geologia, geomorfologia e meteorologia.

Pode-se considerar o Sensoriamento Remoto como um sistema de aquisição de informações, e que pode ser dividido em dois grandes subsistemas: Coleta de dados e a análise de dados.

A Figura 1 a seguir apresenta os componentes básicos dos atuais sistemas sensores.

Figura 1 - Componentes básicos de um sistema de aquisição de dados por Sensoriamento Remoto

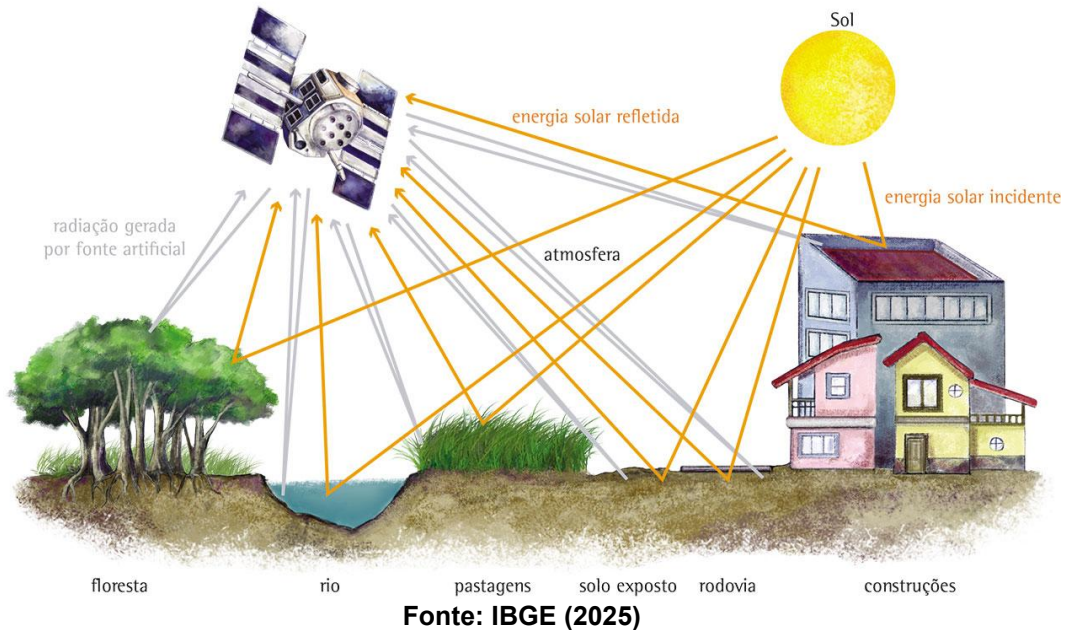


Fonte: Fidalgo et al (s/d)

Isso é feito por meio de sensores que captam a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo. Esses sensores podem ser montados em satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANT) ou em plataformas terrestres (maquinários agrícolas, motos, bicicletas e dentre outros). A radiação eletromagnética detectada por meio de sensores remotos, podem ser possuir bandas espectrais, como por exemplo, na região do visível, infravermelho próximo e médio, e microondas. Cada banda espectral fornece informações específicas sobre as características do alvo (RODRIGUES et al., 2021).

Para que ocorra a detecção da radiação eletromagnética proveniente da superfície é necessário que sejam preenchidas algumas condições com relação à radiação: deve existir uma fonte de radiação eletromagnética, essa fonte deve emitir energia que vai “caminhar” pela atmosfera, e após “caminhar” pela atmosfera, atinge a superfície terrestre, na qual os diversos alvos presentes sobre a superfícies interagem com a energia, fazendo com que esta sofra alterações, onde após a energia após sofrer alteração, percorre o caminho de volta até atingir o sensor. A Figura 2 ilustra o caminho percorrido pela radiação eletromagnética (REM).

Figura 2 - Caminho percorrido pela REM



Os dados de Sensoriamento Remoto obtidos por meio de sensores orbitais tornaram-se uma ferramenta que oferece soluções de maneira rápida e de baixo custo, eficientes para o mapeamento de culturas, de desmatamento, monitoramento de recursos hídricos e para o planejamento urbano, principalmente por meio de dados públicos gratuitos obtidos por plataformas como os satélites do sistema LANDSAT (CHAVES et al., 2020). Existem outras fontes de dados para obtenção de imagens, como por exemplo, o programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) proveniente de uma parceria entre Brasil e China (INPE, 2018).

O Sensoriamento Remoto se mostra cada vez mais importante, de modo que pode englobar a análise e monitoramento de grandes porções de terra, chegando a áreas que são de acesso limitado. Algumas áreas são de difícil monitoramento terrestre, não só pelo tamanho de sua área, no qual as áreas muito grandes dificultam o monitoramento de sua área total, mas também por algumas serem de difícil acesso e demandarem mais tempo e recursos.

Constituído por uma constelação de satélites, o Sensoriamento Remoto oferece imagens para atender as necessidades de diversos tipos de finalidade, tais como, para aqueles usuários que necessitam de serviços que buscam realizar uma avaliação do local desde seu histórico para monitoramento do uso do solo, de desmatamento, de expansão urbana, gerenciamento dos recursos hídricos e áreas em expansão da agropecuária.

Dados de Sensoriamento Remoto podem ser usados para extrair as informações, que fornecem dados descritivos sobre as características da superfície terrestre, podem ser tão diversificados quanto suas áreas de interesse, como solo, vegetação e água. Tais informações métricas incluem localização. A informação temática pode ser obtida por meio da interpretação visual de imagens de detecção remota de análise de imagens digitais que podem analisar áreas de desmatamento, sendo essencial para o monitoramento das áreas (FERREIRA et al., 2008).

2.2 Cobertura e uso da terra

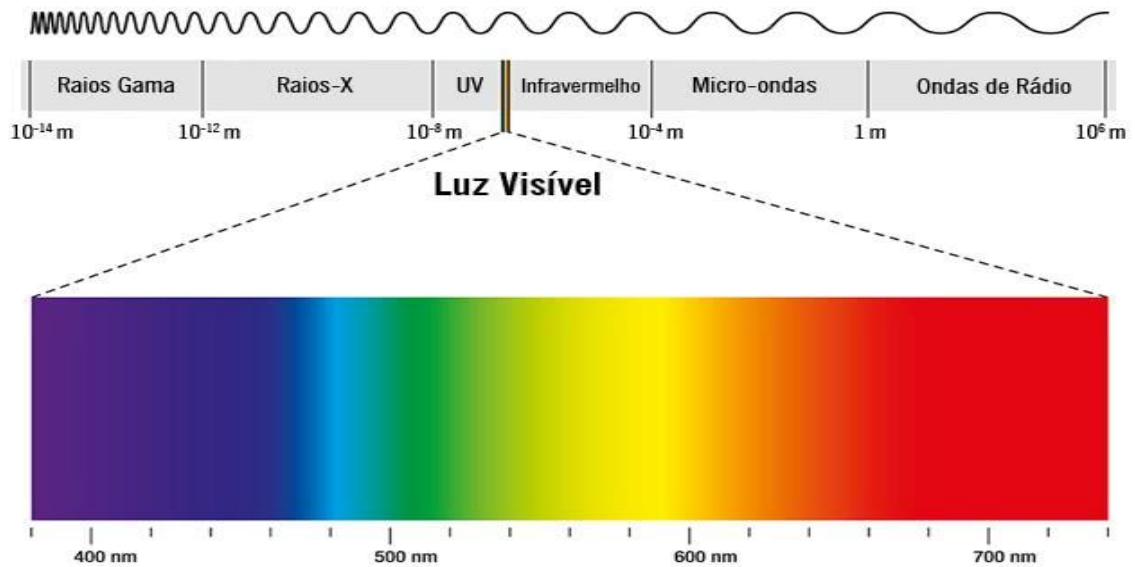
A cobertura e o uso da terra está relacionado com o tipo de cobertura que está presente no momento sobre a superfície terrestre, que pode ser algo muito dinâmico no ambiente, como por exemplo para o município do presente trabalho, que tem o território parcialmente alagado pelo lago de ITAIPU, e sua maior fonte de renda ser a agricultura, levando a ser os principais usos do solo os corpos d'água (rios, lagos, represas), cultura agrícola (pastagens e plantações), solos expostos (devido ao período do vazão sanitário) e as matas.

Tanto o conhecimento do uso da terra como da cobertura são extremamente importantes para definir metas ou linhas de atuação dos planejadores. O uso e a cobertura da terra podem ser melhor entendidos através de imagens classificadas, analisando os mapas e quantificando as áreas de cada uso do solo no município.

2.3 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é a representação contínua da REM em termos de comprimento de onda ou frequência. A Figura 3 ilustra o espectro eletromagnético e a Tabela 1 as principais faixas contidas nele.

Figura 3 - Representação esquemática do espectro eletromagnético



Fonte: Asth (2025)

Tabela 1 - Principais faixas do espectro eletromagnético

Faixa Espectral		Comprimento de Onda
Espectro fotográfico		0,3 - 0,9 μm
Espectro refletido		0,3 - 4,0 μm
Espectro óptico		0,3 - 15,0 μm
Espectro emissivo		> 4,0 μm
Infravermelho termal		8,0 - 14,0 μm
Raios gama		< 0,03 μm
Ultravioleta		0,003 - 0,4 μm
Visível	Violeta	0,40 - 0,45 μm
	Azul	0,45 - 0,50 μm
	Verde	0,50 - 0,57 μm
	Amarelo	0,57 - 0,59 μm
	Laranja	0,59 - 0,60 μm
	Vermelho	0,61 - 0,72 μm
Infravermelho	Próximo	0,7 - 3,0 μm
	Médio	3,0 - 15,0 μm
	Distante	15,0 - 300 μm
Microondas	Bandas	Frequências
	Ka	40,0 - 26,5 Ghz
	K	26,5 - 18,0 Ghz
	Ku	18,0 - 12,5 Ghz
	X	12,5 - 8,0 Ghz
	C	8,0 - 4,0 Ghz
	S	4,0 - 2,0 Ghz
	L	2,0 - 1,0 Ghz
Rádio	P	0,4 - 0,2 GHz
	UHF	3,0 Ghz - 300 Mhz
	VHF	300 Mhz - 30 MHz

Fonte: Asth (2025)

No Sensoriamento Remoto, as faixas mais importantes são:

- Visível (0,4 a 0,7 μm);
- Infravermelho (0,7 a 300 μm); e
- Microondas (do mm ao metro).

2.4 Sistema sensor

Sensores remotos são dispositivos projetados para detectar a energia eletromagnética emitida ou refletida por objetos na superfície terrestre. Essa energia, captada em diferentes faixas do espectro eletromagnético, é convertida em sinais elétricos que podem ser registrados, armazenados ou transmitidos em tempo real. Posteriormente, esses sinais são processados para gerar informações detalhadas sobre as características e feições dos objetos observados. Dependendo do tipo de sensor, os dados coletados podem ser apresentados na forma de imagens, gráficos ou valores numéricos.

Os sensores remotos podem ser classificados de acordo com o tipo de produto gerado:

- **Sensores imageadores:** produzem imagens da área observada, como câmeras fotográficas e scanners.
- **Sensores não-imageadores:** fornecem dados em forma de gráficos ou valores numéricos, como radiômetros e espectrorradiômetros (IBGE, 2025).

Além disso, os sensores são categorizados conforme a fonte de energia utilizada:

- **Sensores passivos:** dependem de fontes externas de energia, como a luz solar, para detectar a radiação refletida pelos objetos. Exemplos incluem os sensores dos satélites LANDSAT, radiômetros e espectrorradiômetro.
- **Sensores ativos:** possuem sua própria fonte de energia eletromagnética, emitindo radiação em direção aos objetos e detectando a energia refletida de volta. Exemplos são radares e câmeras fotográficas com flash (IBGE,2025).

2.5 Resolução

Os sensores remotos possuem quatro resoluções básicas que determinam a qualidade e aplicabilidade dos dados, sendo elas espectral, espacial, temporal e radiométrica.

A resolução espectral refere-se à capacidade de um sensor de distinguir e captar diferentes comprimentos de ondas da radiação eletromagnética, sendo tanto maior quanto mais estreitas forem essas bandas. Por exemplo, o LANDSAT-8 opera com 11 bandas espectrais, enquanto satélites mais avançados como o PRISMA chegam a centenas de bandas hiperespectrais (JENSEN, 2009).

A resolução espacial corresponde ao tamanho do menor elemento legível na imagem, normalmente representado pelo tamanho do pixel (como os 10 metros do Sentinel-2), maior será o detalhamento espacial, o que permite identificar objetos menores e aumentar a precisão em classificações temáticas. Por outro lado, sensores com pixels maiores (como os 250 metros do MODIS) oferecem uma visão mais ampla, porém com menor detalhamento (ENGESAT, 2023).

A resolução temporal, é referente ao intervalo de tempo entre duas aquisições consecutivas em uma mesma área. O sistema LANDSAT, por exemplo possui uma resolução temporal de 16 (FITZ, 2008), enquanto constelações como a Sentinel-2, com múltiplos satélites, reduzem esse intervalo para 5 dias sendo mais adequadas para monitorar mudanças rápidas na paisagem.

Por último, a resolução radiométrica representa a capacidade do sensor em distinguir diferentes intensidades de energia, sendo quantificada em bits. Quanto mais bits o sensor utiliza, mais sensibilidade ele possui para diferenciar os níveis de informação na imagem, o que pode ser qualificado como maior riqueza de detalhes. Imagens de 8 bits (o que permite 256 níveis de cinza) são comuns em sensores mais antigos, enquanto sistemas modernos como o WorldView-3 alcançam 16 bits (equivalente a 65.536 níveis), o que lhes permite capturar variações sutis de reflectância. Essa capacidade é particularmente útil para distinguir diferentes tipos de vegetação ou detectar a presença de poluição em corpos d'água (ENGESAT, 2023).

2.6 Cor e processo aditivo de formação de cores

A cor é definida como o conjunto de características da luz que afetam a sensibilidade visual de forma distinta daquela pela qual suas variações de homogeneidade atuam no espaço e no tempo. A cor percebida de um objeto é intrinsecamente dependente das proporções de azul, verde e vermelho que são refletidas. O olho humano mistura essas parcelas, gerando um impulso que resulta na percepção de uma única cor para um dado objeto. Alterações nas quantidades relativas de azul, verde e vermelho provocam mudanças e, conseqüentemente, a formação de novas cores.

As respostas básicas à cor são percepções específicas de tonalidade, saturação e brilho. A tonalidade compreende a medida que diferencia uma cor da outra, sendo a dimensão da cor que se refere à escala de percepção, variando do vermelho ao azul e retornando ao vermelho. A saturação, por sua vez, é a medida da intensidade de uma cor, representando o grau de afastamento de uma cor em relação a uma cor acromática (sem matiz). O brilho é a medida de luminosidade de uma cor, constituindo a dimensão da cor que se refere a uma escala de percepção, evidenciando uma semelhança a uma cor de uma série de cores acromáticas que varia do muito escuro ao muito claro. Azul, verde e vermelho são reconhecidas como cores espectrais puras.

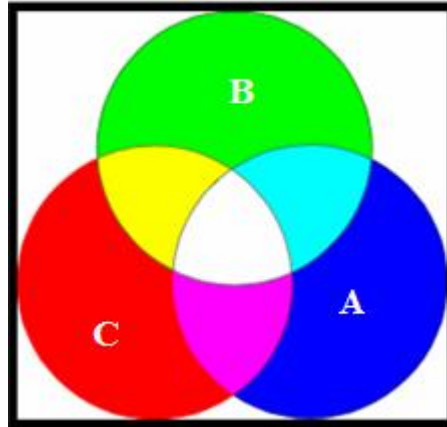
No que diz respeito ao processo aditivo de formação das cores, pode-se exemplificar com três projetores (A, B e C) dispostos para lançar feixes luminosos de seção circular, com as cores azul, verde e vermelha, respectivamente, sobre um anteparo (conforme ilustrado na Figura 4). As regiões iluminadas por uma única componente (A, B ou C) exibirão as cores azul, verde e vermelho.

Quando uma região é iluminada por duas ou mais componentes, a cor resultante é denominada cor composta. Por exemplo, as regiões indicadas por A + B, B + C e A + C são iluminadas por duas componentes. O princípio aditivo recebe esse nome porque a cor final é a soma das frações de luz refletidas por cada componente primária (azul, verde e vermelho) pelo anteparo.

Dessa forma, com as componentes 'A' correspondendo ao azul, 'B' ao verde e 'C' ao vermelho, quantidades iguais de azul e verde resultam na cor ciano; quantidades iguais de verde e vermelho formam o amarelo; e quantidades iguais de vermelho e azul geram o magenta. Essas são as cores compostas por duas

componentes. Na região central, onde todas as três componentes se sobrepõem (A + B + C, ou azul + verde + vermelho), a cor resultante é o branco. Qualquer alteração na variação das quantidades de luz de cada cor primária resultará em uma vasta gama de cores.

Figura 4 - Processo aditivo de formação de cores



Fonte: Silva (2011)

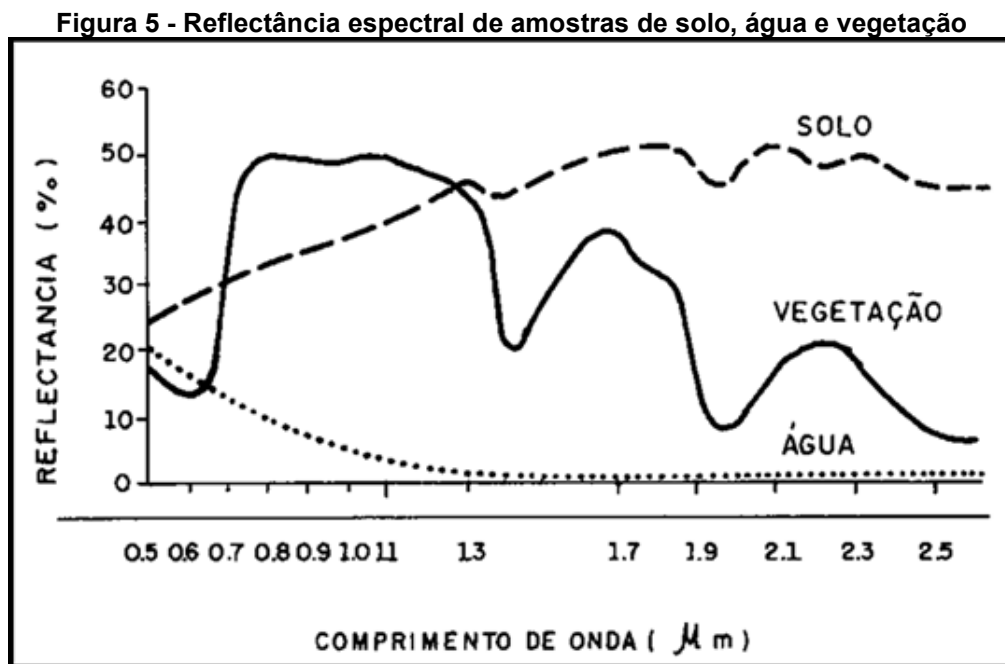
O processo de formação das cores é fundamental na fotografia multiespectral. Este sistema oferece grande flexibilidade, permitindo que as imagens sejam otimizadas para maximizar informações específicas do terreno ou para capturar o comportamento espectral de objetos fora do espectro visível. Primeiramente, possibilita o ajuste preciso das combinações de bandas para realçar características específicas do terreno, como diferentes tipos de vegetação, corpos d'água ou formações geológicas. Em segundo lugar, permite obter informações detalhadas sobre o comportamento espectral de materiais em faixas não visíveis ao olho humano, incluindo o infravermelho próximo, ondas térmicas e outras regiões do espectro eletromagnético.

2.7 Comportamento espectral de alvos comuns

O comportamento espectral de um alvo representa sua assinatura única de reflectância ao longo do espectro eletromagnético, sendo fundamental para sua identificação em Sensoriamento Remoto. Solos, vegetação e água apresentam padrões distintos: os solos mostram reflectância crescente do visível ao infravermelho, variando conforme composição e umidade; a vegetação exibe alta reflectância no infravermelho próximo (700-1300 nm) e forte absorção no vermelho devido à clorofila;

enquanto a água apresenta baixa reflectância geral, com leve aumento no azul em águas claras. A análise precisa dessas assinaturas espectrais requer o registro detalhado das condições de aquisição, incluindo localização, geometria de visada, horário e condições atmosféricas.

Essas assinaturas espectrais funcionam como impressões digitais ópticas, permitindo a distinção confiável entre diferentes alvos em imagens de sensoriamento remoto. O domínio desses padrões é essencial para aplicações práticas como monitoramento agrícola, gestão de recursos hídricos e estudos ambientais, tornando-se uma ferramenta indispensável para a interpretação correta de dados multiespectrais. A eficácia da análise depende tanto do conhecimento teórico desses comportamentos quanto da consideração cuidadosa das condições específicas de coleta dos dados.



Fonte: Silva (2011)

O comportamento espectral dos solos apresenta uma relação complexa com suas propriedades físicas e químicas, onde a matéria orgânica exerce influência negativa na reflectância, reduzindo significativamente a resposta espectral, especialmente em teores acima de 5%. A granulometria mostra comportamentos distintos conforme a natureza das partículas: materiais transparentes como o quartzo aumentam sua reflectância em até 35% quando reduzidos em tamanho, enquanto partículas opacas como os óxidos de ferro apresentam o efeito inverso, com reduções

de até 25% na reflectância à medida que diminuem de tamanho. A umidade do solo provoca reduções médias de 15-20% na reflectância, particularmente na faixa espectral de 1,4-1,9 μm , enquanto a capacidade de troca catiônica mostra correlação negativa com a reflectância, especialmente nas regiões do infravermelho próximo e onda curta.

A água demonstra padrões espectrais distintos conforme seu estado físico. No estado líquido, apresenta absorção praticamente total para comprimentos de onda superiores a 0,7 μm . Quando presente em nuvens, exibe alta reflectância entre 70-90%, com bandas de absorção características em 1,4 e 1,9 μm . Já na forma de neve, mantém reflectância superior a 80% até 1,3 μm , sofrendo queda abrupta para menos de 10% em 2,0 μm , marcada por uma banda de absorção quase total. A vegetação, por sua vez, apresenta assinatura espectral característica com reflectância entre 5-15% no espectro visível devido à forte absorção pelos pigmentos clorofilados, mostrando picos de absorção em 480 nm (azul) e 680 nm (vermelho), e máximo de reflectância em 550 nm (verde), o que explica sua coloração característica. Na região do infravermelho próximo (700-1300 nm), a reflectância salta para 40-60% devido ao espalhamento da luz na estrutura celular foliar, decaindo gradualmente no infravermelho de onda curta (1300-2500 nm) por efeito da absorção pela água foliar, com bandas características em 1,4 e 1,95 μm . Esta resposta espectral varia significativamente em função de parâmetros como índice de área foliar (0-10), conteúdo de água foliar (40-90% do peso fresco), ângulo de visada e cobertura do dossel (30-100%), exigindo correções atmosféricas e geométricas precisas para sua correta interpretação em sensoriamento remoto (SLIVA, 2011; JENSEN, 2009). A compreensão detalhada dessas assinaturas espectrais é fundamental para aplicações em agricultura de precisão, monitoramento ambiental e gestão de recursos hídricos.

2.8 Sistema LANDSAT

O programa LANDSAT, inicialmente designado como ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), foi concebido e implementado pela NASA em colaboração com o USGS (*United States Geological Survey*) como a primeira iniciativa civil de observação sistemática da Terra a partir do espaço. Lançado em 1972, este programa revolucionário teve como objetivo principal fornecer dados multiespectrais contínuos e padronizados para monitoramento dos recursos terrestres em escala global.

Ao longo de suas cinco décadas de operação, o sistema LANDSAT já colocou em órbita oito satélites (LANDSAT 1 ao 9, com exceção do LANDSAT 6 que falhou durante o lançamento), estabelecendo o mais longo registro contínuo de imagens da superfície terrestre. Cada geração de satélites trouxe avanços tecnológicos significativos.

A Tabela 2 detalha as características técnicas de cada missão, incluindo períodos operacionais, características dos sensores e resoluções espectrais. O programa se destaca por sua política de dados abertos, que desde 2008 disponibiliza gratuitamente todo seu acervo histórico, tornando-se ferramenta essencial para pesquisas em mudanças climáticas, desmatamento, agricultura e gestão de recursos hídricos.

Tabela 2 - Satélites do sistema LANDSAT

Satélites	Datas de Lançamento	Sensores	Estado
LANDSAT 1	23/07/1972	RBV, MSS	Desativado em 06/01/1978
LANDSAT 2	22/02/1975	RBV, MSS	Desativado em 05/02/1982
LANDSAT 3	05/03/1978	RBV, MSS	Desativado em 31/03/1983
LANDSAT 4	16/07/1982	MSS, TM	Não adquire imagens (2001)
LANDSAT 5	01/03/1984	MSS, TM	Desativado em 05/05/2013
LANDSAT 6	05/10/1993	ETM	Perdido após o lançamento
LANDSAT 7	15/04/1999	ETM+	Desativado em 31/03/2022
LANDSAT 8	11/02/2013	OLI, TIRS	Ativo até o momento
LANDSAT 9	27/09/2021	OLI-2, TIRS-2	Ativo até o momento

Fonte: USGS (2025)

Os satélites LANDSAT 4 (lançado em 1982) e LANDSAT 5 (lançado em 1984) marcaram uma evolução significativa no sensoriamento remoto orbital ao operar dois sistemas imageadores complementares: o MSS (*Multispectral Scanner System*), já utilizado nas missões anteriores, e o avançado TM (*Thematic Mapper*), que introduziu novas capacidades de observação da Terra. Embora idênticos em projeto, o LANDSAT 5 destacou-se por sua excepcional longevidade, permanecendo operacional por 29 anos até 2013 – um recorde notável que superou em muito sua expectativa de vida inicial.

O sensor TM representou um salto tecnológico importante em relação ao MSS, oferecendo sete bandas espectrais cuidadosamente posicionadas para aplicações ambientais específicas. Seis dessas bandas operavam no espectro refletido com resolução espacial de 30 metros, enquanto a banda termal (10.4-12.5

μm) capturava radiação emitida com resolução de 120 metros. Cada banda foi otimizada para finalidades distintas: a Banda 1 (0.45-0.52 μm) mostrou-se particularmente útil para estudos costeiros e análise de sedimentos em suspensão; a Banda 2 (0.52-0.60 μm) destacava vegetação saudável; a Banda 3 (0.63-0.69 μm) era essencial para análises de clorofila; a Banda 4 (0.76-0.90 μm) excelente para delimitar corpos d'água; a Banda 5 (1.55-1.75 μm) sensível ao conteúdo de umidade na vegetação; e a Banda 7 (2.08-2.35 μm) valiosa para mapeamento geológico.

Entre as principais inovações do TM, destacam-se a melhoria de 240% na resolução espacial (de 80 m para 30 m), a expansão para sete bandas espectrais (contra quatro do MSS), a precisão radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinza), um sistema de correção geométrica aprimorado e a manutenção da faixa imageadora de 185 km para garantir compatibilidade com as missões anteriores. O ciclo de revisita de 16 dias, combinado com a largura de faixa de 185km, permitiu uma cobertura sistemática global contínua. As imagens TM, com dimensões padronizadas de 185km x 172km, estabeleceram-se como referência para diversos estudos ambientais, incluindo monitoramento de mudanças no uso do solo, acompanhamento agrícola e gestão sustentável de recursos naturais.

A Tabela 3 complementa estas informações com detalhes técnicos adicionais e aplicações específicas de cada banda espectral deste sensor pioneiro, que fundamentou o desenvolvimento das gerações subsequentes de satélites de observação terrestre.

Tabela 3 - Principais características e aplicações das bandas do sensor TM

Bandas	Faixas Espectrais (μm)	Características/Principais Aplicações
1	0,45 - 0,52	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.
2	0,52 - 0,60	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	0,63 - 0,69	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	0,76 - 0,90	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé).
5	1,55 - 1,75	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	10,4 - 12,5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 - 2,35	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: Silva (2011)

Com os lançamentos do LANDSAT-8 (2013) e LANDSAT-9 (2021), houve avanços significativos nos sensores embarcados. Ambos operam com dois sensores principais: o OLI (*Operational Land Imager*) e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O OLI capta nove bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros, incluindo uma banda pancromática com 15 metros. Entre as inovações, destaca-se a banda 9 (cirrus), voltada à detecção de nuvens finas, o que melhora a qualidade das imagens para análises ambientais (USGS, 2024).

O sensor TIRS, por sua vez, é responsável pelas bandas térmicas, operando com duas faixas espectrais voltadas ao monitoramento da temperatura da superfície terrestre. A resolução nativa dessas bandas é de 100 metros, mas após o processamento, os dados são disponibilizados com resolução de 30 metros. A presença de duas bandas térmicas permite maior precisão e correção atmosférica, especialmente útil em áreas urbanas e agrícolas (JENSEN, 2009).

Além das melhorias espectrais, os LANDSAT-8 e 9 apresentam resolução radiométrica de 12 bits, que permite capturar até 4.096 níveis de cinza, aumentando significativamente a sensibilidade na identificação de diferentes alvos na superfície terrestre (USGS, 2024). A calibração orbital contínua também contribui para a redução de ruídos sistemáticos nas imagens (SILVA, 2011).

Esses avanços tornam os sensores OLI e TIRS especialmente eficazes para aplicações relacionadas à saúde da vegetação, umidade do solo, qualidade da água e planejamento territorial, sendo amplamente recomendados para análises multitemporais e de alta confiabilidade (GALO, 2011).

2.9 Interpretação de imagens

A interpretação de imagens consiste no processo de extração de informações sobre objetos (alvos) da superfície terrestre, com base em suas respostas espectrais, conforme definido por Moreira (2001) citado por Galo (2011). Esse processo fundamental no Sensoriamento Remoto permite identificar e caracterizar diferentes alvos através de suas assinaturas espectrais únicas.

2.10 Métodos de interpretação de imagens (método das chaves)

Os métodos de interpretação de imagens podem ser classificados em duas abordagens principais, conforme descrito por Galo (2011). A primeira é a análise

visual, que se baseia na interpretação humana dos elementos da imagem. A segunda abordagem é a análise digital, que utiliza recursos computacionais para processamento e classificação automática de imagens. No *software* SPRING, conforme demonstrado por Peluzio et al. (2011), ambas as abordagens podem ser implementadas de forma integrada, aproveitando as vantagens de cada método.

Independentemente da abordagem adotada, os elementos básicos de interpretação de imagens permanecem os mesmos, conforme sistematizado por Silva (2011). Esses elementos incluem: tonalidade de cinza (relacionada à reflectância dos alvos), cor (em composições coloridas), textura (distribuição espacial das variações tonais), tamanho e forma dos objetos, sombras (que permitem inferir alturas), padrões espaciais característicos e a localização geográfica dos alvos. O SPRING (2011) oferece ferramentas específicas para análise de cada um desses elementos, facilitando o processo de interpretação.

2.11 Segmentação de imagens digitais

A segmentação representa uma etapa fundamental no pré-processamento de imagens de satélite, sendo determinante para o sucesso da posterior classificação temática. Segundo Galo (2011), esse processo consiste no agrupamento de pixels com características espectrais e texturais similares, formando regiões homogêneas que correspondem a feições da superfície terrestre, conforme implementado nas rotinas de processamento do SPRING (SPRING, 2011).

A segmentação automática baseia-se em dois princípios fundamentais, conforme descrito por Peluzio et al. (2011). O primeiro método avalia as discontinuidades, identificando mudanças abruptas nos valores de tons de cinza, enquanto o segundo método trabalha com similaridades, agregando pixels vizinhos com características espectrais semelhantes. A segmentação por crescimento de regiões, disponível no SPRING, utiliza este segundo princípio, agrupando progressivamente pixels similares até formar regiões homogêneas que representam feições cartográficas distintas.

A eficácia do processo de segmentação depende criticamente da seleção adequada dos parâmetros de similaridade, conforme alerta Galo (2011). A definição dos limiares deve considerar: (1) os padrões espaciais característicos da área de estudo; (2) a escala cartográfica desejada; e (3) o nível de generalização adequado.

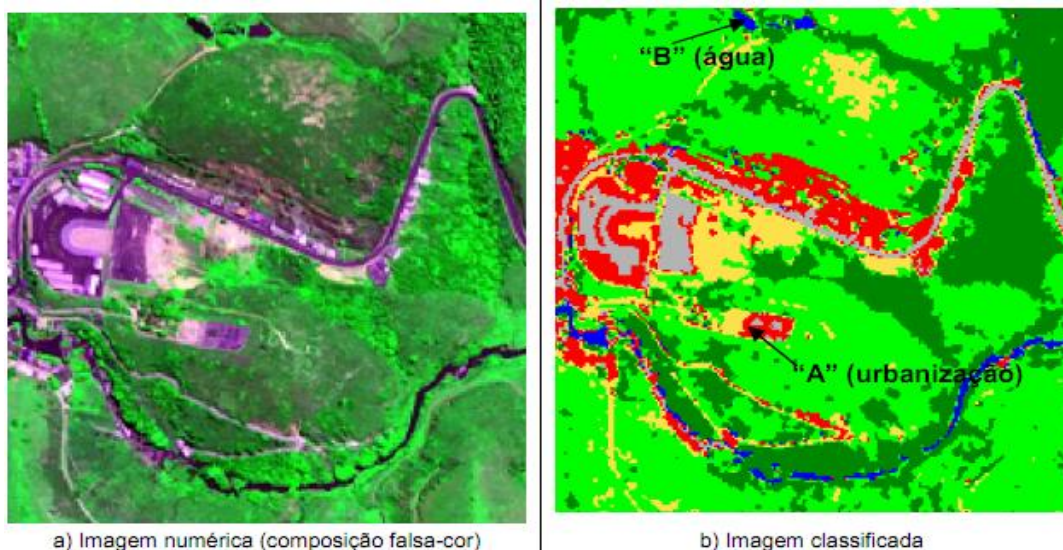
Valores de limiar muito baixos resultam em fragmentação excessiva, enquanto valores muito elevados causam agrupamento inadequado de classes distintas, problemas que podem ser minimizados através do uso criterioso das ferramentas de ajuste do SPRING (PELUZIO et al., 2011).

2.12 Classificação de imagens digitais

A classificação de imagens digitais de satélite consiste no processo sistemático de associação de pixels a classes temáticas específicas, conforme definido por Silva (2011). Cada pixel é tratado como uma unidade individual caracterizada por seus valores de reflectância em múltiplas bandas espectrais, processo que pode ser implementado no ambiente SPRING através de seus algoritmos de classificação (SPRING, 2011).

O método fundamental de classificação, conforme descrito por Peluzio et al. (2011), baseia-se na comparação espectral entre pixels de identidade desconhecida e pixels de referência (áreas de treinamento). Essa abordagem permite agrupar em classes homogêneas os pixels que apresentam características espectrais similares, funcionalidade disponível no módulo de classificação supervisionada do SPRING. O resultado final do processo é uma representação temática da imagem original, onde cada classe é distinguida por cores ou padrões específicos. A Figura 6 apresenta um exemplo.

Figura 6 - Imagem numérica oriunda da composição colorida falsa-cor (a) e imagem classificada (b)



Fonte: Silva (2011)

A classificação digital de imagens é um processo fundamental no Sensoriamento Remoto que consiste na análise numérica de imagens para agrupar pixels com características espectrais semelhantes em classes temáticas definidas. Conforme demonstrado por Silva (2011), esse processo transforma dados brutos de sensores em informações temáticas úteis para diversas aplicações. Na prática, como ilustrado na Figura 6, cada classe apresenta uma faixa específica de valores digitais - por exemplo, áreas urbanizadas são representadas por pixels com valores entre 70 e 130 (tons claros), enquanto corpos d'água aparecem com valores entre 5 e 40 (tons escuros).

Os classificadores digitais, definidos por Galo (2011) como algoritmos computacionais especializados, implementam diferentes estratégias para categorizar os pixels da imagem. O SPRING oferece diversos classificadores, cada um com particularidades que os tornam mais adequados para situações específicas. A escolha do classificador ideal deve considerar múltiplos fatores, incluindo as características técnicas da imagem (como número de bandas espectrais e resolução radiométrica), a complexidade do cenário analisado (quantidade e variabilidade das classes presentes) e a disponibilidade de dados de referência para treinamento dos algoritmos. Não existe um classificador universalmente superior, pois o desempenho varia conforme as particularidades de cada estudo, exigindo do analista conhecimento técnico para selecionar a abordagem mais adequada a cada contexto específico.

O classificador de Bhattacharyya é uma técnica de classificação supervisionada amplamente utilizada em análises de Sensoriamento Remoto. Seu funcionamento baseia-se na seleção prévia de áreas de treinamento, que devem ser representativas das classes temáticas de interesse. Essas áreas podem ser definidas manualmente, por meio da vetorização de polígonos sobre a imagem, ou com base em regiões previamente segmentadas.

A partir dessas amostras, o algoritmo estima a função densidade de probabilidade de cada classe, assumindo, geralmente, uma distribuição normal multivariada. Com base nessas estimativas, é calculada a distância de Bhattacharyya, uma medida estatística que quantifica o grau de separabilidade entre duas distribuições de probabilidade. Quanto menor essa distância, maior a similaridade entre as distribuições (JENSEN, 2005).

Durante o processo de classificação, cada região ou pixel da imagem é comparado às distribuições das classes previamente definidas, sendo atribuído

àquela com a menor distância de Bhattacharyya, ou seja, à classe estatisticamente mais próxima. Esse método é particularmente eficaz em contextos onde há alta similaridade espectral entre as classes, pois considera a variância e a covariância dos dados, o que proporciona uma separação mais precisa entre as categorias temáticas (RICHARDS; JIA, 2006).

O algoritmo de Bhattacharyya pode ser expresso pela seguinte equação:

$$B(p_i, p_j) = \frac{1}{2} (m_i - m_j)^T \Sigma (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma (m_i - m_j)|}{|\Sigma_i|^{1/2} |\Sigma_j|^{1/2}} \quad (1)$$

onde: B é a distância de Bhattacharyya; p_i e p_j são pixels nas classes i e j ; m_i e m_j as médias das classes i e j ; i e j são as classes dentro do contexto.

2.13 SPRING

O SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) representa um avançado Sistema de Informações Geográficas (SIG) desenvolvido pelo INPE/DPI (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Divisão de Processamento de Imagens) em parceria com importantes instituições brasileiras, conforme documentado por Peluzio et al. (2011). Este sistema integrado combina funcionalidades de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e gestão de bancos de dados georreferenciados, constituindo-se como uma ferramenta abrangente para aplicações geoespaciais (SPRING, 2011).

O desenvolvimento do SPRING contou com a colaboração estratégica de quatro instituições-chave: a EMBRAPA/CNPq (Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura), responsável pelas aplicações agronômicas; a IBM Brasil, através do seu Centro Latino-Americano de Soluções para Ensino Superior e Pesquisa; o TECGRAF da PUC-Rio (Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica), encarregado dos aspectos de visualização; e a PETROBRÁS/CENPES (Centro de Pesquisas "Leopoldo Miguez").

Entre os principais objetivos do projeto SPRING, destacam-se quatro eixos fundamentais:

- **Aplicações setoriais:** desenvolver soluções específicas para Agricultura, Florestas, Gestão Ambiental, Geologia e Planejamento Urbano e Regional, atendendo às demandas de diferentes áreas do conhecimento;
- **Acessibilidade:** oferecer à comunidade brasileira um SIG com interface intuitiva e curva de aprendizado reduzida, democratizando o acesso a tecnologias geoespaciais;
- **Integração:** proporcionar um ambiente unificado que combine geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, permitindo análises espaciais completas para aplicações urbanas e ambientais; e
- **Difusão tecnológica:** servir como plataforma para disseminação dos avanços metodológicos e algorítmicos desenvolvidos pelo INPE e suas instituições parceiras (SPRING, 2025).

2.14 SCARTA

O SCARTA foi desenvolvido como um módulo específico para geração de produtos cartográficos de alta qualidade, funcionando em estreita conexão com o banco de dados principal do SPRING (SPRING, 2011). Esta integração ocorre através do gerenciador de dados do sistema, permitindo que o SCARTA acesse as informações georreferenciadas sem, no entanto, ter capacidade para reprocessá-las ou modificá-las (GALO, 2011). Essa separação de funções garante que o módulo mantenha seu propósito principal: a edição e apresentação gráfica profissional dos dados espaciais.

A elaboração de cartas no SCARTA envolve a consideração de diversos aspectos técnicos, conforme destacado por Peluzio et al. (2011). A qualidade do produto final depende fundamentalmente da natureza dos dados originais, da escala de representação escolhida, da resolução gráfica necessária e dos objetivos específicos do mapeamento. Além disso, as limitações do *hardware* e *software* disponíveis também influenciam no processo de produção cartográfica.

Reconhecendo a diversidade de necessidades dos usuários, os desenvolvedores do SPRING optaram por uma abordagem flexível, tornando o SCARTA um módulo independente (SPRING, 2011). Esta decisão arquitetural permite que os profissionais possam escolher entre utilizar as ferramentas nativas do SPRING

ou exportar os dados para outros sistemas especializados em produção cartográfica, como *softwares* CAD (*Computer Aided Design*), quando as exigências do projeto assim o requererem. Essa interoperabilidade é uma das características que tornam o SPRING uma ferramenta versátil para diferentes aplicações em geoprocessamento e sensoriamento remoto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada no trabalho é apresentada nos tópicos a seguir:

- Escolha das imagens do LANDSAT;
- Definição da escolha das datas no período em que compreende o Vazio Sanitário da soja (devido a imagens com sobreposição de nuvem sobre a área de interesse, houve uma pequena variação entre as datas);
- Download das imagens;
- Definição inicial dos tipos de cobertura da terra de interesse;
- Classificação preliminar da imagem: método supervisionado por regiões (segmentação em regiões e classificações das regiões);
- Classificação final: redefinição das classes e ajuste de equívocos, reclassificando e editando a classificação preliminar; e
- Elaboração dos mapas temáticos no SCARTA.

O estudo sobre a análise multitemporal das diversas ocupações do solo foi realizado no município de Itaipulândia, situado no extremo oeste paranaense, o qual apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude $-25^{\circ} 08' 48''$ e longitude $-54^{\circ} 18' 18''$, área territorial de 328,823 km² e altitude aproximadamente de 251 metros.

A aproximadamente 630 km da capital, Curitiba, o município faz fronteira com Santa Helena, Missal, Medianeira, São Miguel do Iguaçu e Foz do Iguaçu, além de ser banhado pelo Lago de Itaipu, que também delimita a fronteira com Ciudad del Este, no Paraguai.

A história de Itaipulândia teve início na década de 1960, quando migrantes de origem europeia, principalmente do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, estabeleceram-se na região. Inicialmente, a localidade era conhecida como Aparecidinha do Oeste, em homenagem a uma imagem de Nossa Senhora Aparecida trazida pelos pioneiros. O distrito foi criado pela Lei Estadual nº 7.438, de 29 de dezembro de 1980, e posteriormente elevado à categoria de município com a denominação de Itaipulândia pela Lei Estadual nº 9.908, de 19 de março de 1992, desmembrando-se de São Miguel do Iguaçu.

A economia local é fortemente baseada na agricultura, destacando-se o cultivo de soja, milho e fumo. A criação de bovinos e suínos também é significativa. Com a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu no final da década de 1970, parte

das terras agricultáveis foi inundada pelo lago da represa. No entanto, a agricultura continua sendo o setor que mais contribui para o produto interno bruto municipal.

Segundo o Censo de 2022 do IBGE, Itaipulândia possui uma população de 11.485 habitantes, representando um aumento de 27,24% em relação ao censo de 2010. A densidade demográfica é de 34,71 habitantes por km² (IBGE, 2025)

3.1 Materiais utilizados

As datas selecionadas estão compreendidas no período do mês de agosto até outubro, o qual compreende o período próximo ao vazio sanitário da soja, no qual se encontra a maioria das áreas sem cultivo agrícola, facilitando a sua classificação.

Foram utilizados os seguintes materiais para o desenvolvimento do trabalho:

- Imagens multiespectrais TM/LANDSAT 5 da região de Itaipulândia - PR, referentes data 2 de outubro de 2000, 13 de agosto de 2005 e 27 de agosto de 2010;
- Imagens do sensor OLI/LANDSAT-8, referentes às datas de 9 de agosto de 2015 e 23 de setembro de 2020;
- Imagens do sensor OLI-2/LANDSAT-9, referente à data de 10 de setembro de 2024.

3.2 Programas utilizados

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes programas: Software SPRING, versão 5.5.6 e o Software SCARTA.

4 EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES

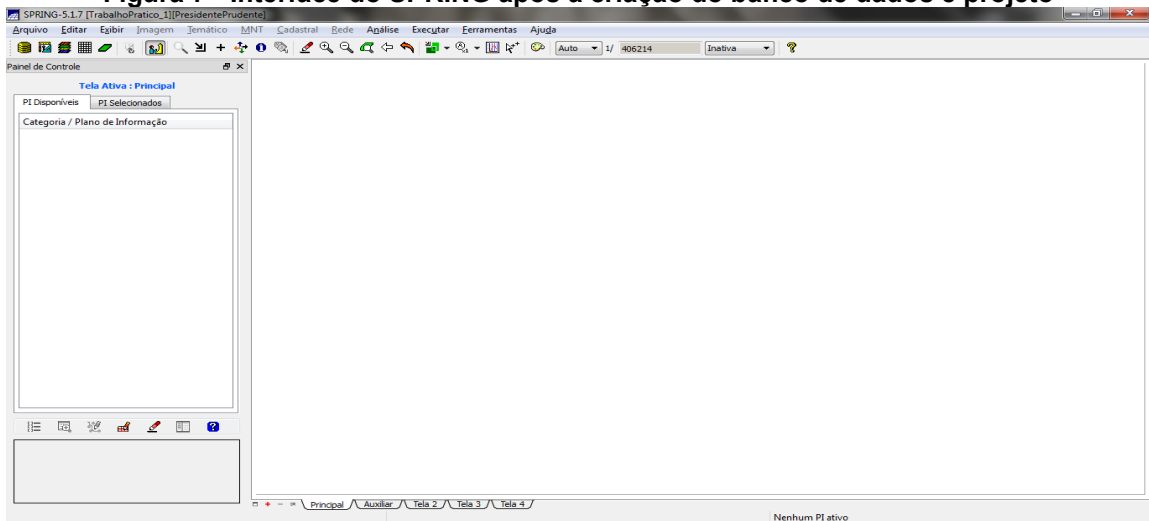
Este capítulo apresenta os resultados obtidos e as análises decorrentes da aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto e geoprocessamento no estudo da cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia – PR, que por sua vez está subdividido em 10 seções: 4.1 – criação do banco de dados e projeto, 4.2 – importação das bandas espectrais, 4.3 – aplicação de contraste a cada banda espectral, 4.4 – geração das composições coloridas 1B-2G-3R / 2B-3G-4R e 3B-4G-5R / 4B-5G-6R de bandas espectrais e do índice espectral NDVI, 4.5 – definição dos tipos de cobertura e uso do solo de interesse, 4.6 – segmentação da imagem, 4.7 – chave de interpretação, 4.8 – classificação supervisionada das regiões, 4.9 – elaboração dos mapas temático no SCARTA, e 4.10 – subtração das imagens.

4.1 Criação do banco de dados e projeto

O trabalho iniciou-se com a abertura do SPRING. O primeiro procedimento consistiu na criação de um novo Banco de Dados, nomeado '[oeste]'. Para a gestão dos dados, optou-se pelo gerenciador SQLite.

Após a criação do Banco de Dados, a etapa subsequente envolveu a criação do projeto, nomeado de 'Itaipulândia'. A definição da projeção cartográfica, etapa crucial para a correção geométrica e representação espacial dos dados (SILVA, 2011), foi realizada ao selecionar a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 21 e Datum WGS84, que corresponde a um sistema de referência geodésico globalmente consistente. Em seguida, foram introduzidos os valores do retângulo envolvente da área das imagens. A interface do SPRING após a criação do banco de dados e do projeto é apresenta na Figura 7.

Figura 7 - Interface do SPRING após a criação do banco de dados e projeto



4.2 Importação das bandas espectrais

Para a visualização e realce das feições de interesse, as imagens originais foram primeiramente importadas e recortadas para enquadrar exclusivamente a área do município de Itaipulândia. Esse recorte foi realizado utilizando as seguintes coordenadas geográficas para o retângulo envolvente: Canto Inferior Esquerdo ($\varphi = -25^{\circ} 16'$ e $\lambda = -54^{\circ} 29'$) e Canto Superior Direito ($\varphi = -25^{\circ} 02'$ e $\lambda = -54^{\circ} 10'$).

4.3 Aplicação de contraste a cada banda espectral

Para aplicar o contraste linear nas bandas espectrais, inicialmente foi realizada a visualização individual de cada banda em modo monocromático. Em seguida, a partir dos histogramas, foram identificado os níveis digitais (NDs) mínimo e máximo. Após essa operação, a imagem da banda apresentou um contraste aprimorado. As visualizações das bandas espectrais com o contraste ajustado, para cada ano, são apresentadas nas figuras a seguir, bem como os respectivos NDs contidos nas tabelas.

Tabela 4 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2000

Banda Espectral (LANDSAT 5)	ND mínimo	ND máximo
1 (azul)	7768.59	10298.60
2 (verde)	8249.46	12217.00
3 (vermelho)	7971.47	13832.80
4 (infravermelho)	7677.05	21706.10
5 (infravermelho médio)	7025.65	20717.50
7 (infravermelho médio 2)	6943.00	17602.80

Figura 8 - Bandas espectrais do LANDSAT 5 com contraste referente ao ano 2000

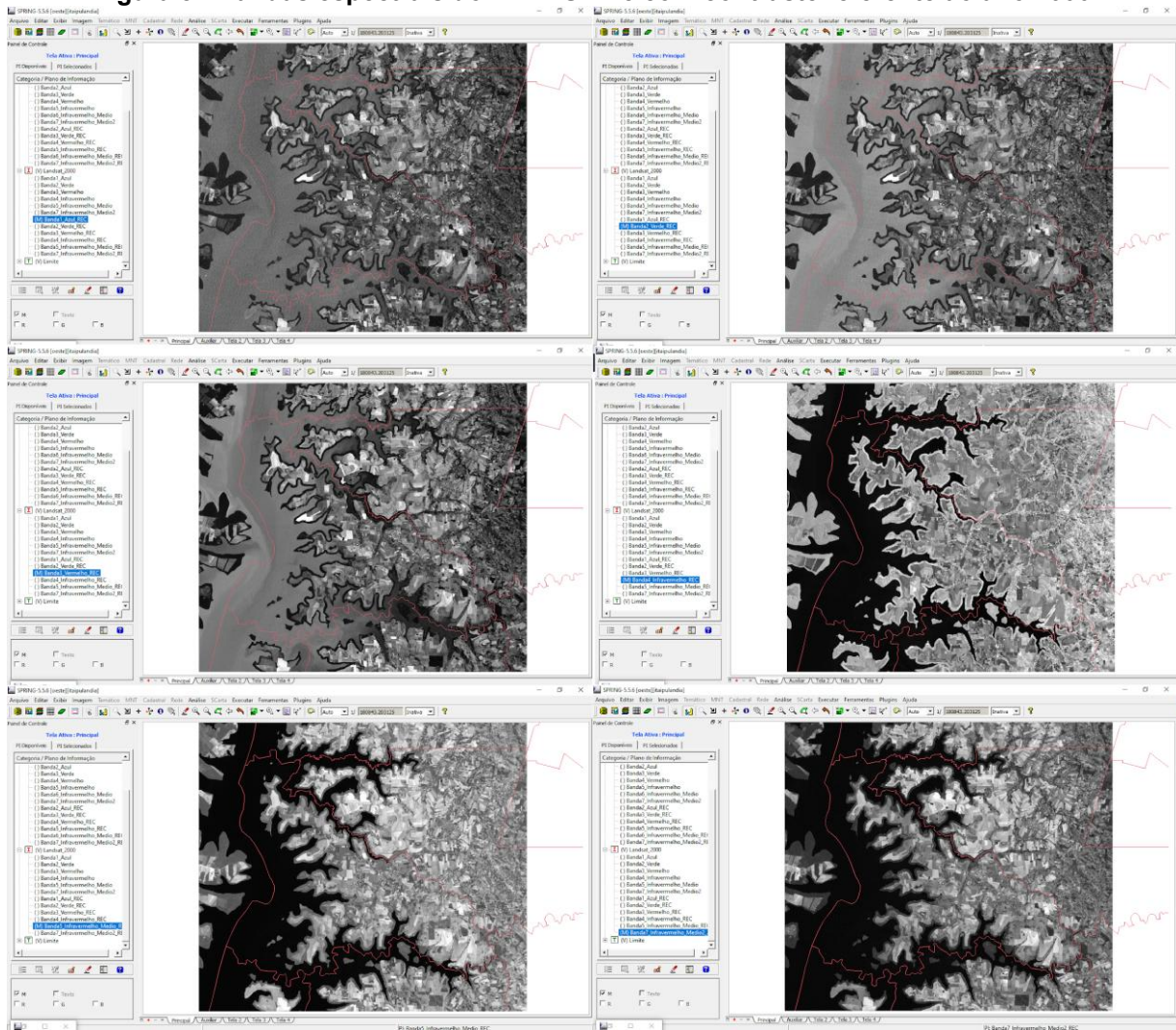


Tabela 5 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2005

Banda Espectral (LANDSAT 5)	ND mínimo	ND máximo
1 (azul)	7491.05	10220.50
2 (verde)	7906.78	11720.70
3 (vermelho)	7847.74	13437.60
4 (infravermelho)	7497.78	21017.60
5 (infravermelho médio)	6871.00	19672.10
7 (infravermelho médio 2)	6862.00	15546.90

Figura 9 - Bandas espectrais do LANDSAT 5 com contraste referente ao ano 2005

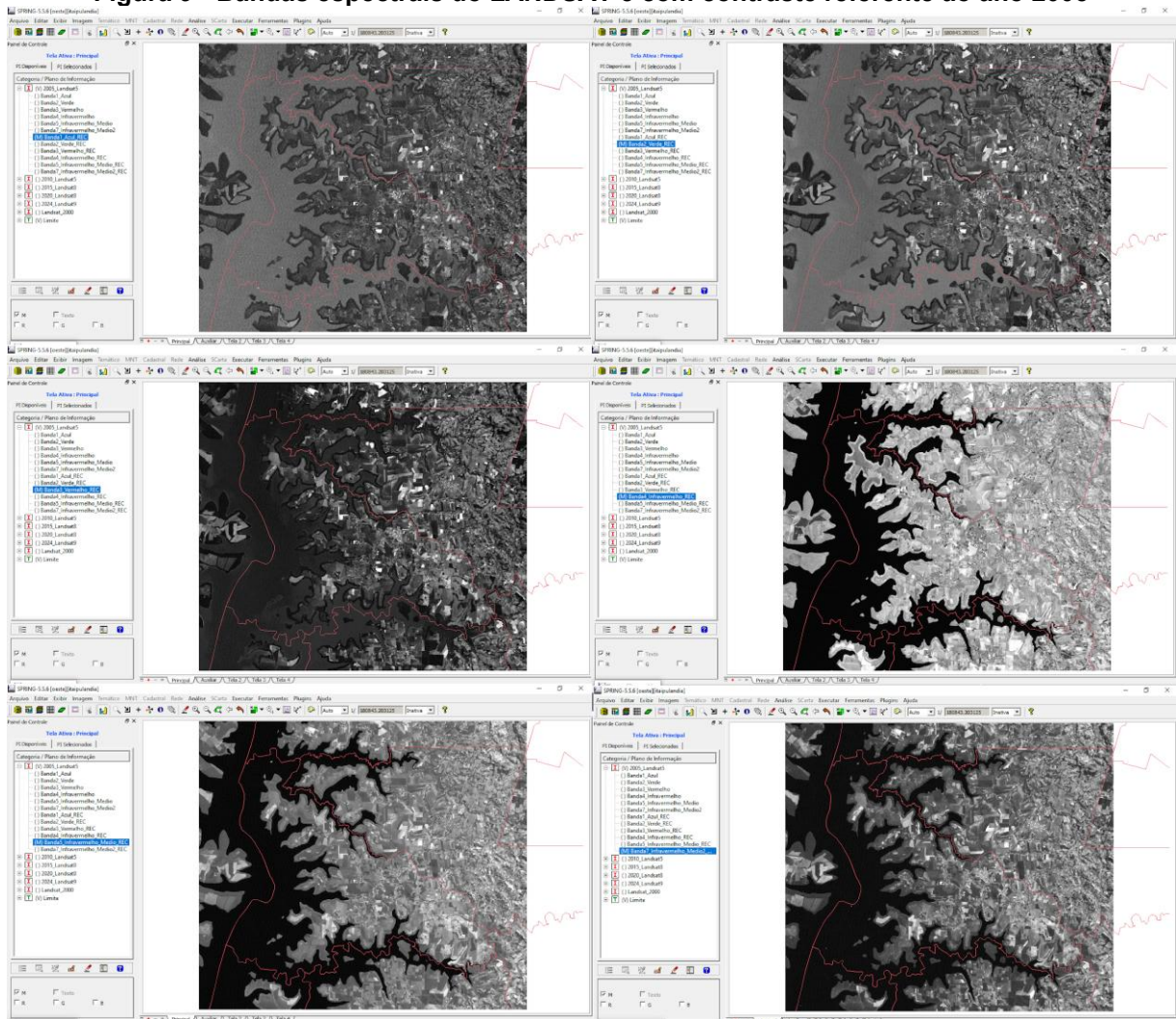


Tabela 6 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2010

Banda Espectral (LANDSAT 5)	ND mínimo	ND máximo
1 (azul)	8311.42	11091.50
2 (verde)	8897.29	13315.70
3 (vermelho)	8599.58	14732.70
4 (infravermelho)	8096.98	19671.40
5 (infravermelho médio)	7136.67	22080.70
7 (infravermelho médio 2)	6928.74	17517.60

Figura 10 - Bandas espectrais do LANDSAT 5 com contraste referente ao ano 2010

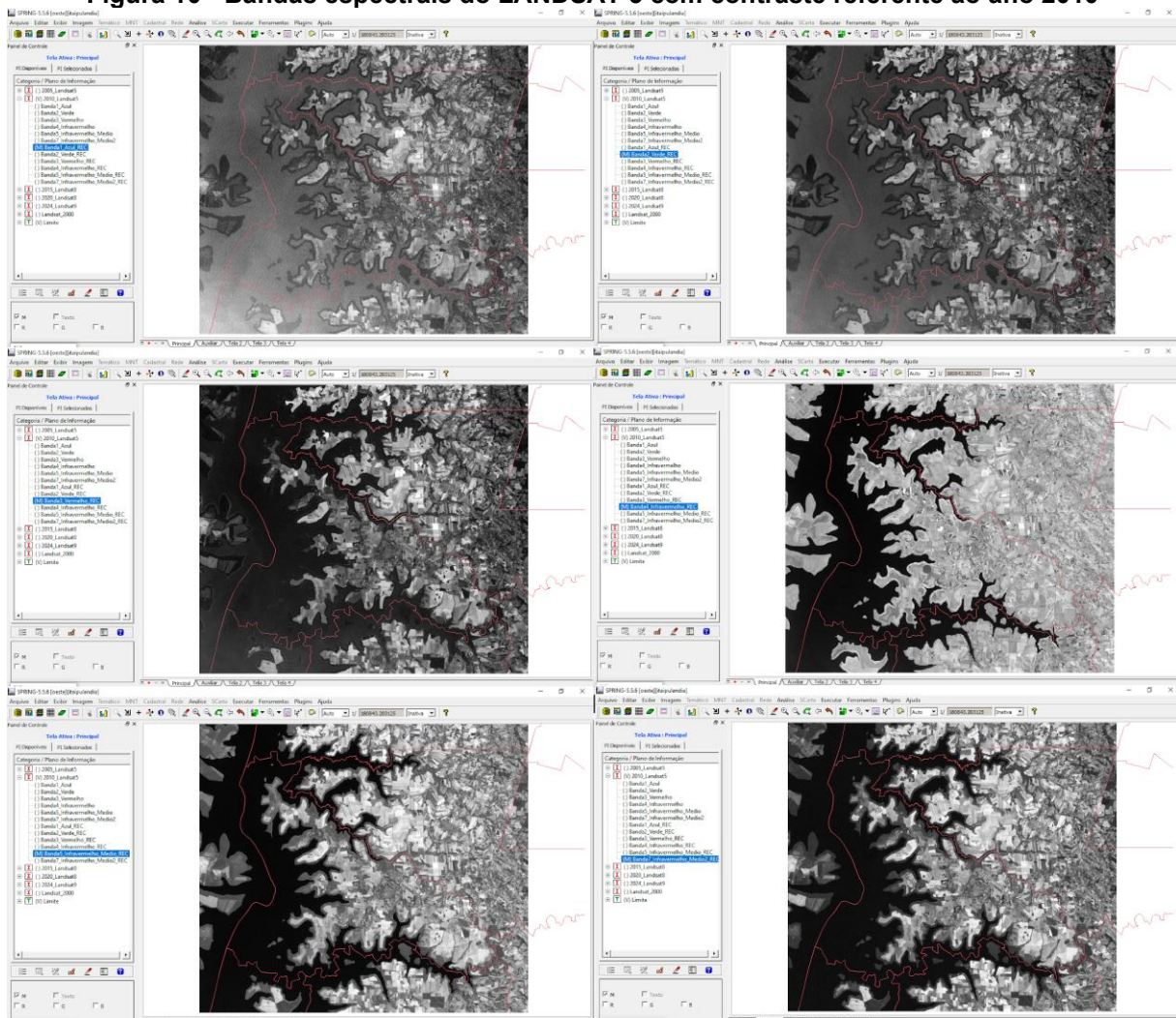


Tabela 7 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2015

Banda Espectral (LANDSAT 8)	ND mínimo	ND máximo
2 (azul)	7408.21	11036.70
3 (verde)	7983.88	12942.90
4 (vermelho)	7734.33	15262.90
5 (infravermelho)	7470.54	23827.50
6 (infravermelho médio)	7339.00	22101.10
7 (infravermelho médio 2)	7335.00	17206.40

Figura 11 - Bandas espectrais do LANDSAT 8 com contraste referente ao ano 2015

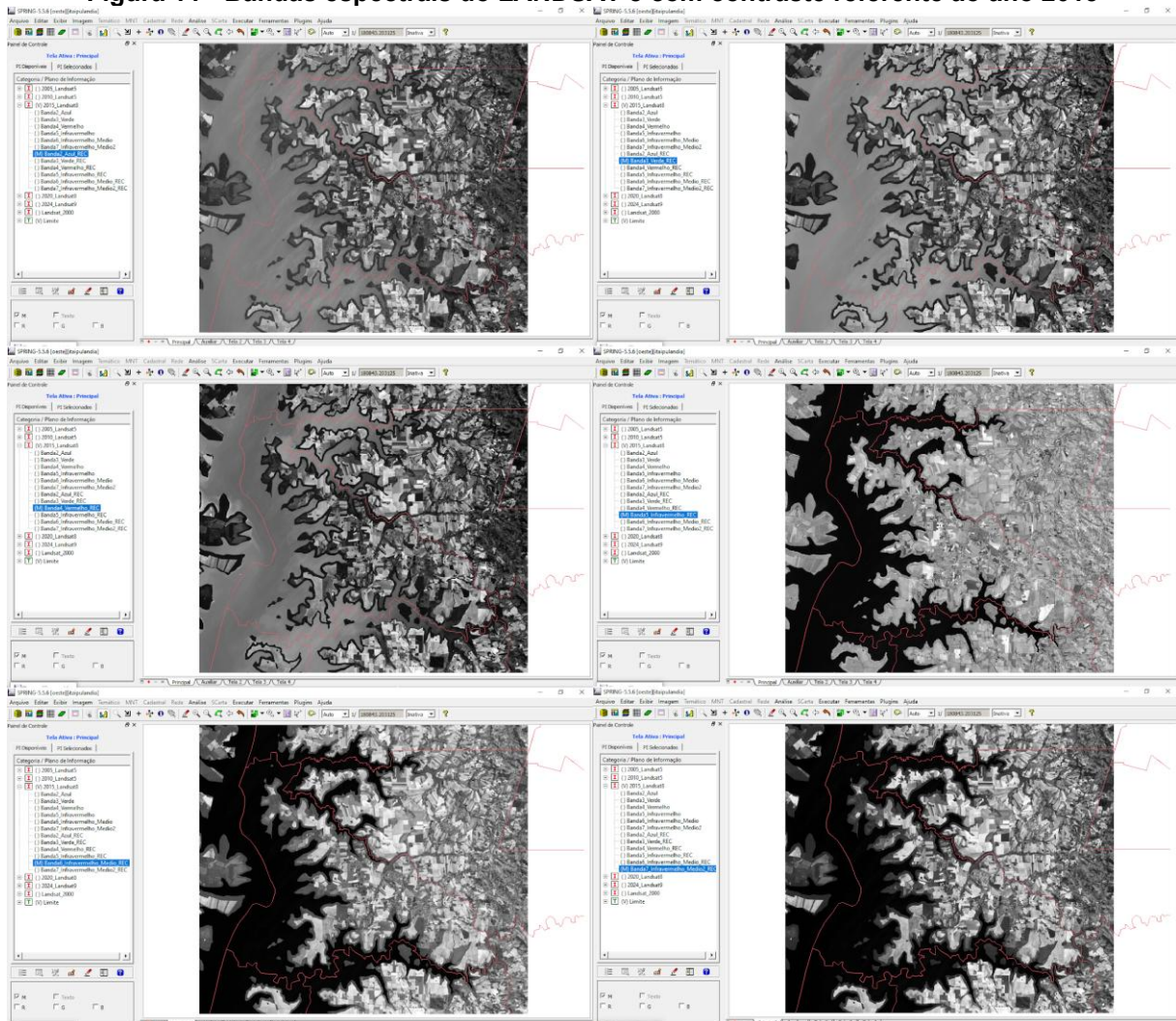
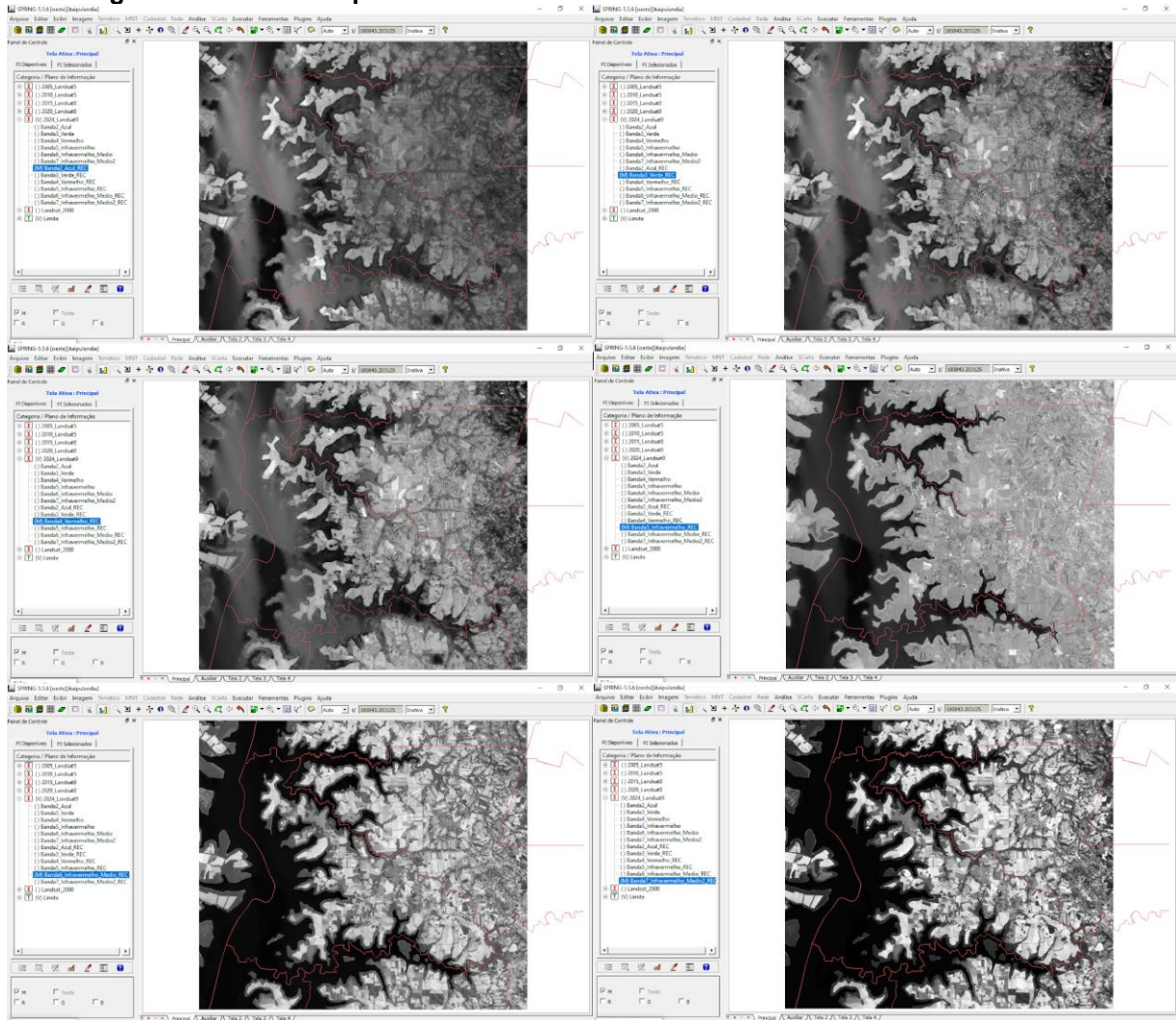


Tabela 9 - ND mínimo e máximo de cada banda espectral para o ano 2024

Banda Espectral (LANDSAT 9)	ND mínimo	ND máximo
2 (azul)	7965.76	12379.50
3 (verde)	9598.45	13244.20
4 (vermelho)	8135.00	14548.70
5 (infravermelho)	7899.18	19832.50
6 (infravermelho médio)	7655.00	21570.70
7 (infravermelho médio 2)	7626.00	17415.80

Figura 13 - Bandas espectrais do LANDSAT 9 com contraste referente ao ano 2024



4.4 Geração das composições coloridas 1B-2G-3R / 2B-3G-4R e 3B-4G-5R / 4B-5G-6R de bandas espectrais e do índice espectral NDVI

Para a visualização e interpretação das feições da superfície, foram geradas composições coloridas a partir das bandas espectrais. Este procedimento essencial no Sensoriamento Remoto combina três bandas distintas, atribuindo a cada uma as cores primárias aditivas: azul (B), verde (G) e vermelho (R). No presente estudo, foram criadas as composições 1B-2G-3R / 2B-3G-4R (colorida normal), 3B-4G-5R / 4B-5G-6R, visando a melhor discriminação dos alvos. As composições que incluem as bandas do visível e do infravermelho próximo (IVP) são particularmente úteis para a análise da vegetação, devido à alta reflectância das plantas no IVP e baixa no vermelho (GALO, 2011).

Adicionalmente, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*). Este é um dos índices espectrais mais utilizados para o monitoramento da vegetação, obtido pela razão entre a diferença e a soma da reflectância nas bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho, conforme a fórmula: $NDVI = (IVP - Vermelho) / (IVP + Vermelho)$.

Valores de NDVI próximos de 1 indicam alta atividade fotossintética e grande densidade de vegetação saudável, enquanto valores próximos de 0 ou negativos são característicos de feições como solo exposto, água ou áreas urbanas (GALO, 2011). A inclusão do NDVI neste estudo foi crucial para a quantificação e o mapeamento da cobertura vegetal.

As Figuras 14 a 19 apresentam as composições coloridas 1B-2G-3R / 2B-3G-4R, 3B-4G-5R / 4B-5G-6R e imagem NDVI para os anos 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2024, respectivamente.

Figura 14 - Composições coloridas 1B-2G-3R, 3B-4G-5R e imagem NDVI referente ao ano 2000

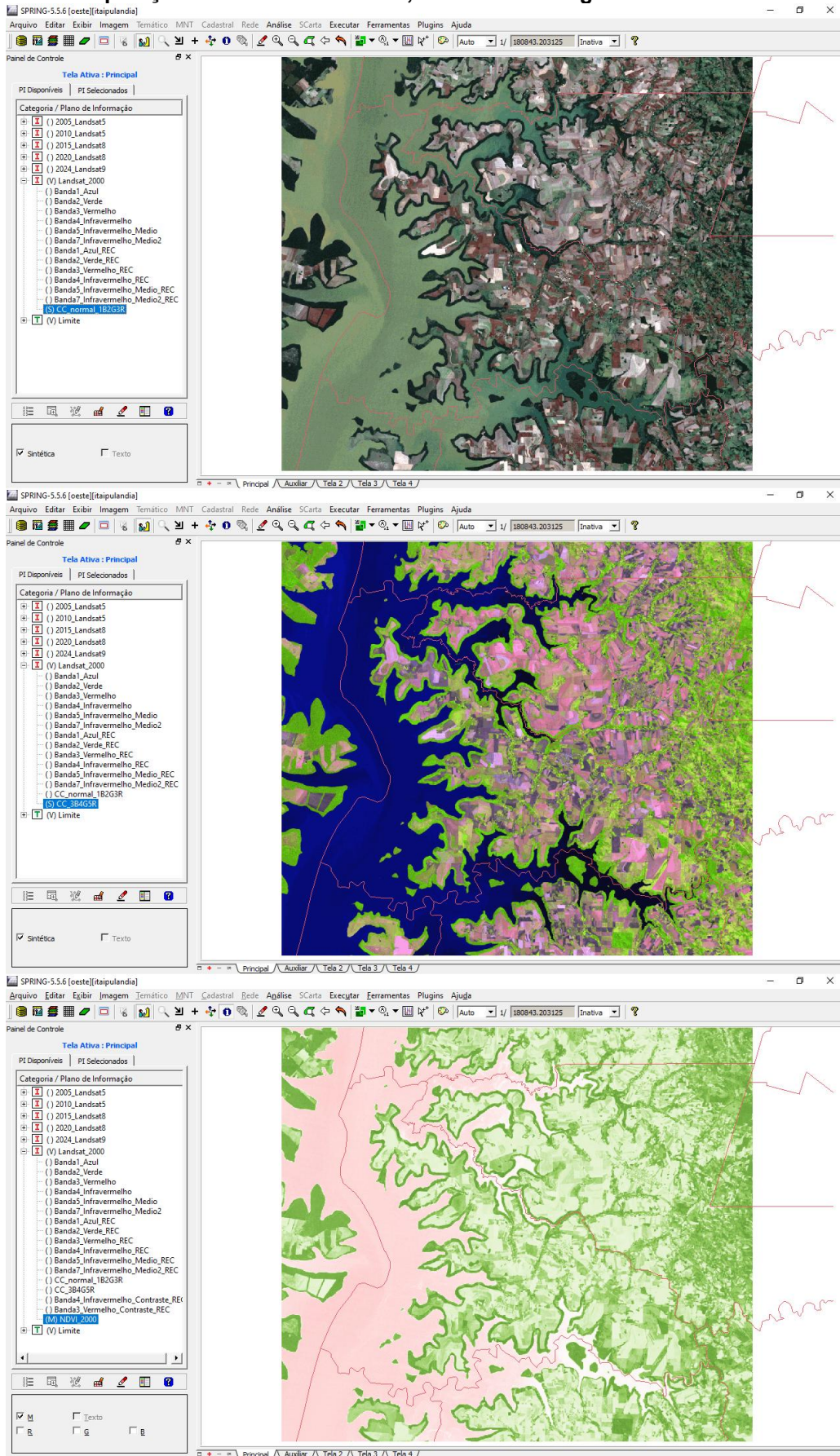


Figura 15 - Composições coloridas 1B-2G-3R, 3B-4G-5R e imagem NDVI referente ao ano 2005

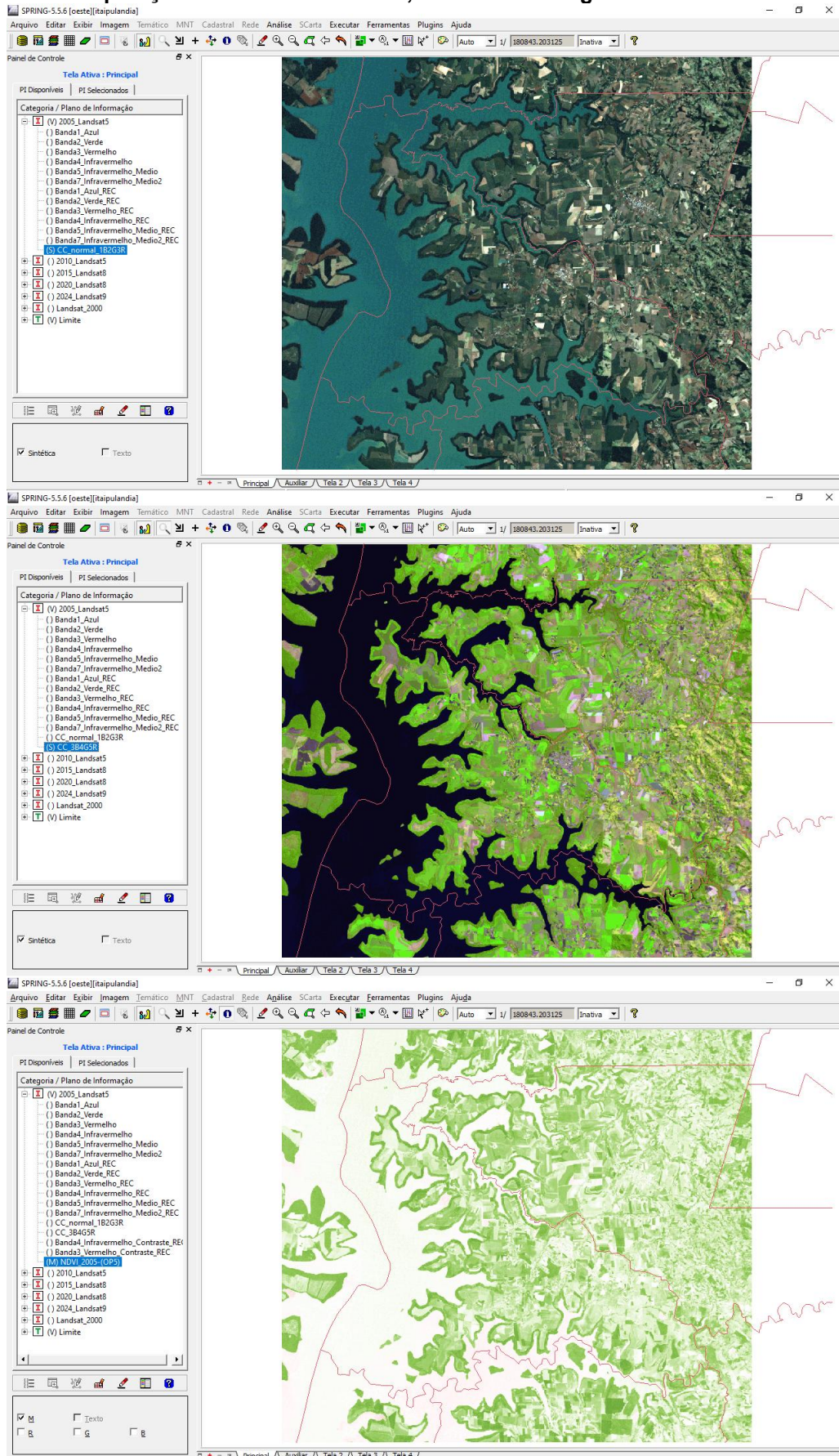


Figura 16 - Composições coloridas 1B-2G-3R, 3B-4G-5R e imagem NDVI referente ao ano 2010

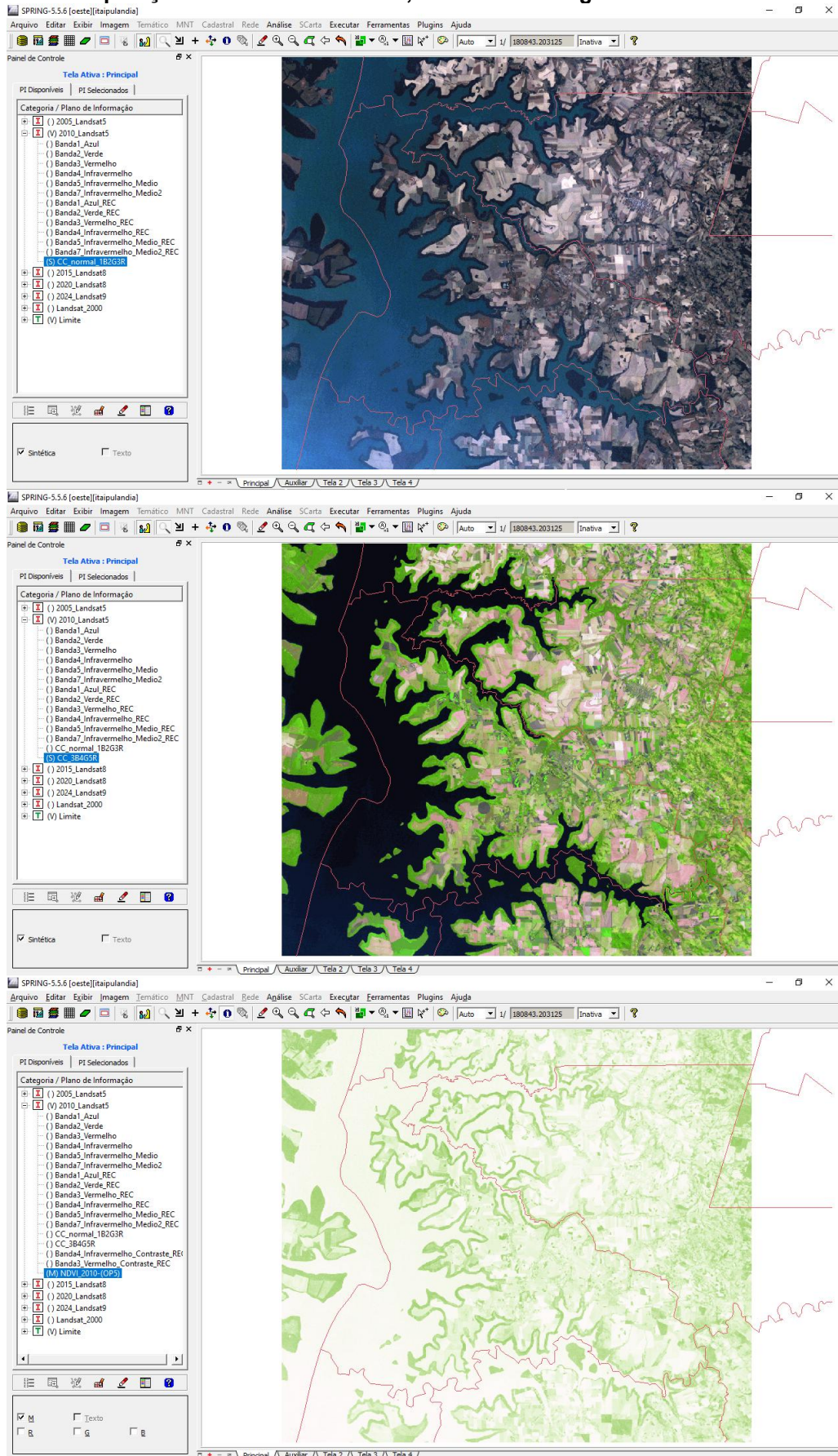


Figura 17 - Composições coloridas 2B-3G-4R, 4B-5G-6R e imagem NDVI referente ao ano 2015

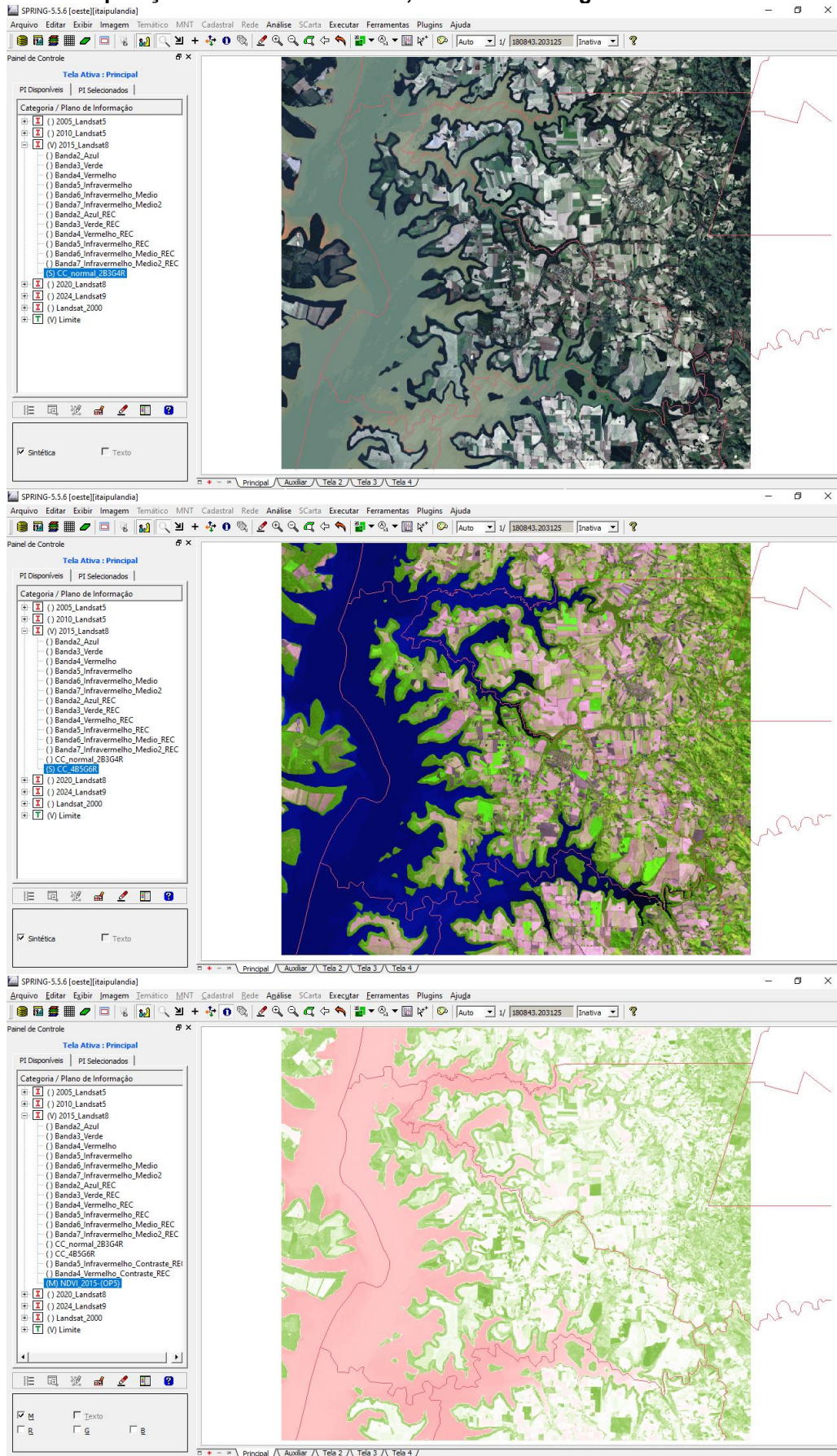


Figura 18 - Composições coloridas 2B-3G-4R, 4B-5G-6R e imagem NDVI referente ao ano 2020

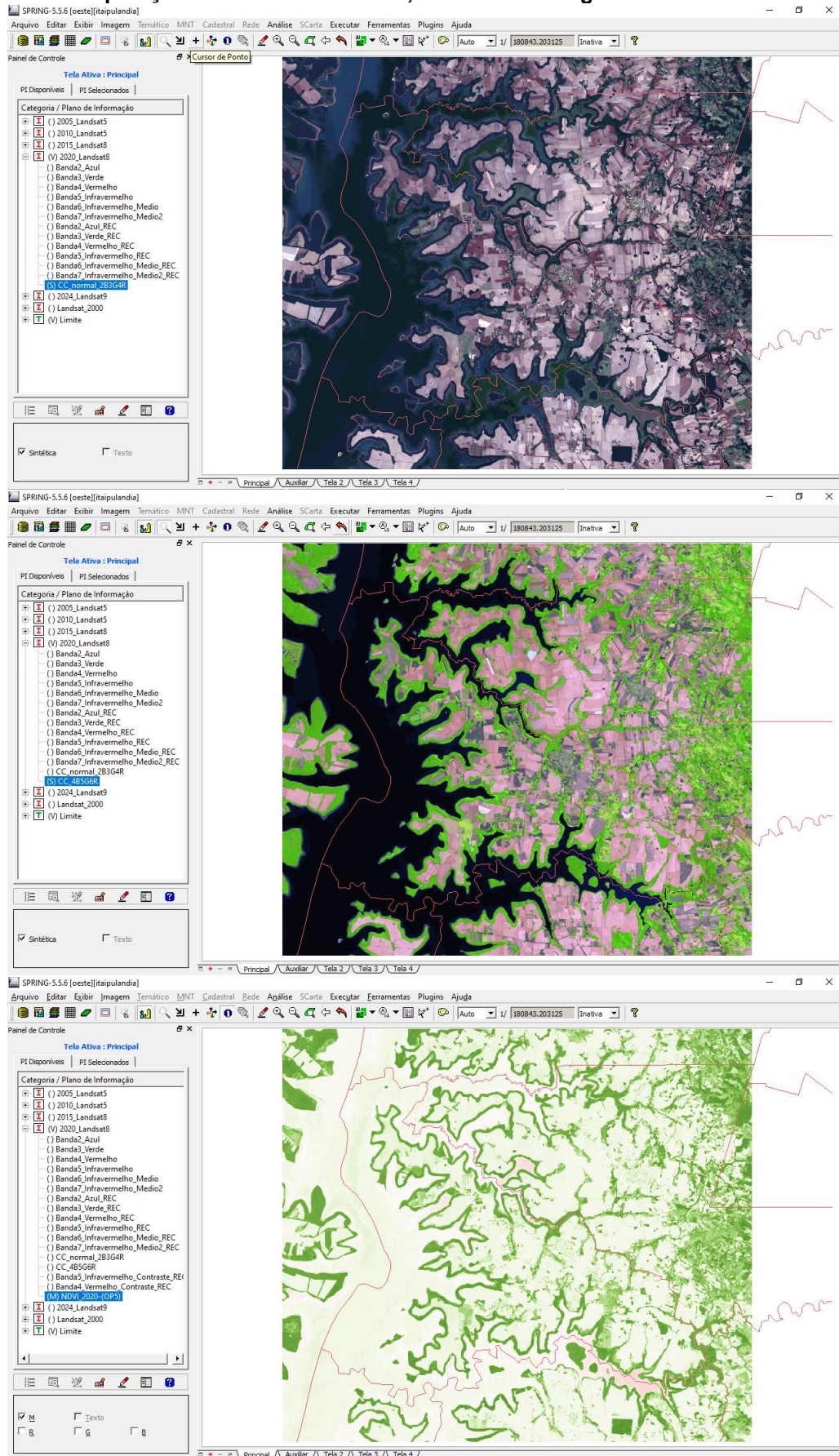
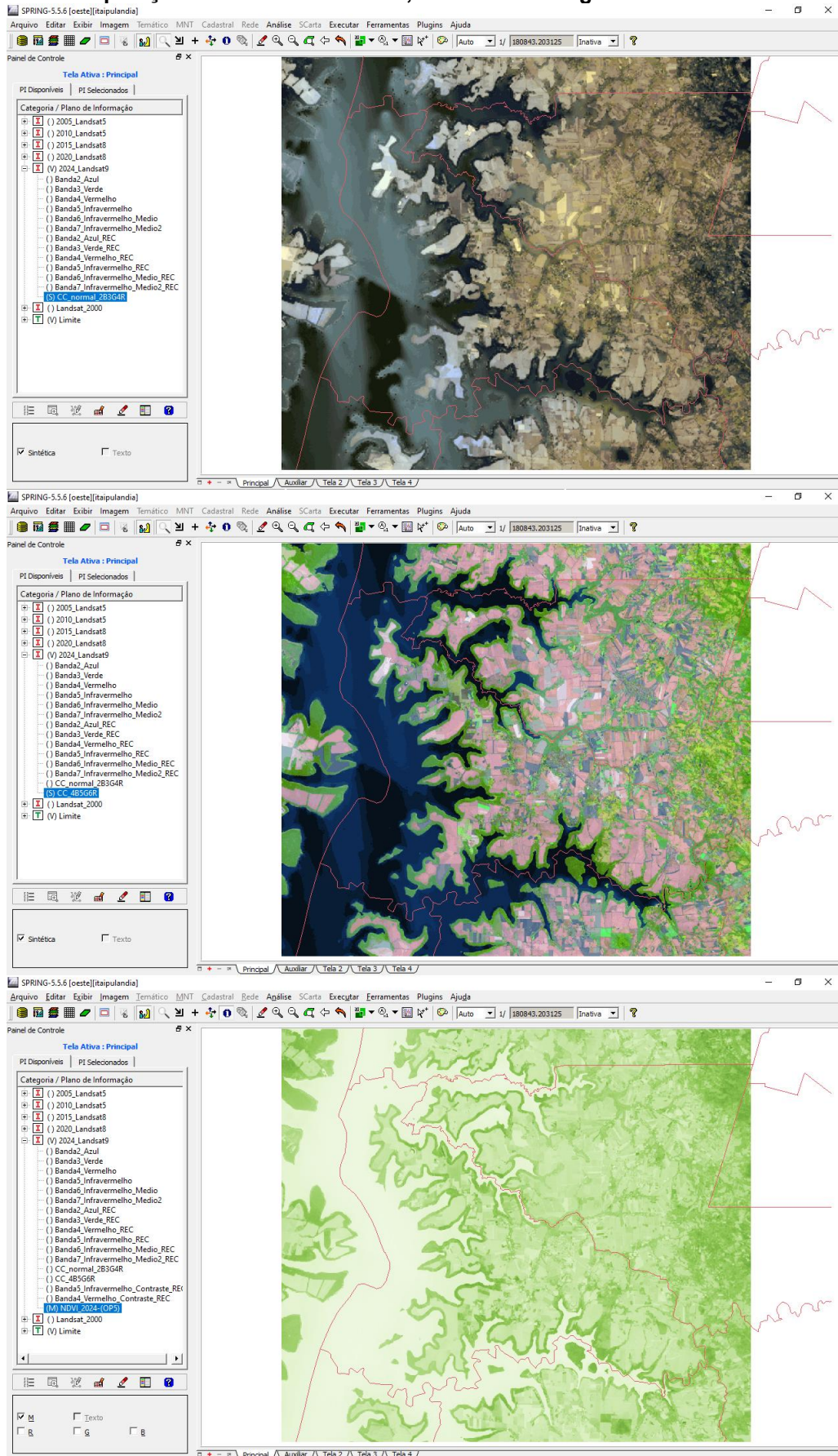


Figura 19 - Composições coloridas 2B-3G-4R, 4B-5G-6R e imagem NDVI referente ao ano 2024



4.5 Definição dos tipos de cobertura e uso do solo de interesse

A etapa de definição dos tipos de cobertura e uso do solo é fundamental para a posterior classificação das imagens de satélite. Nesta fase, foram estabelecidas as classes temáticas de interesse para o mapeamento do município de Itaipulândia, baseando-se nos objetivos do estudo e nas características da paisagem local. As classes temáticas definidas foram: Cultura agrícola, Solo exposto, Mata (natural/mata ciliar) e Corpos d'água.

Ressalta-se que a área urbana também foi considerada como uma classe temática, porém, ela foi vetorizada antes da classificação, devido a sua heterogeneidade.

4.6 Segmentação das imagens

A segmentação de imagens é uma técnica de processamento que visa agrupar pixels adjacentes com características espectrais ou espaciais semelhantes, formando objetos ou regiões homogêneas (GALO, 2011). Diferentemente da classificação por pixel, onde cada pixel é classificado individualmente, a segmentação considera o contexto espacial, gerando segmentos que representam feições reais na paisagem.

Este procedimento é crucial para a classificação orientada a objeto, pois reduz o 'ruído' inerente à variabilidade espectral de pixels individuais e permite que o classificador atue sobre unidades espaciais mais significativas. A segmentação, ao considerar o agrupamento de pixels, melhora a acurácia das classificações temáticas, uma vez que as classes de cobertura e uso do solo raramente são representadas por pixels isolados, mas sim por conjuntos que formam feições geográficas coerentes (PELUZIO et al., 2011).

No trabalho, após alguns testes, foi definido um valor de similaridade de 30 pixels, e para a área um valor de 50 pixels. As Figuras 20 a 25 apresentam os resultados das segmentações para os anos selecionados.

Figura 20 - Resultado da segmentação referente ao ano 2000

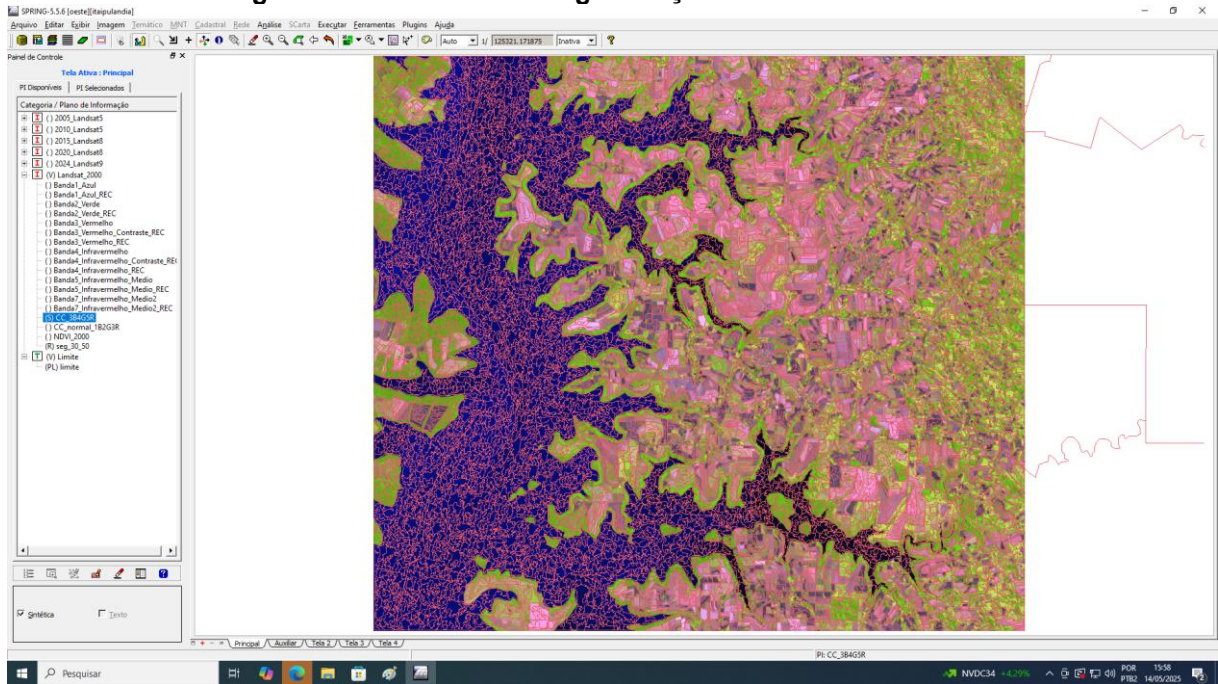


Figura 21 - Resultado da segmentação referente ao ano 2005

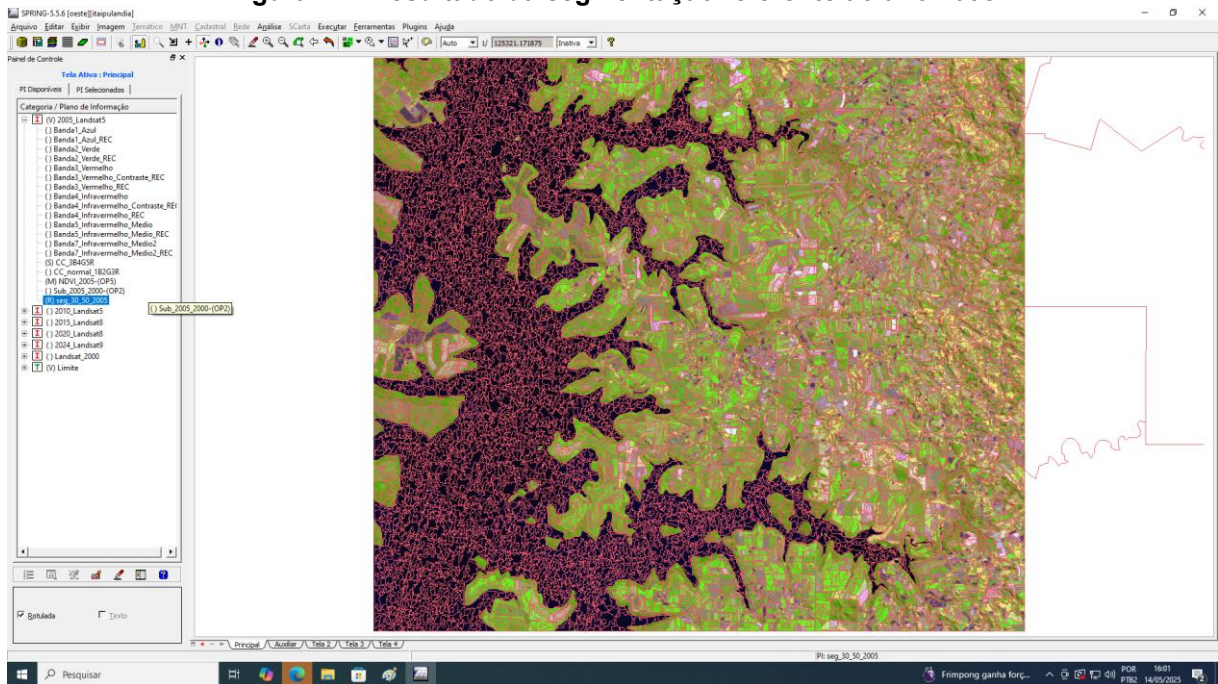


Figura 22 - Resultado da segmentação referente ao ano 2010

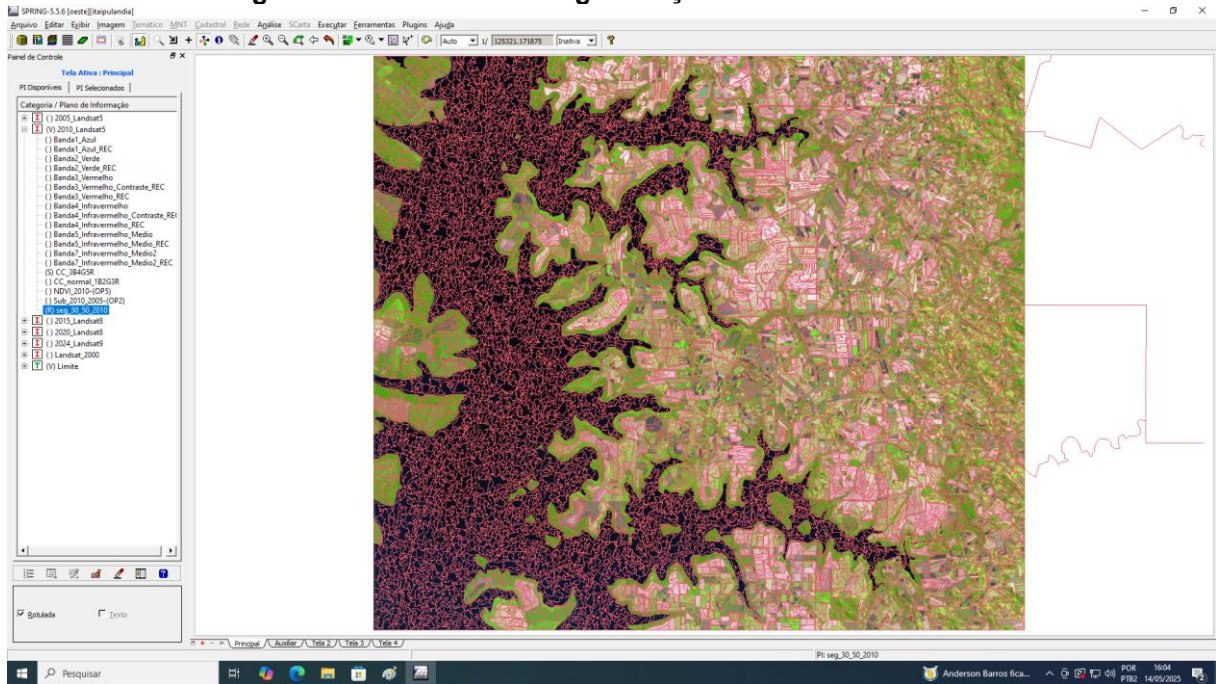


Figura 23 - Resultado da segmentação referente ao ano 2015

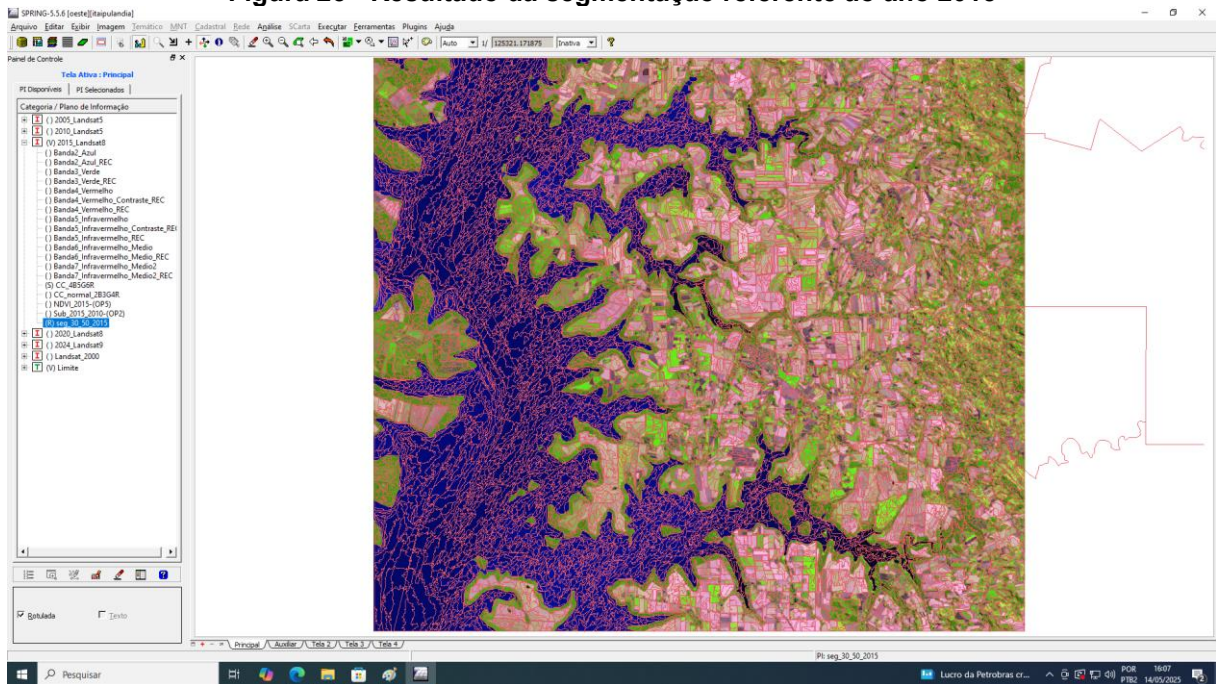


Figura 24 - Resultado da segmentação referente ao ano 2020

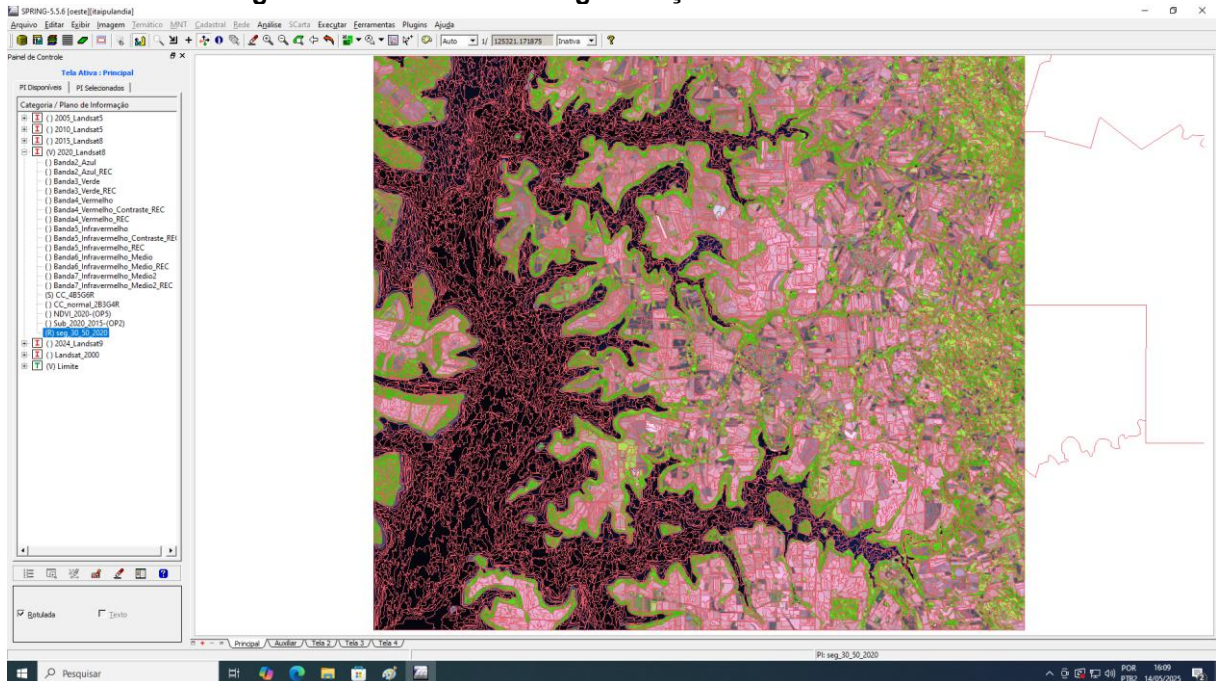
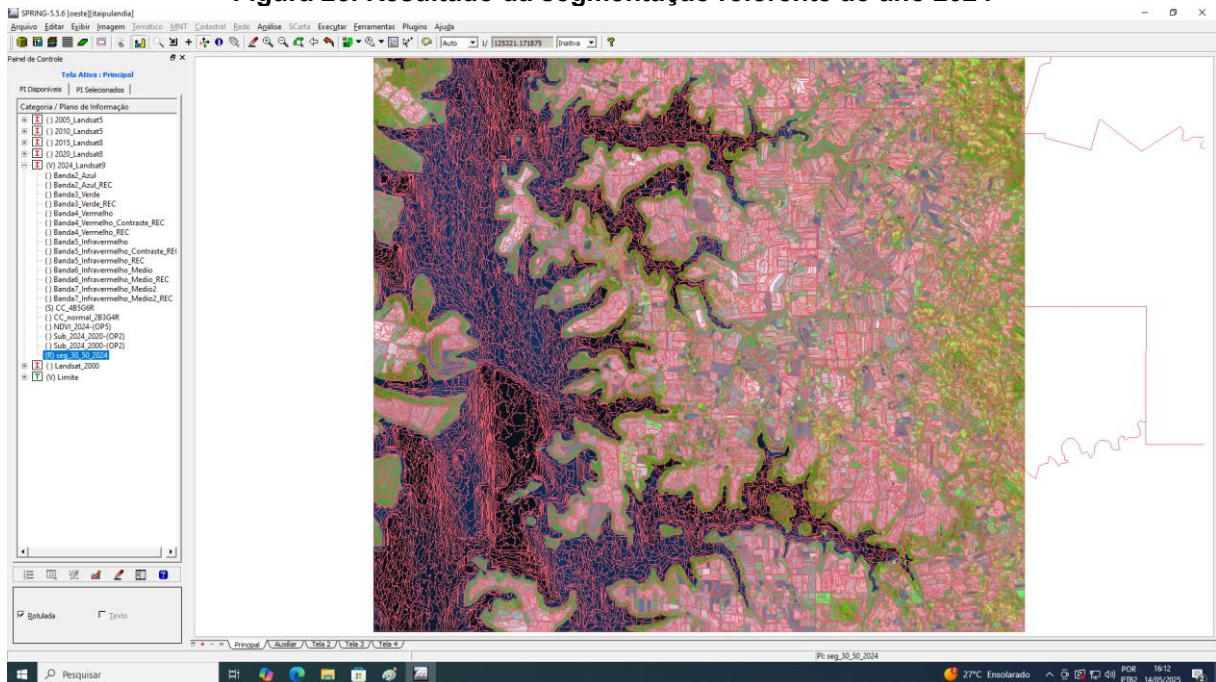


Figura 25. Resultado da segmentação referente ao ano 2024



4.7 Chave de interpretação

A chave de interpretação foi desenvolvida como um recurso metodológico para auxiliar na identificação visual das classes de cobertura e uso do solo nas imagens de satélite. Ela consiste em um conjunto de critérios e características visuais

que permitem distinguir entre diferentes tipos de alvos (SILVA, 2011). Esses critérios incluem a cor, textura (padrão de repetição), forma e padrão (GALO, 2011).

A elaboração da chave de interpretação foi baseada no conhecimento prévio da área de estudo e guiou o processo de treinamento e classificação supervisionada, assegurando a consistência na identificação das classes. A Tabela 10 apresenta a chave de interpretação para a área de Itaipulândia, com base na composição colorida 3B-4G-5R (LANDSAT 5) / 4B-5G-6R (LANDSAT 8 e 9).

Tabela 10 - Classificação de cada classe de categoria

Classe/Elemento de Interpret.	COR	TEXTURA	FORMA	PADRÃO
Cultura agrícola	Verde claro/médio	Aveludada	Irregular	Divisão de talhões
Solo exposto	Magenta/branco	Aveludada	Irregular	Indefinido
Mata	Verde escuro	Aveludada/ Rugosa	Irregular	Indefinido
Corpo d'água	Azul escuro/preto	Lisa	Irregular	Indefinido

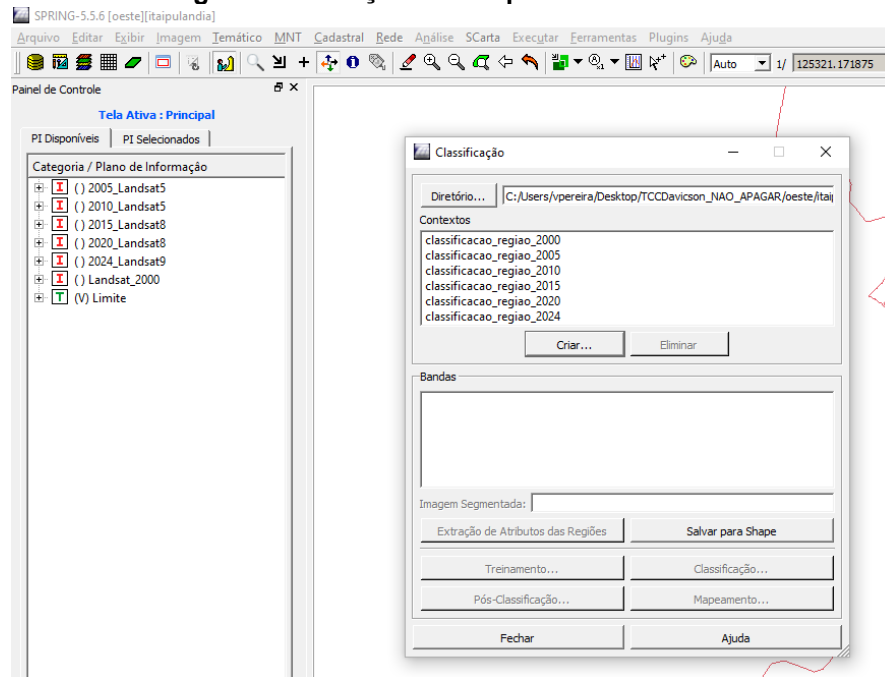
4.8 Classificação supervisionada das regiões

A classificação supervisionada das regiões constituiu a próxima etapa, que consiste em atribuir cada segmento da imagem a uma classe temática pré-definida.

4.8.1 Criação dos arquivos de contexto

A criação dos arquivos de contexto é uma etapa que antecede o treinamento e a classificação. Esses arquivos contêm dados que podem complementar as informações espectrais, enriquecendo a capacidade do algoritmo de distinguir entre as classes. Exemplos de informações de contexto incluem dados de textura, forma dos segmentos, vizinhança, ou mesmo informações topográficas (como elevação e declividade) (GALO, 2011). A integração desses atributos adicionais permite que o sistema de classificação faça uso de um conjunto mais abrangente de características para categorizar as regiões, o que geralmente resulta em uma maior acurácia na identificação das classes de cobertura e uso do solo. No ambiente do SPRING, a criação desses arquivos é uma etapa procedimental que prepara os dados para as fases subsequentes de análise (Figura 26).

Figura 26 - Criação dos arquivos de contexto



4.8.2 Extração dos atributos das regiões

Após a segmentação das imagens e a criação dos arquivos de contexto, a extração dos atributos das regiões constitui um procedimento essencial. Nesta etapa, são calculadas e compiladas as características quantitativas de cada segmento gerado na fase de segmentação. Tais atributos podem ser de natureza espectral (englobando média, desvio padrão, mínimo e máximo dos valores de ND), de forma (como área, perímetro e compacidade) ou de textura (incluindo medidas como homogeneidade e contraste). Esses atributos extraídos são, então, organizados em um vetor de características para cada região, servindo como a base de dados que será utilizada pelo algoritmo de classificação supervisionada. A qualidade e a diversidade desses atributos são cruciais para a capacidade do classificador em discriminar eficientemente entre as diferentes classes de cobertura e uso do solo (PELUZIO et al., 2010).

4.8.3 Treinamento

O treinamento representou a fase inicial e crucial da classificação supervisionada. Nesta etapa, foram selecionadas e demarcadas, na imagem segmentada, regiões de amostra (ou regiões de treinamento) que representavam de forma fidedigna cada uma das classes de cobertura e uso do solo de interesse. O

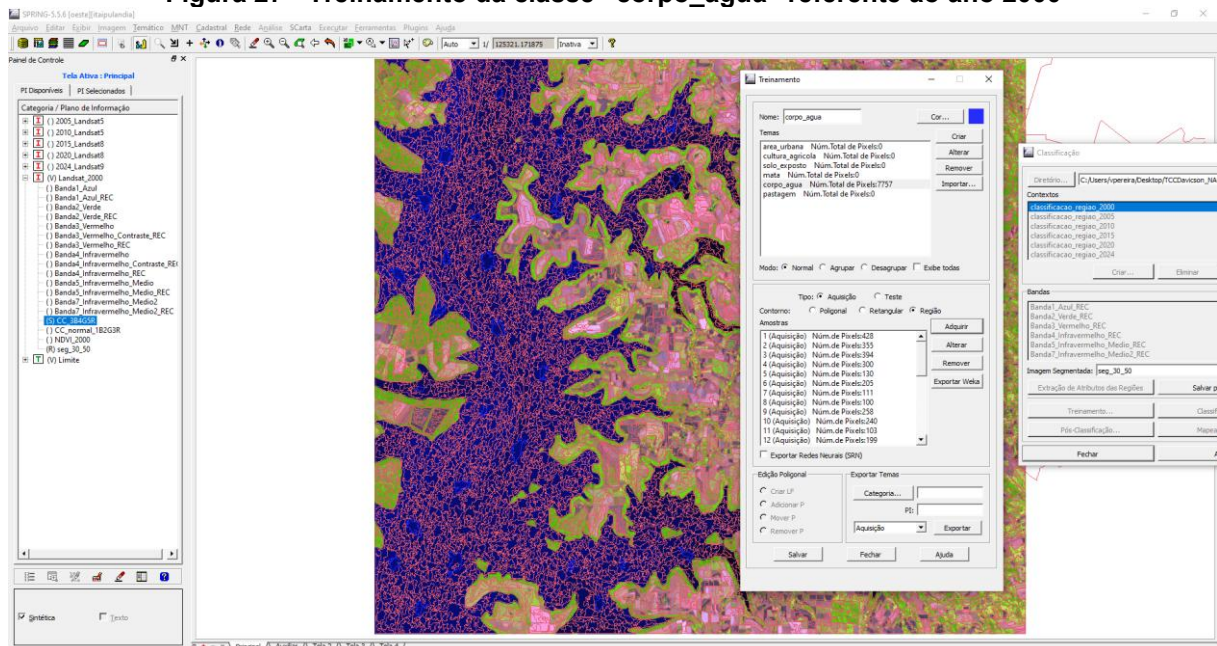
software, a partir dessas amostras, extraiu os atributos espectrais e contextuais, 'ensinando' ao algoritmo as características estatísticas de cada classe. A qualidade e a representatividade dessas amostras são determinantes para o sucesso da classificação (GALO, 2011).

A Tabela 11 apresenta as cores atribuídas aos temas definidos, já a Figura 27 exemplifica o treinamento do tema “corpo_agua” para o ano 2000.

Tabela 11 - Coloração de cada tema de classificação

Tema	Cor
cultura_agricola	Verde claro
solo_exposto	Marrom escuro
mata	Verde escuro
corpo_agua	Azul médio

Figura 27 - Treinamento da classe “corpo_agua” referente ao ano 2000



4.8.4 Classificação pelo método de Bhattacharya

Posteriormente, aplicou-se a classificação pelo método de Bhattacharya, Regiões com atributos estatisticamente mais próximos de uma classe (menor distância de Bhattacharya) foram atribuídas a essa classe. Este método é robusto por considerar a média e a variância das distribuições das classes, sendo eficaz para distinções entre classes com características espectrais semelhantes (PELUZIO et al., 2011). Ao final, cada segmento da imagem foi classificado em uma das classes

predefinidas, gerando mapas de classificação preliminar de aceitação de 99% para cada ano (Figuras 28 a 33). As áreas urbanas, vetorizadas manualmente, foram representadas na coloração amarela.

Figura 28 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2000

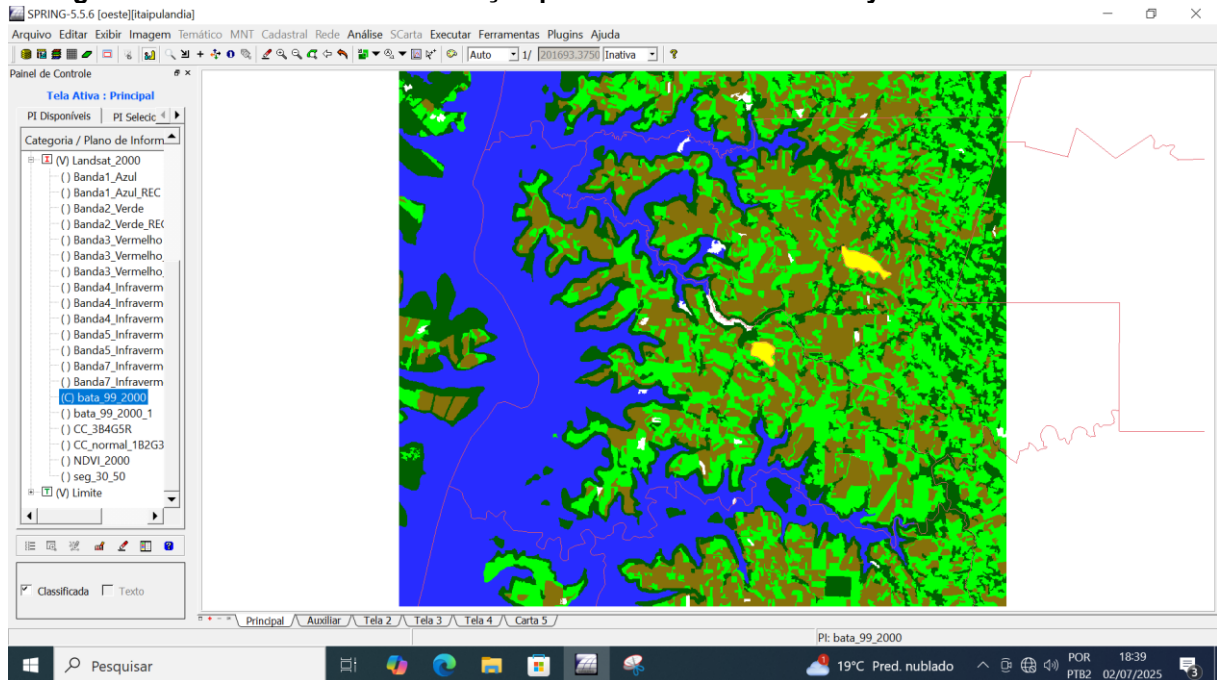


Figura 29 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2005

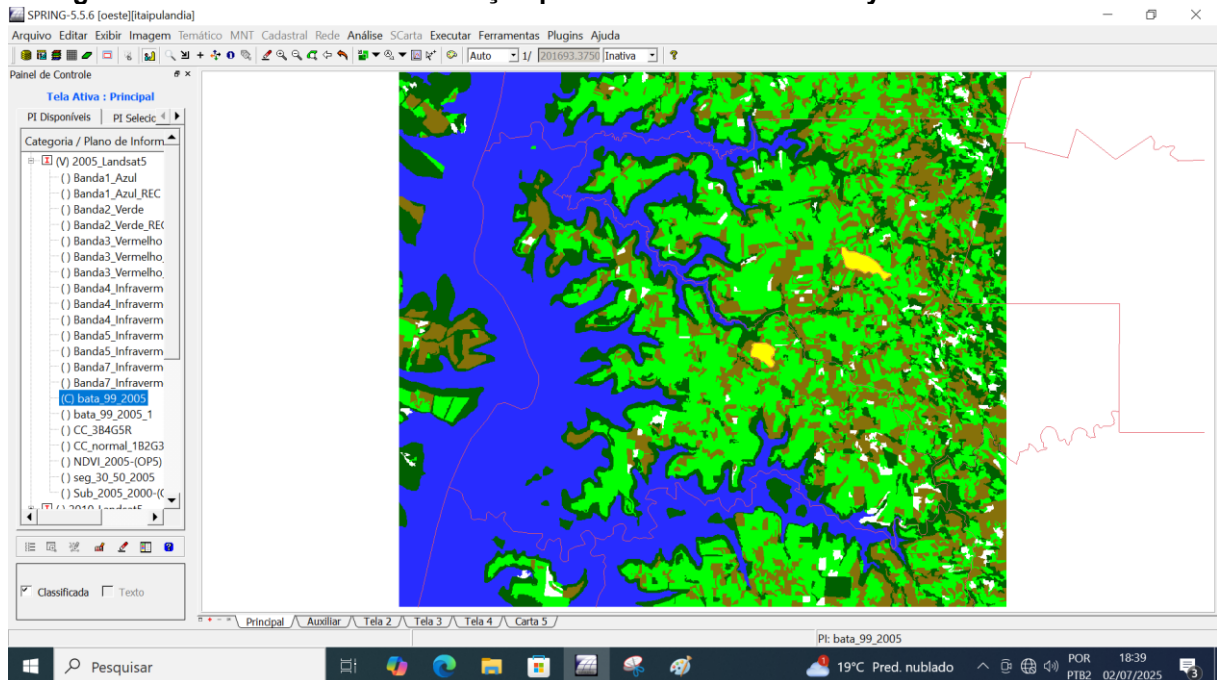


Figura 30 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2010

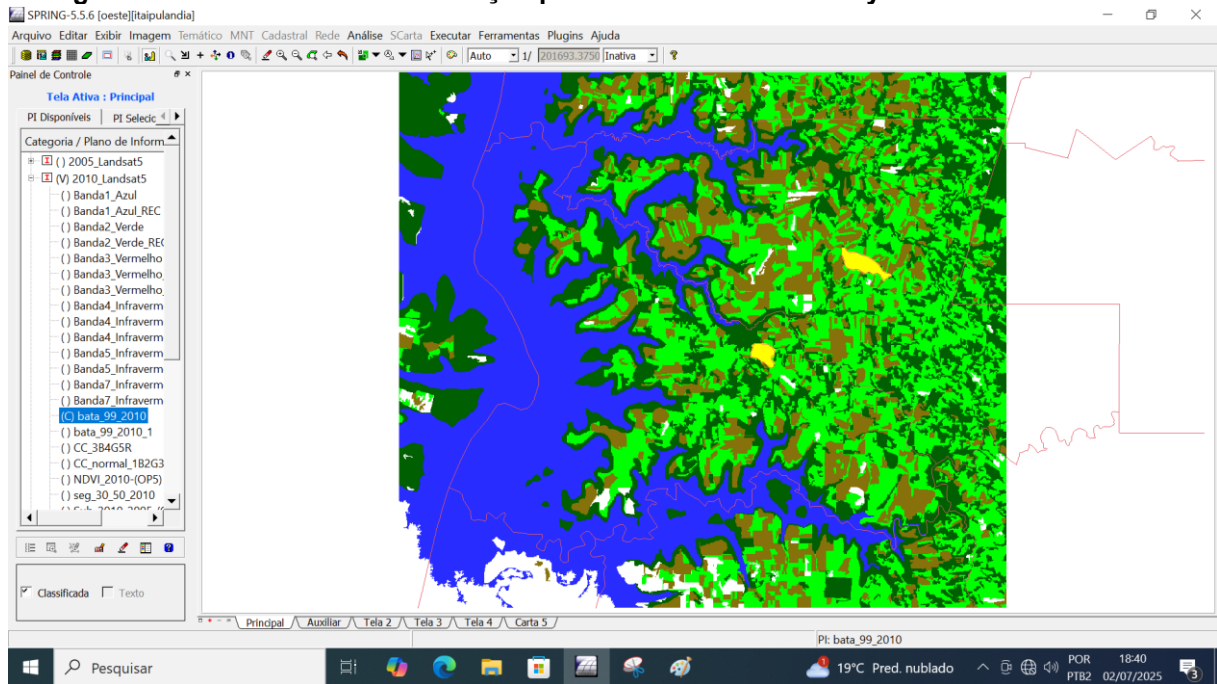


Figura 31 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2015

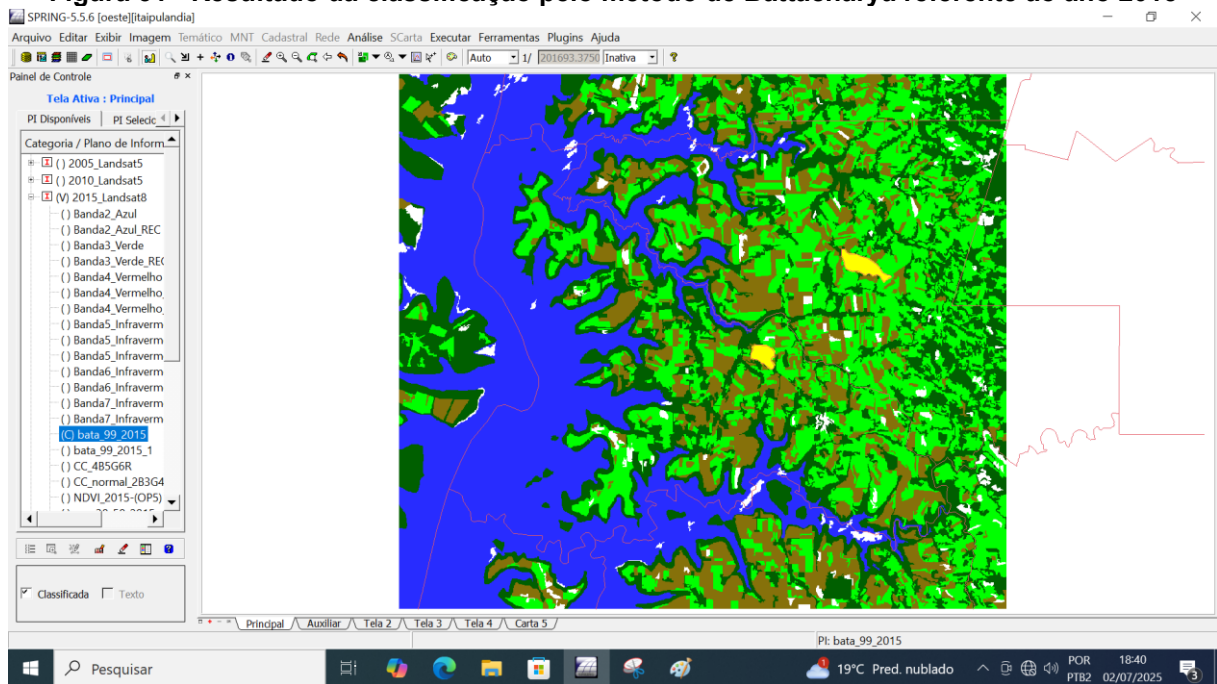


Figura 32 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2020

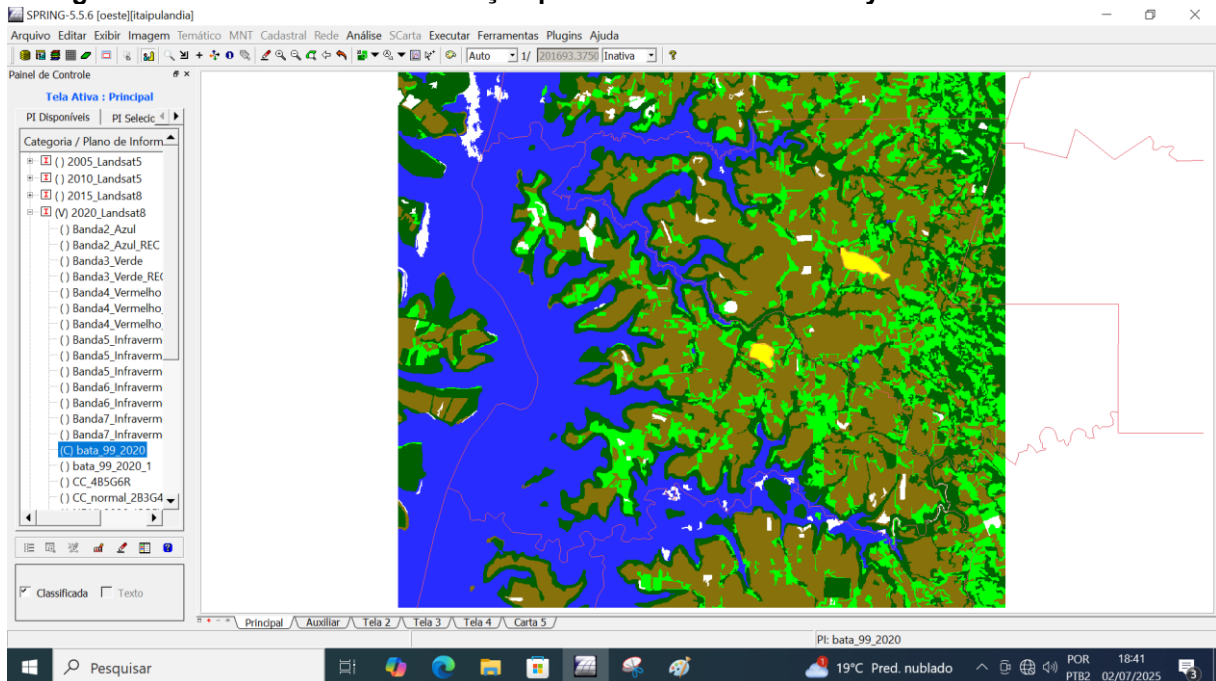
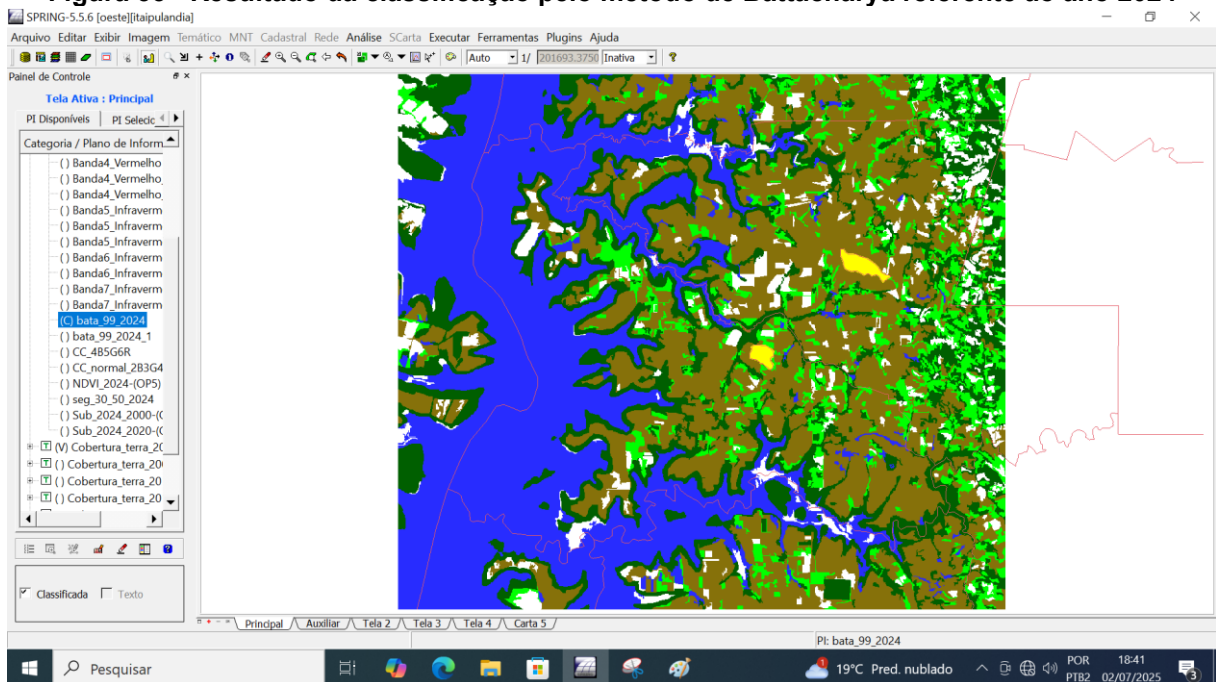


Figura 33 - Resultado da classificação pelo método de Battacharya referente ao ano 2024



4.8.5 Mapeamento de classes para imagem temática

Após a classificação das regiões, procedeu-se ao mapeamento de classes para imagem temática, que consistiu na conversão dos resultados da classificação em um produto cartográfico final. Neste procedimento, cada região classificada recebeu

um código ou cor representativo de sua classe, resultando em uma imagem temática que exhibe a distribuição espacial das categorias previamente definidas.

4.9 Elaboração dos mapas temáticos no SCARTA

Por fim, os mapas temáticos foram elaborados no SCARTA. Nesta etapa, foram adicionados os elementos essenciais que garantem a compreensibilidade e rigor técnico do mapa: título, legenda, escala (numérica 1:150.000 e gráfica), orientação, sistema de coordenadas (SIRGAS2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000) e projeção (UTM – fuso 21), fonte dos dados e autoria. As Figuras 34 a 39 apresentam as cartas temáticas elaboradas.

Figura 34 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2000

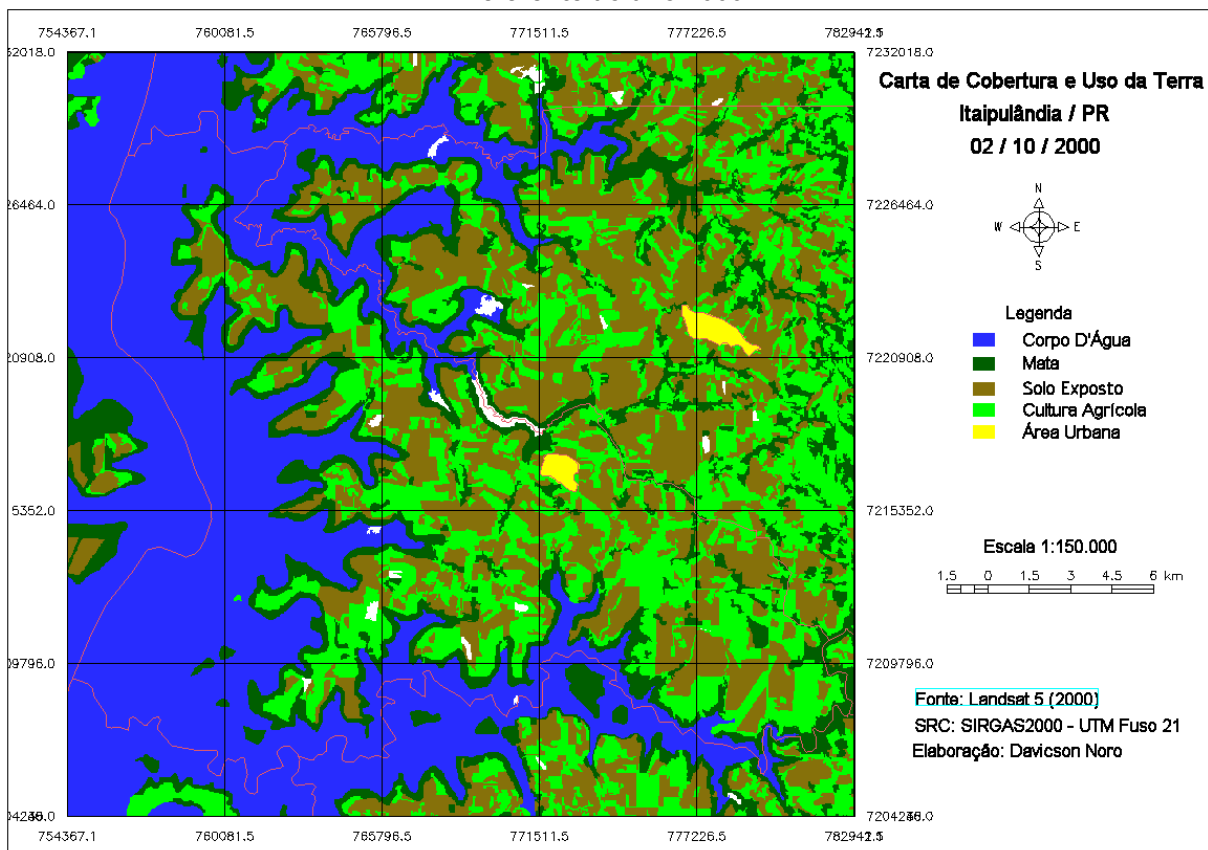


Figura 35 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2005

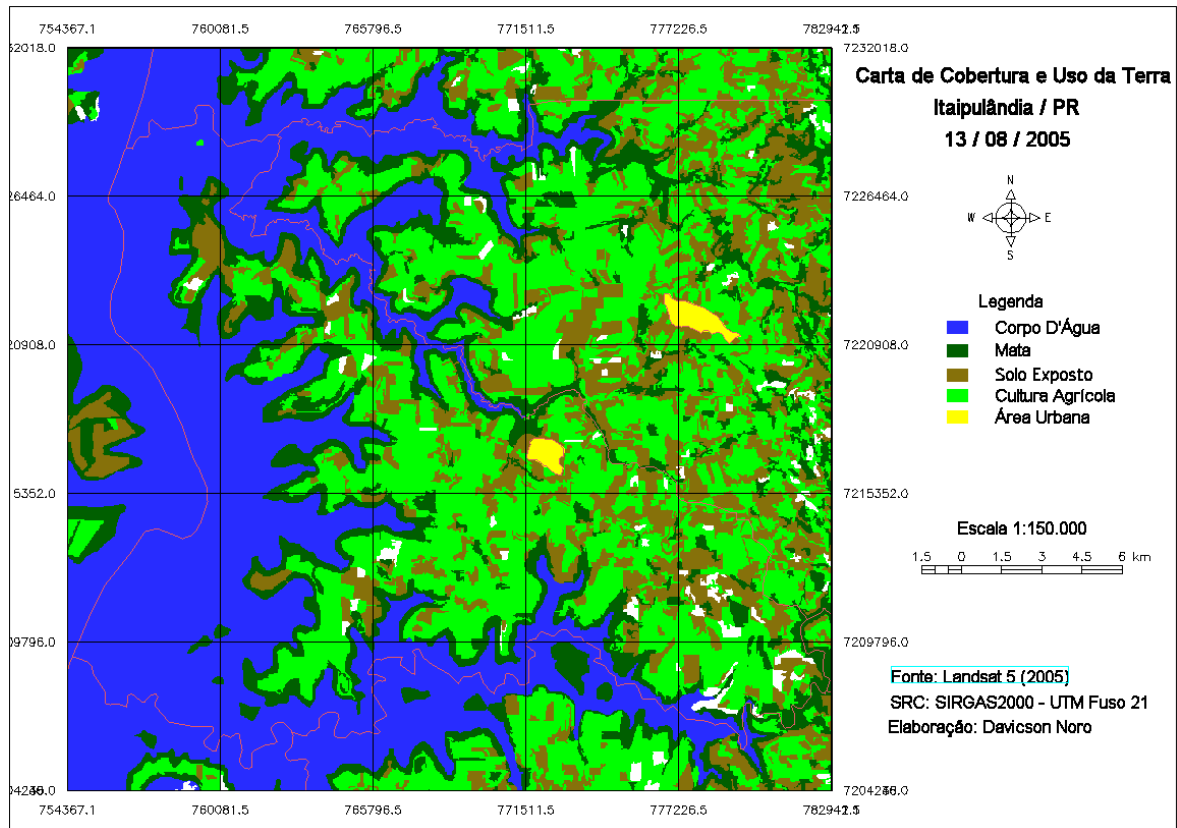


Figura 36 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2010

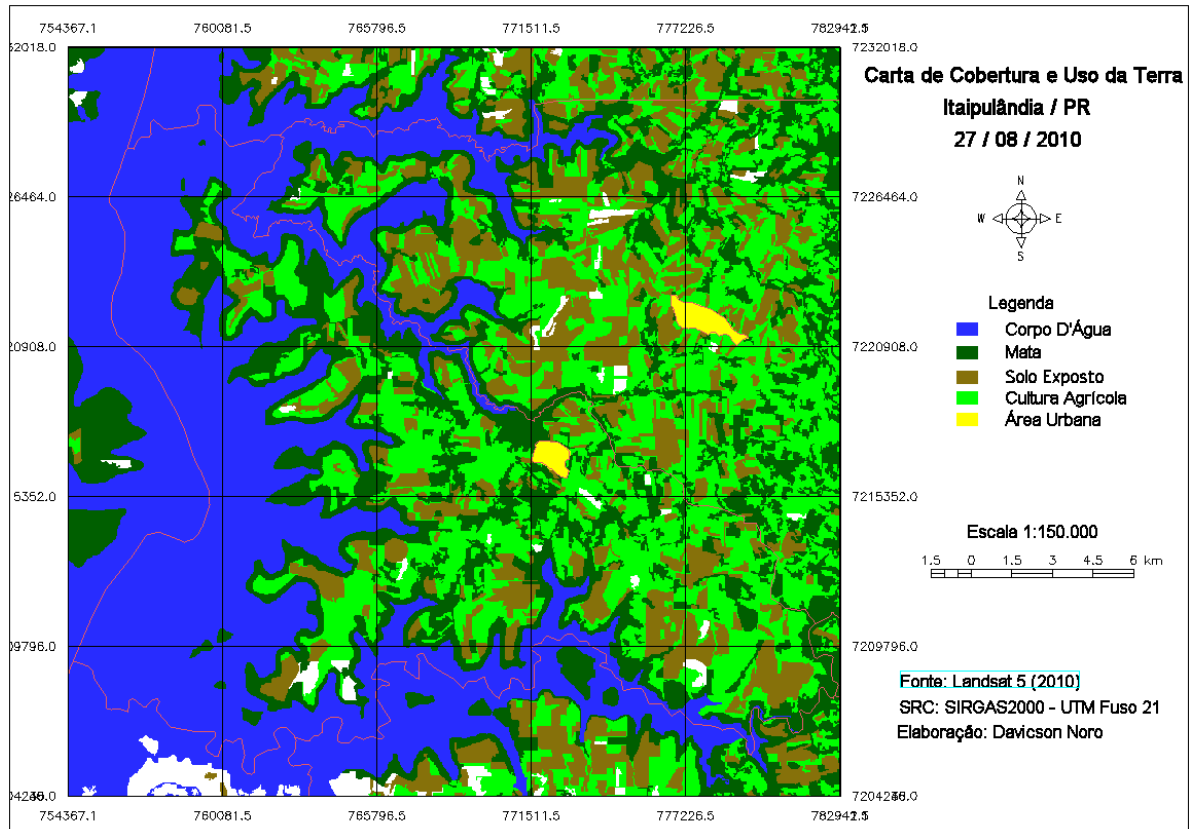


Figura 37 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2015

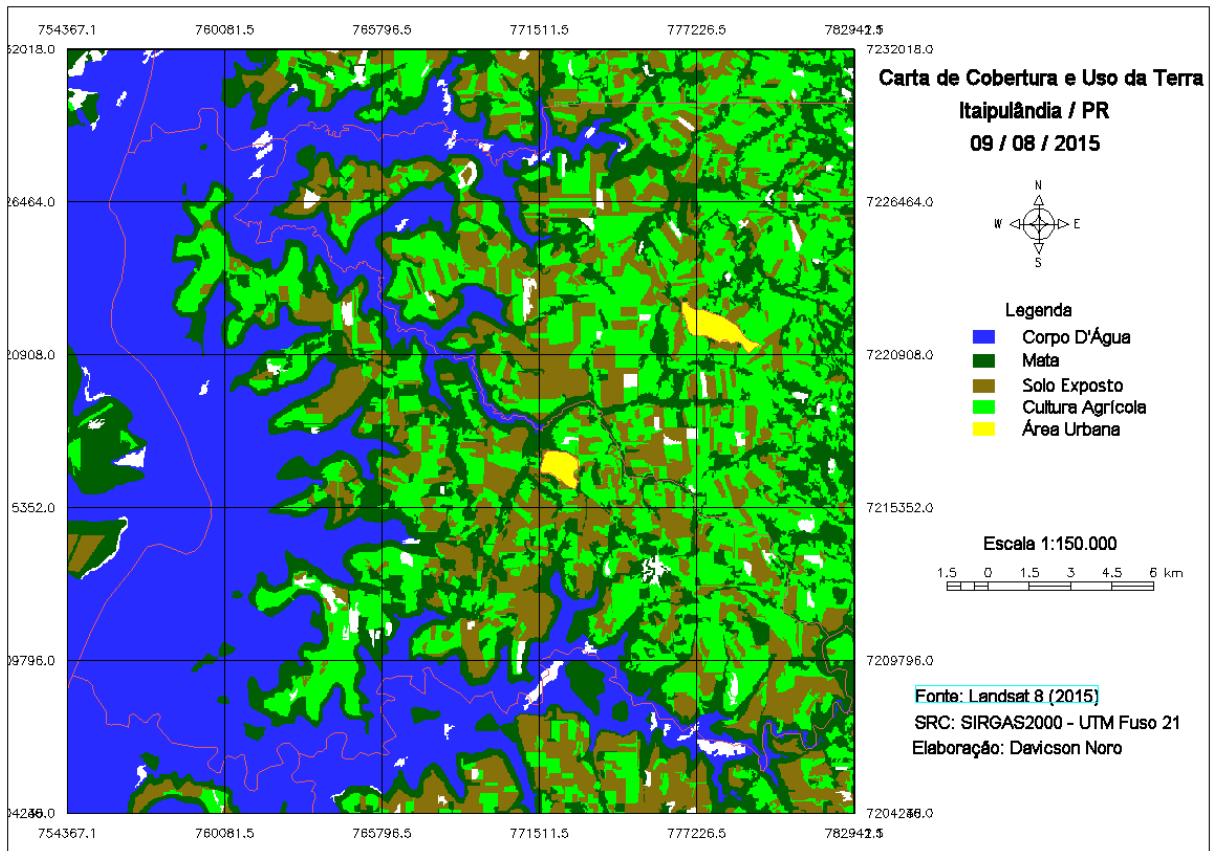


Figura 38 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2020

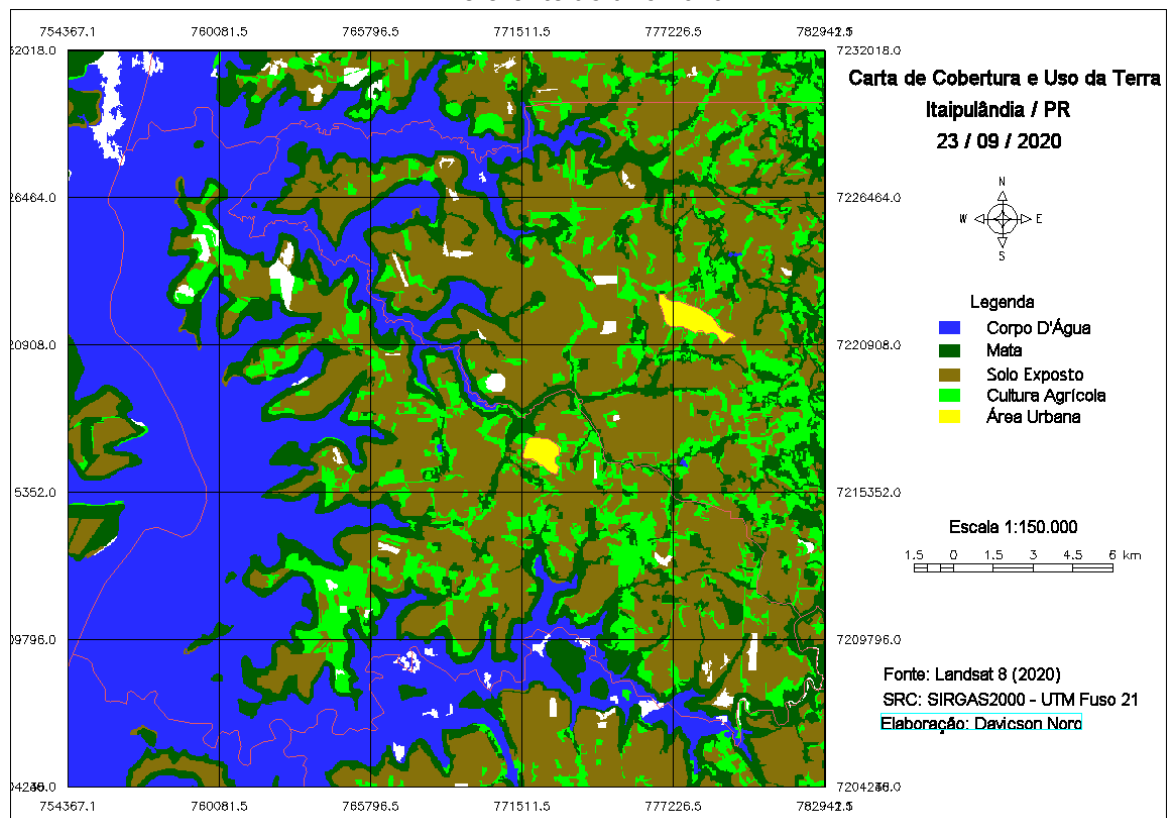
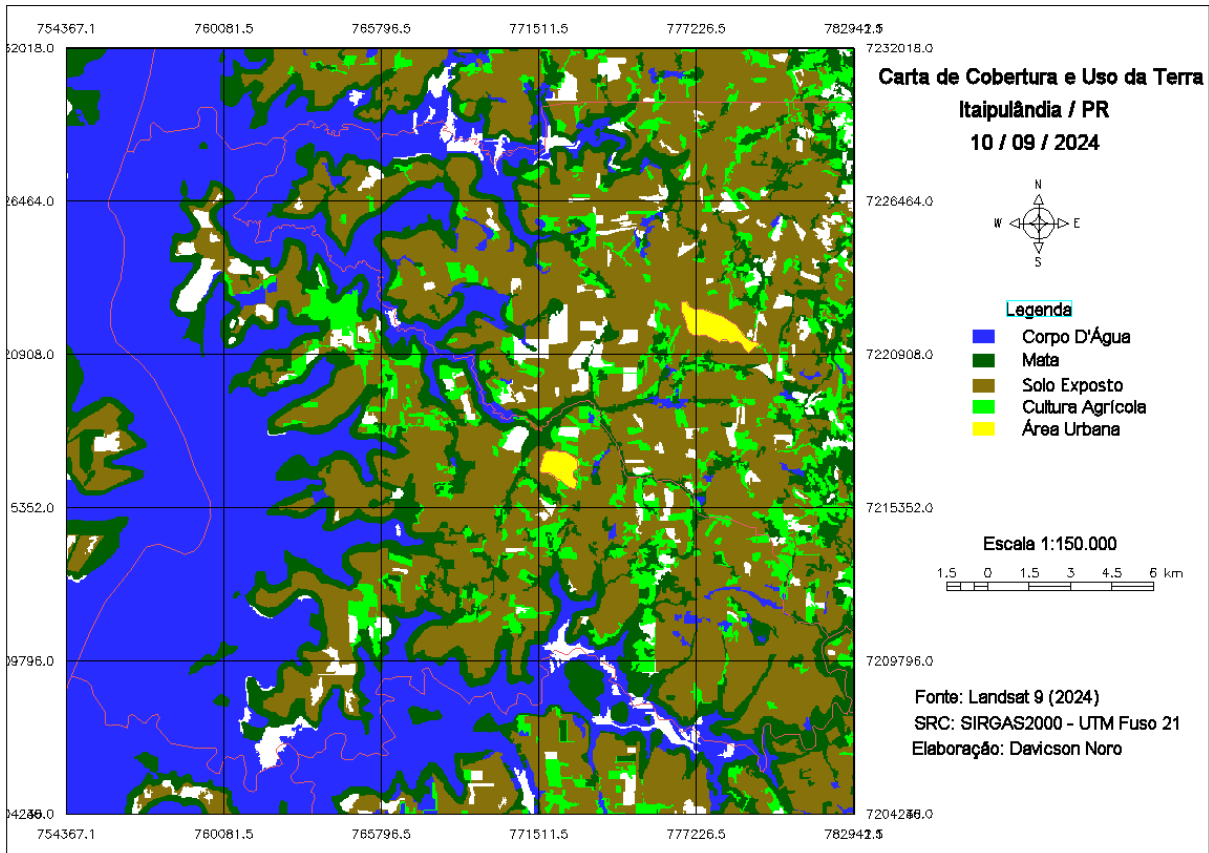


Figura 39 - Carta temática de cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2024



4.10 Subtração de imagens

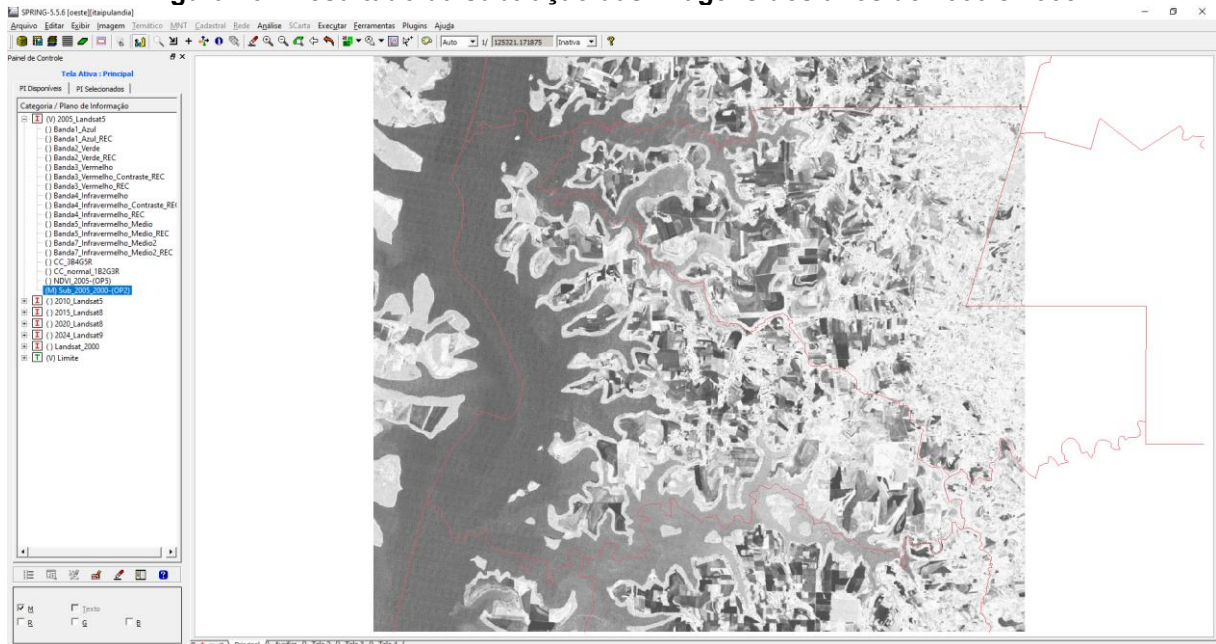
A subtração de imagens é uma técnica de processamento amplamente empregada na análise de mudanças em estudos multitemporais. Este método consiste em subtrair, pixel a pixel ou região a região, os valores de uma imagem adquirida em um tempo T1 de uma imagem da mesma área adquirida em um tempo T2 (SILVA, 2011). O resultado dessa operação é uma nova imagem onde os valores dos pixels representam a magnitude da diferença entre as duas datas. Regiões que não sofreram alterações significativas apresentaram valores próximos de zero, enquanto áreas com mudanças (positivas ou negativas) terão valores discrepantes (GALO, 2011).

Essa técnica é particularmente útil para identificar áreas de crescimento, diminuição ou transformação de certas características, como o desmatamento ou a recuperação da vegetação. Os valores resultantes da subtração podem ser posteriormente linearizados para isolar as áreas de mudança de interesse.

Nas figuras a seguir, para cada ano, regiões claras indicam que não houve alteração no uso e cobertura, ao passo que as regiões escuras indicam que houve modificações entre o período de tempo.

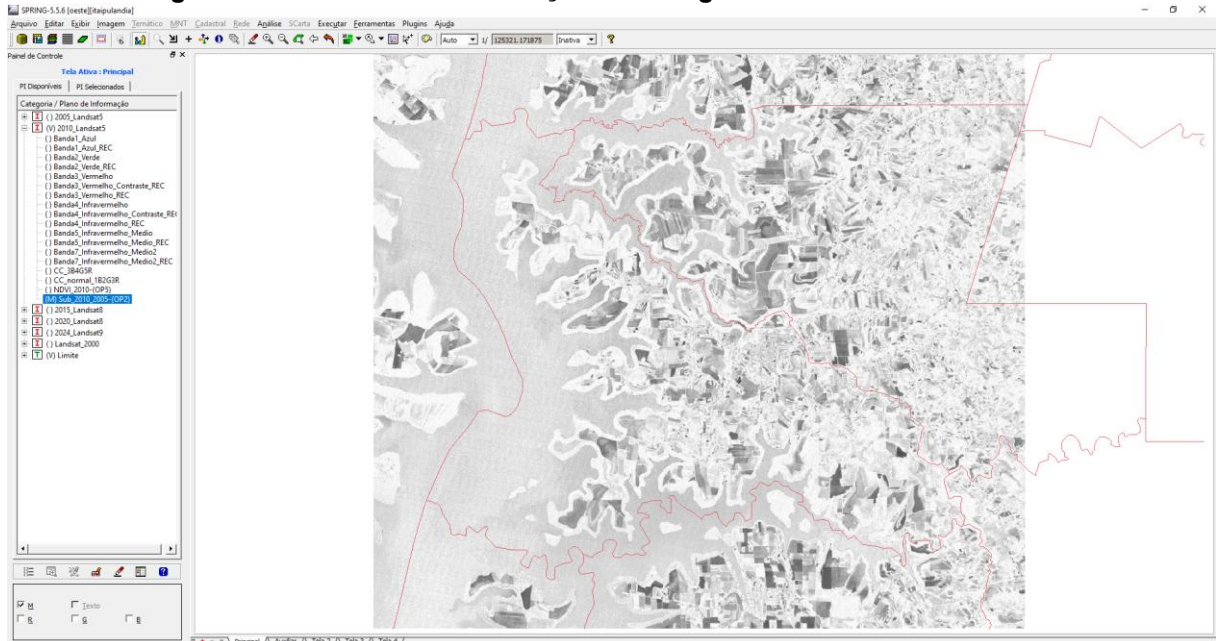
2000 – 2005: O aumento das áreas escuras está associado ao aumento das culturas agrícolas, principalmente devido a imagem de 2000 ser de 2 de outubro de 2000, e conseqüentemente já ter a presença da cultura da soja recentemente semeada no município, devido ao estágio inicial de desenvolvimento da cultura, os solos estão mais expostos. E a imagem seguinte ser de 13 de agosto de 2005, nas quais ainda aparecem culturas como o milho, trigo, aveia e pastagens.

Figura 40 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2000 e 2005



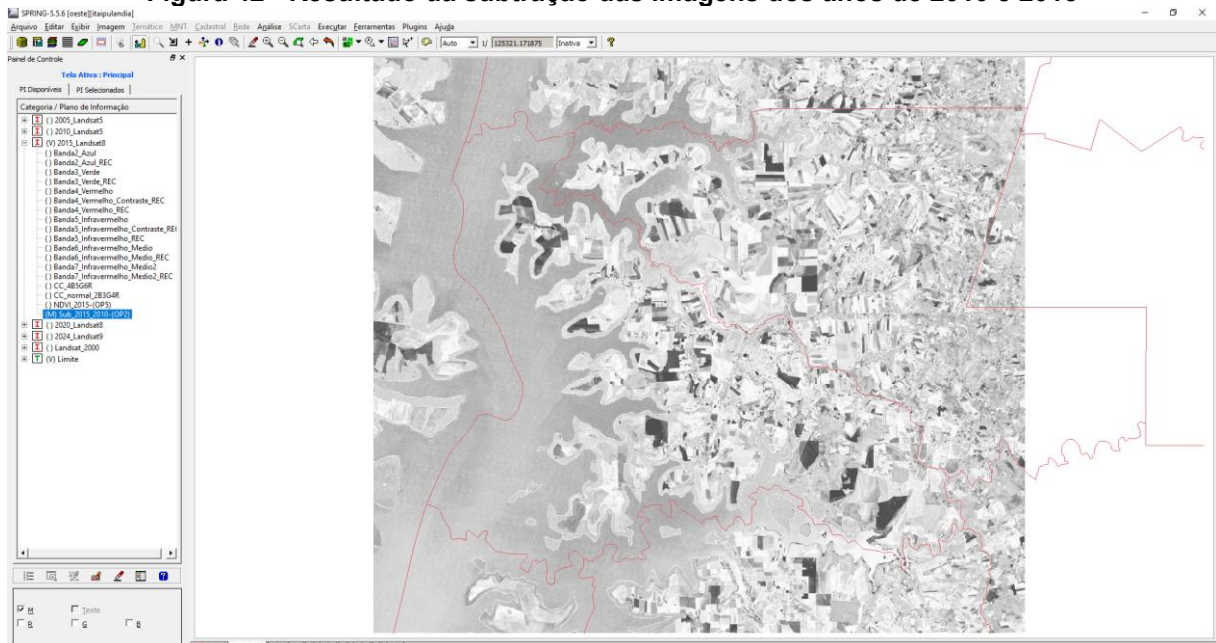
2005 – 2010: As áreas em mata obtiveram um aumento e a dinâmica entre os solos expostos e as culturas agrícolas.

Figura 41 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2005 e 2010



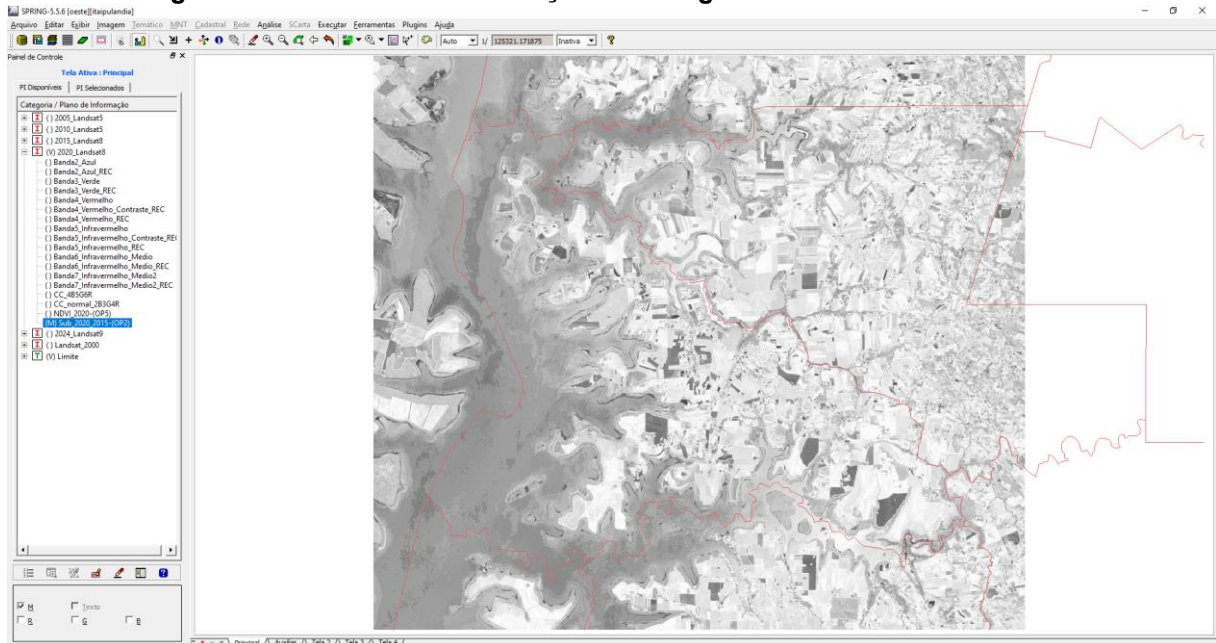
2010 – 2015: No ano de 2013, Itaipulândia firmou um convênio com a Itaipu Binacional para o projeto Conservação de Solos e Água, com o objetivo de recuperar as matas ciliares, as bacias e as microbacias hidrográficas do município (PGP-PR, 2013).

Figura 42 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2010 e 2015



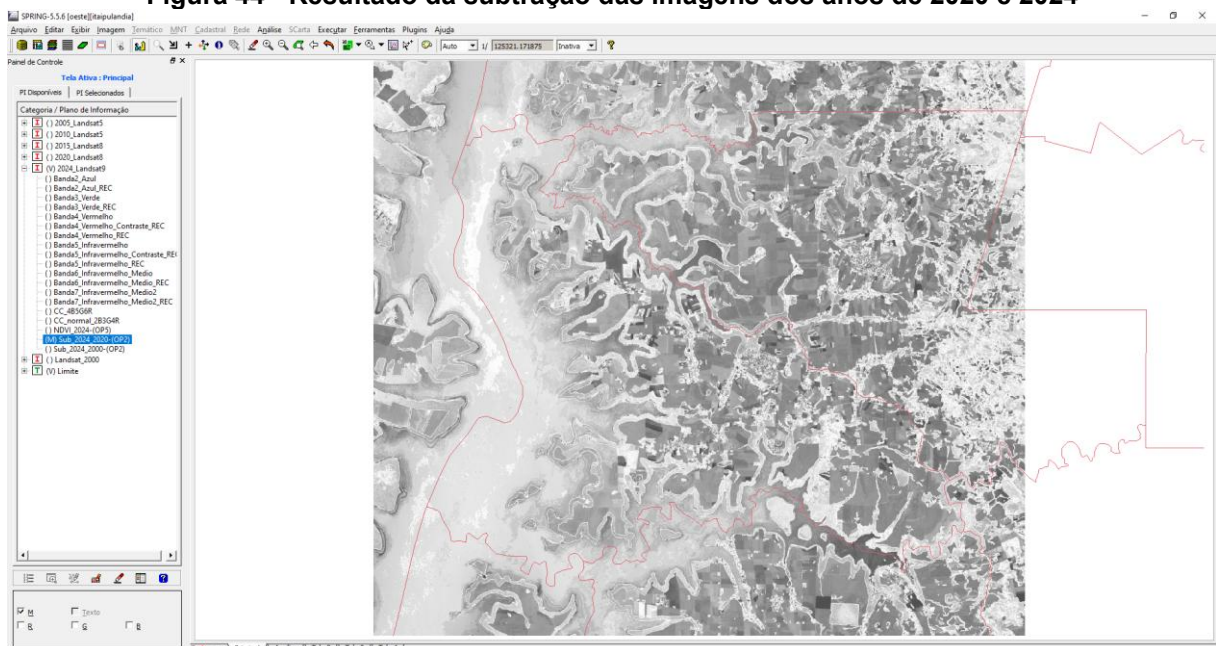
2015 – 2020: As áreas em escuro se caracterizam pela dinâmica entre os solos expostos e as culturas agrícolas.

Figura 43 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2015 e 2020



2020 – 2024: As áreas em escuro se caracterizam pela dinâmica entre os solos expostos e as culturas agrícolas, por conta da diferença data de aquisição das imagens.

Figura 44 - Resultado da subtração das imagens dos anos de 2020 e 2024



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Cobertura e uso do solo

A cobertura e uso do solo do território do município de Itaipulândia foi classificada em diferentes classes: culturas agrícolas, solo exposto, mata e corpos d'água, para cada ano avaliado. A área urbana foi vetorizada.

5.1.1 Cobertura e uso do solo ano de 2000

Figura 45 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2000

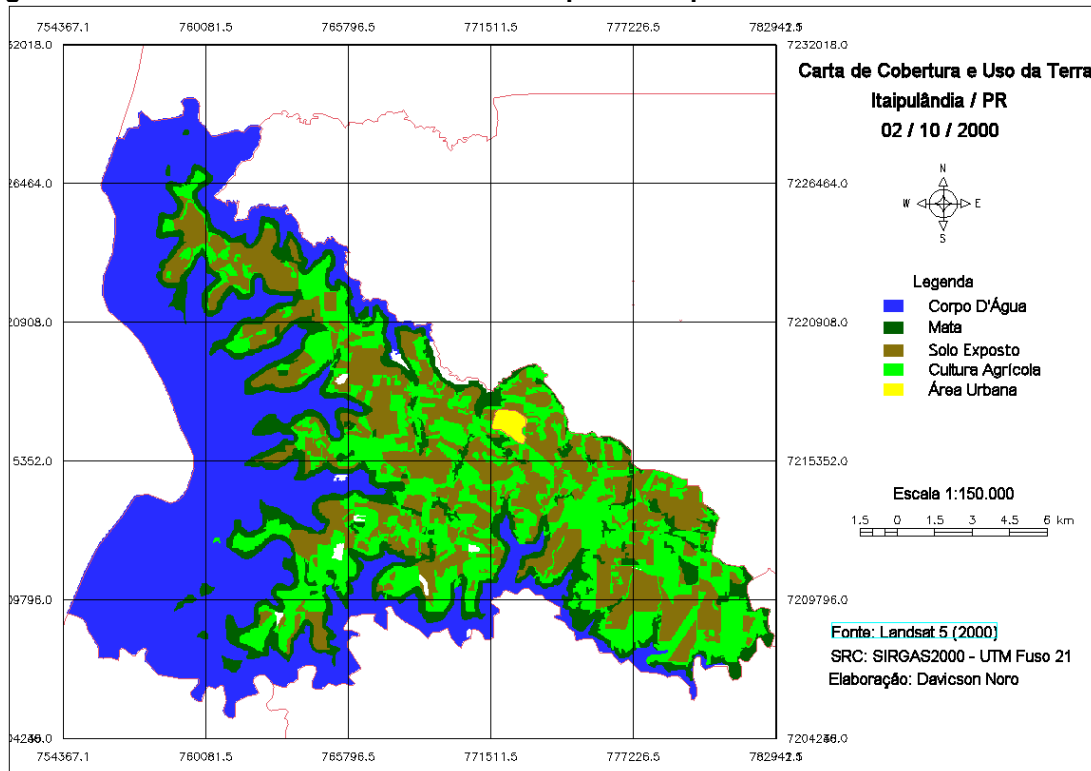


Tabela 12 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2000

Ano	2000		
	Cor	Área (ha)	Área (%)
Áreas agrícolas Solo exposto + Cultura Agrícola		14325,39	43,50%
Corpo d'água		13627,08	41,38%
Mata		4978,17	15,12%

5.1.2 Cobertura e uso do solo ano de 2005

Figura 46 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2005

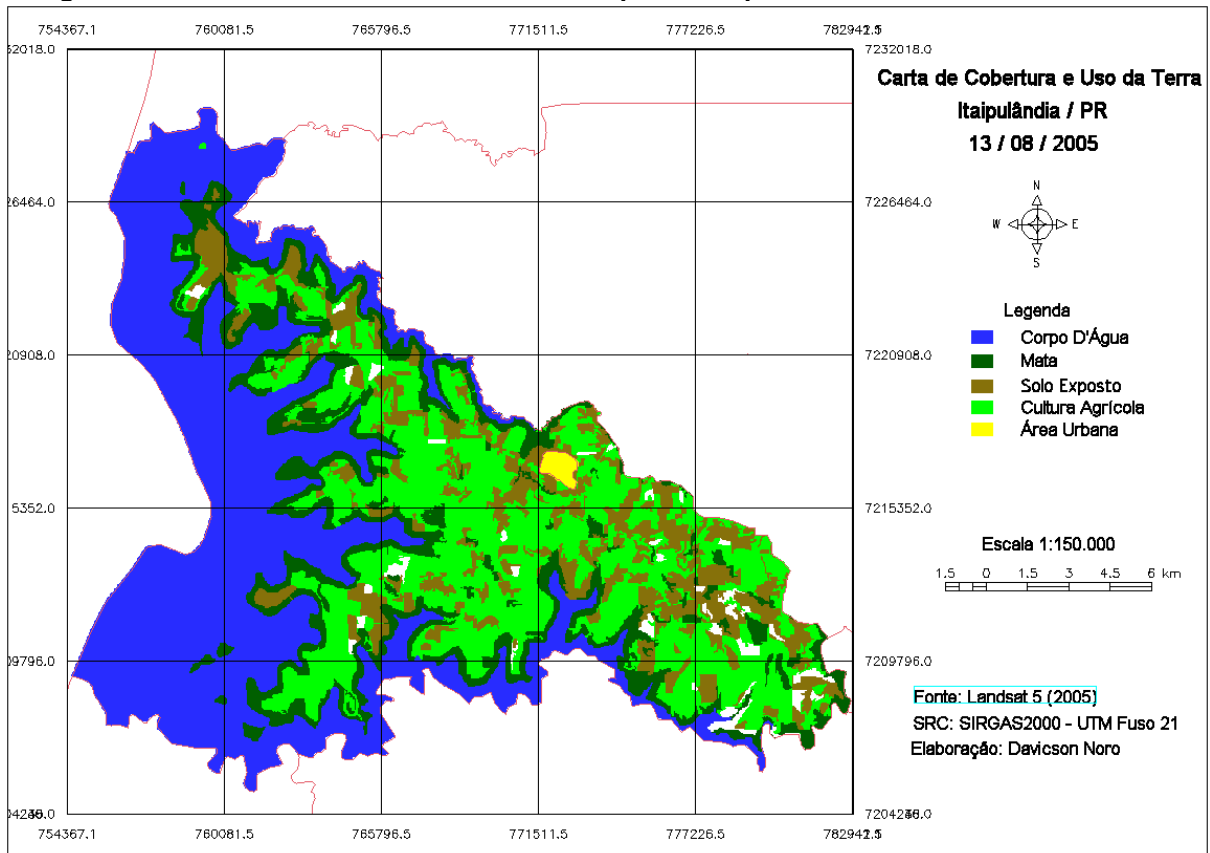


Tabela 13 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2005

Ano	2005		
Classe	Cor	Área (ha)	Área (%)
Áreas agrícolas Solo exposto + Cultura Agrícola		13668,57	41,92%
Corpo d'água		13685,40	41,98%
Mata		5245,38	16,09%

5.1.3 Cobertura e uso do solo ano de 2010

Figura 47 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2010

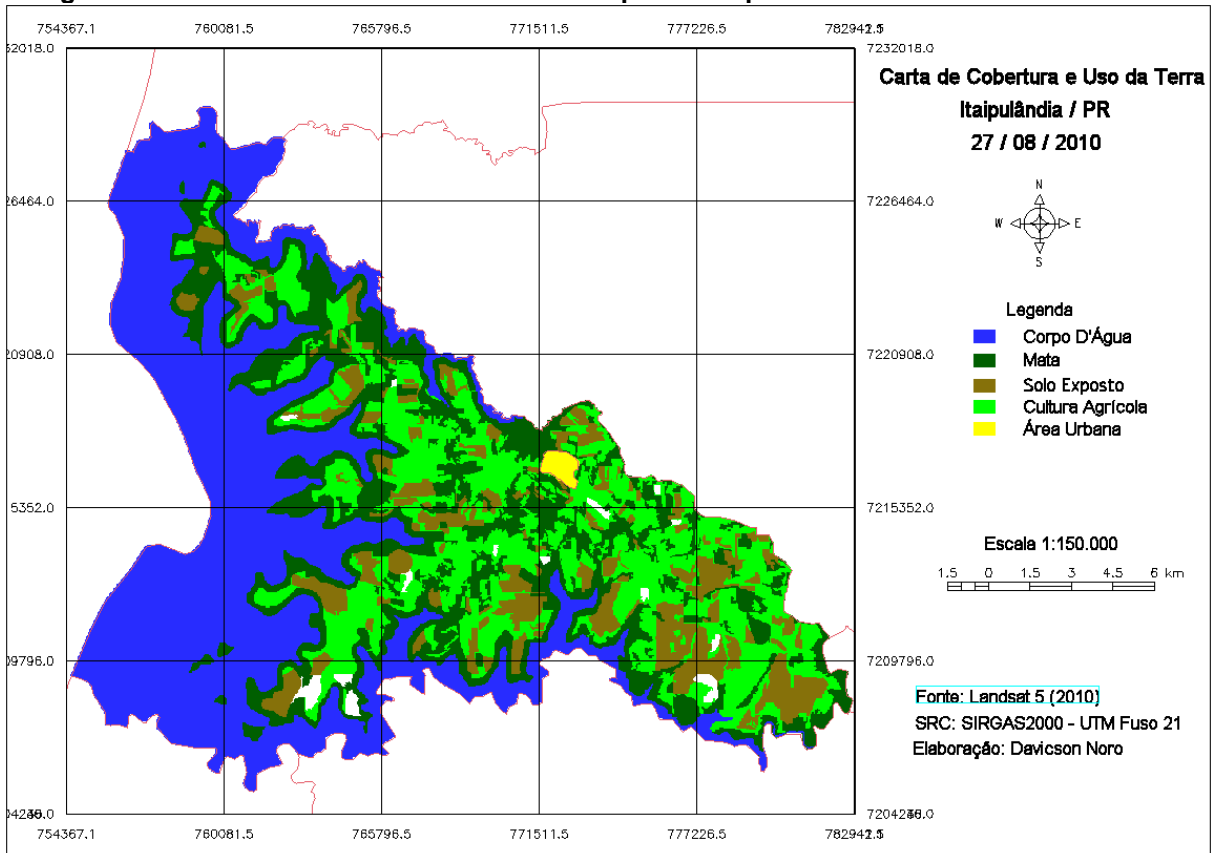


Tabela 14 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2010

Ano	2010		
Classe	Cor	Área (ha)	Área (%)
Áreas agrícolas Solo exposto + Cultura Agrícola	 	11216,16	34,16%
Corpo d'água		13659,30	41,60%
Mata		7961,76	24,25%

5.1.4 Cobertura e uso do solo ano de 2015

Figura 48 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2015

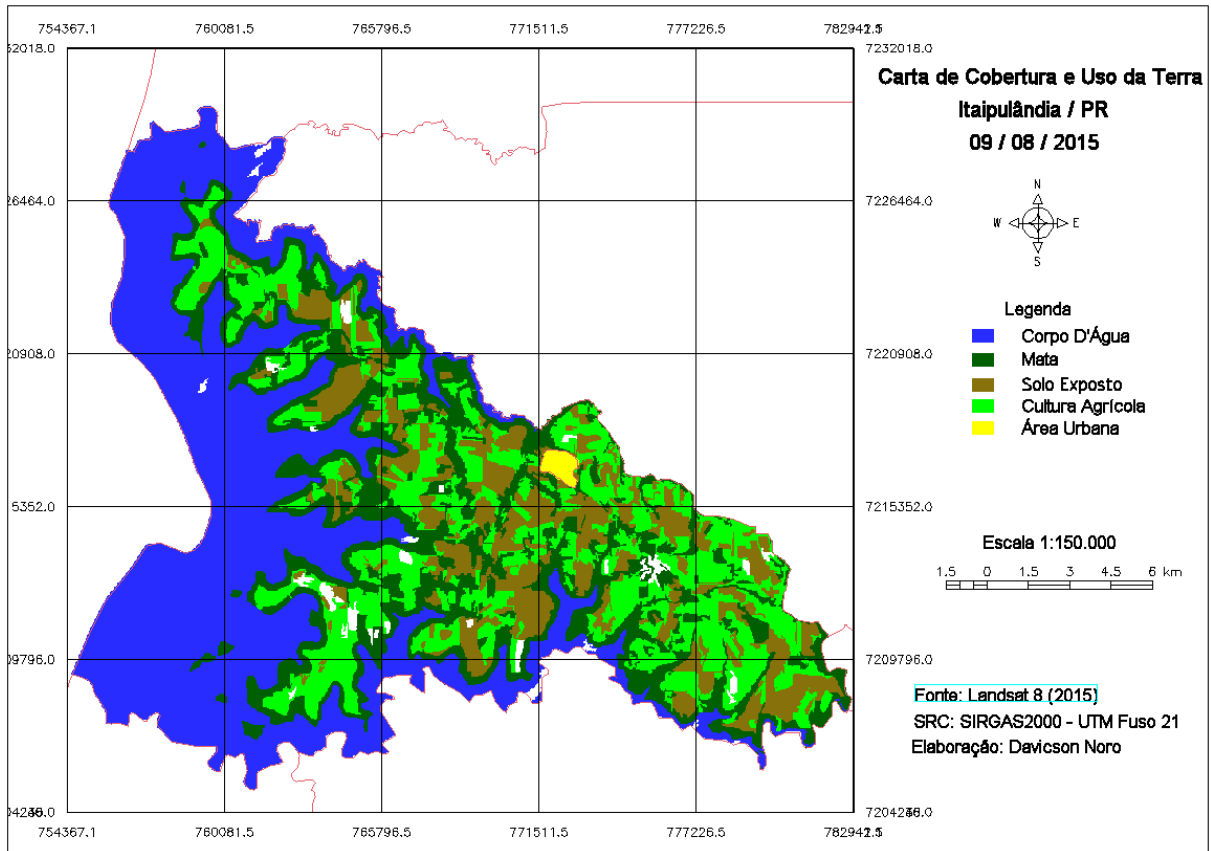


Tabela 15 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2015

Ano	2015		
Classe	Cor	Área (ha)	Área (%)
Áreas agrícolas Solo exposto + Cultura Agrícola		11654,84	35,64%
Corpo d'água		13547,88	41,43%
Mata		7495,71	22,92%

5.1.5 Cobertura e uso do solo ano de 2020

Figura 49 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2020

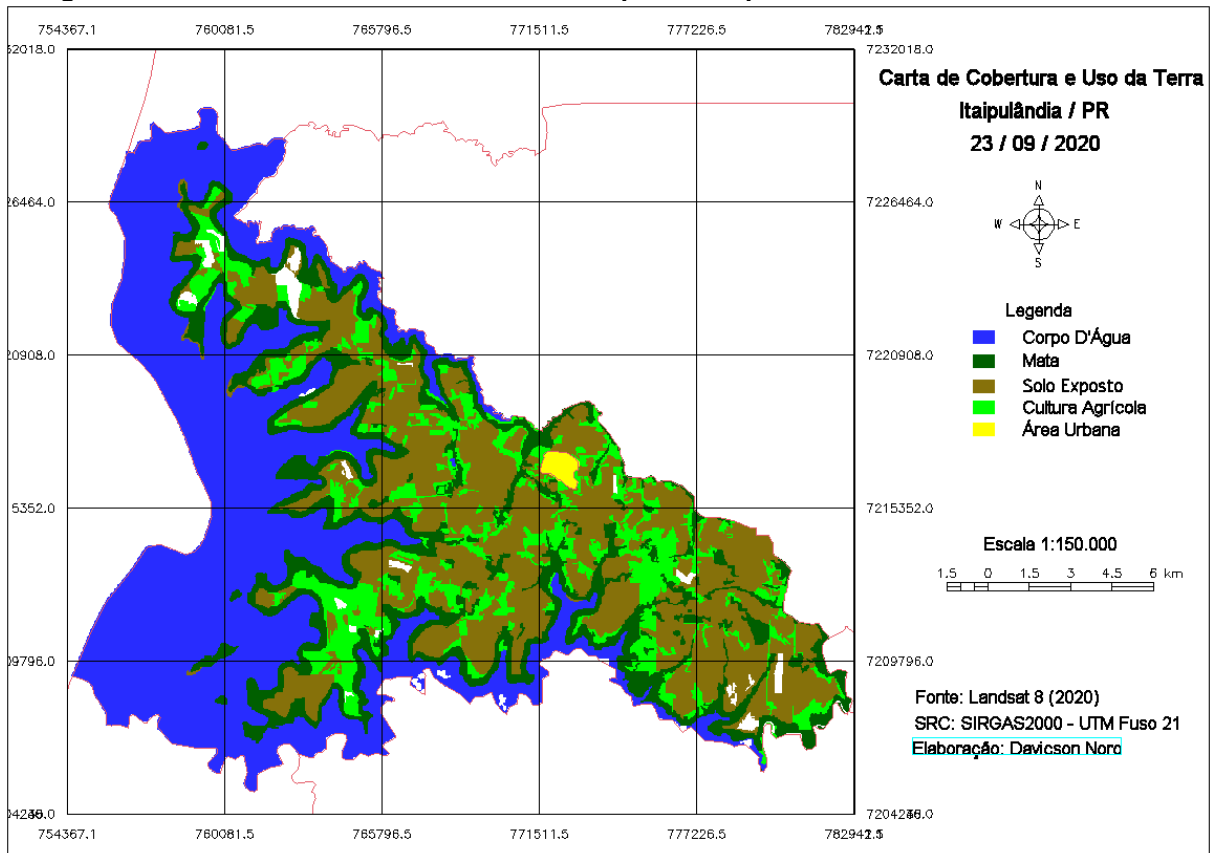


Tabela 16 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2020

Ano	2020		
Classe	Cor	Área (ha)	Área (%)
Áreas agrícolas Solo exposto + Cultura Agrícola		13574,70	41,54%
Corpo d'água		13157,10	40,26%
Mata		5949,27	18,20%

5.1.6 Cobertura e uso do solo ano de 2024

Figura 50 - Cobertura e uso da terra do município de Itaipulândia/PR referente ao ano 2024

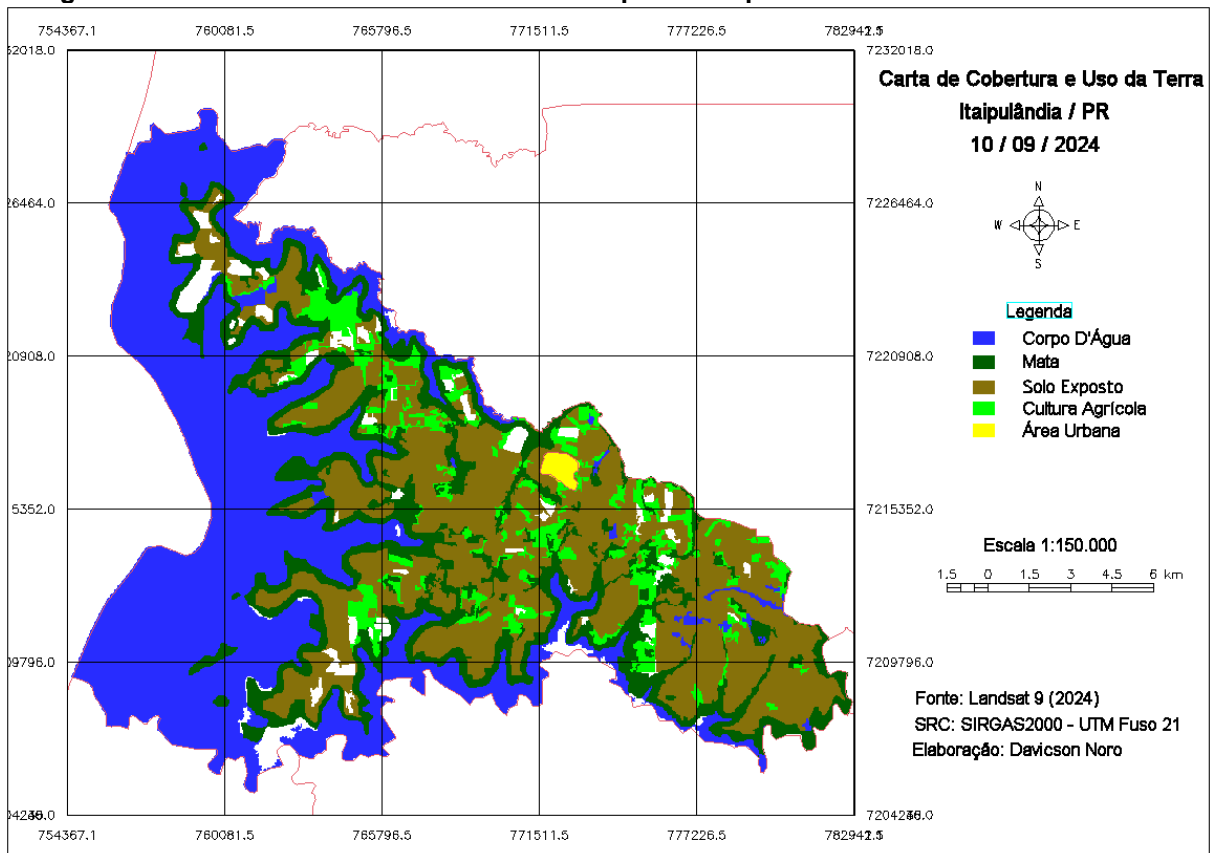


Tabela 17 - Quantificação dos valores que representam cada área (ha) e em (%) para o ano 2024

Ano	2024		
Classe	Cor	Área (ha)	Área (%)
Áreas agrícolas Solo exposto + Cultura Agrícola		12240,36	38,39%
Corpo d'água		13255,83	41,58%
Mata		6384,69	20,03%

5.2 Por classes de classificação

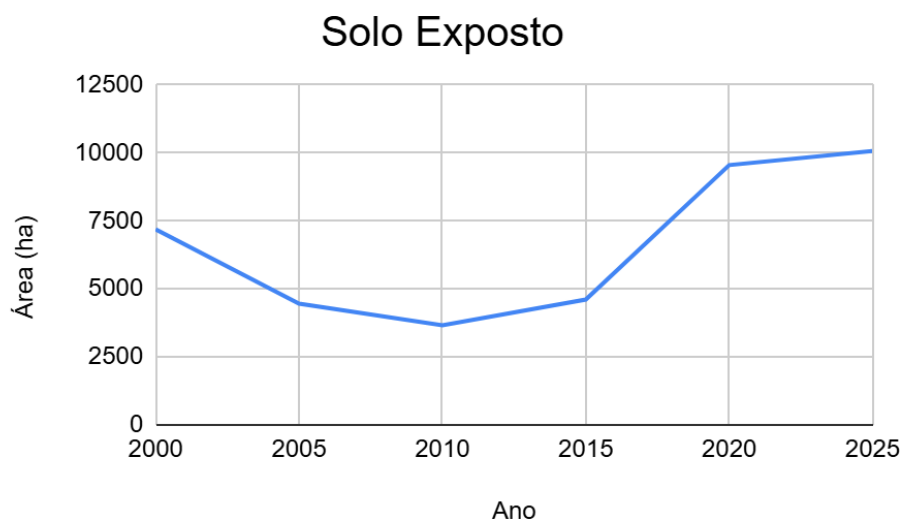
5.2.1 Solo exposto

O solo exposto, que também é área destinada ao uso de culturas agrícolas, compreende áreas momentaneamente sem cultivo, ou seja, sem cobertura vegetal, principalmente devido ao período da aquisição das imagens ser durante ou logo após o vazio sanitário da soja, ou em áreas onde o produtor opta por realizar a semeadura da soja de forma mais tardia, muitas vezes em função das condições climáticas ou da escolha da cultivar. A Tabela 18 e a Figura 51 apresentam a evolução temporal da área de solo exposto no município.

Tabela 18 - Variação dos valores que representam a área de solo exposto, de 2000 a 2024

Solo Exposto		
Ano	Área (ha)	Área (%)
2000	7186,68	22,04%
2005	4448,79	13,64%
2010	3651,93	11,20%
2015	4600,80	14,11%
2020	9551,52	29,30%
2025	10071,09	30,89%

Figura 51 - Análise multitemporal do solo exposto



As áreas de solo exposto, em contrapartida ao vazio sanitário, que foi aplicado no ano de 2007 para o oeste paranaense, apresentaram um declínio, onde do ano de

2000 a área de solo exposto era de 7186,68 ha, cerca de 22,04% da área total classificada, já para o ano de 2005 diminuiu em 2737,89 há, cerca de 8,40% chegando a uma área de 4448,79 há (13,64%), e de 2005 para 2010 uma nova diminuição de 798,86 há, cerca de 2,44% em relação a 2005, com sua área caindo para 3651,93 ha, apenas 11,20% da área classificada. Após 10 anos de diminuição houve aumento em todas próximas datas, já para 2015, um aumento de 948,87 há, elevando em 2,91% as áreas de solo exposto em vista o ano de 2010, chegando a ter em 2015 4600,8 ha, 14,11% da área. Já em 2020 apresentou um grande salto de crescimento, chegando a aumentar em 4950,72 ha, totalizando um grande aumento de 15,18% em relação a 2015, chegando a 9551,52 ha, duplicando a porcentagem em relação a data anterior, chegando a 29,30%. Já para a última data de 2024, um novo aumento de 519,57 ha ou cerca de 1,59%, totalizando uma área de 10071,09 ha, cerca de 30,89% do total das áreas classificadas do município.

5.2.2 Cultura Agrícola

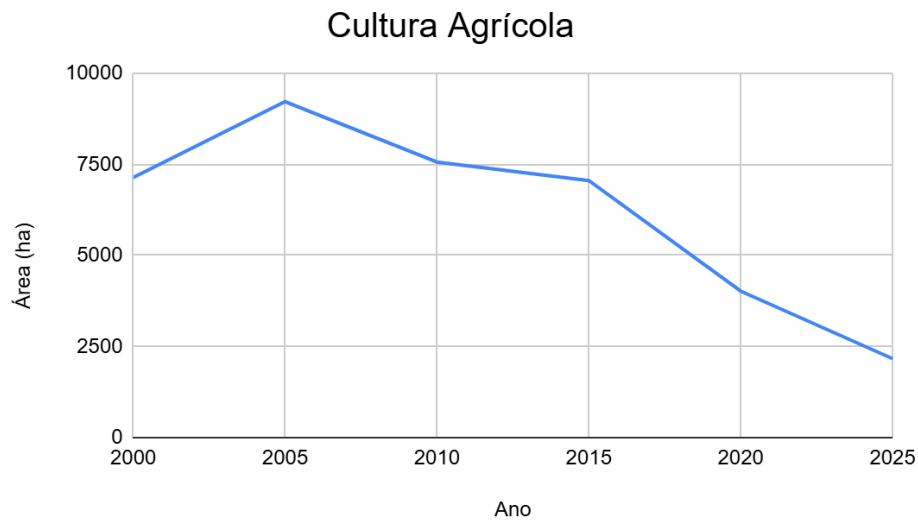
As áreas classificadas como cultura agrícola, compreendem as áreas em que apresentam algum tipo de cobertura vegetal, seja ela sua finalidade alimentar (grãos que são o soja, milho, trigo), forrageira (milheto, capim, grama), hortaliças ou o uso da adubação verde, onde plantas como a aveia preta, nabo forrageiro, centeio, entre outras, são semeadas individualmente ou o chamado mix de plantas, em que é utilizado mais de uma espécie de planta em consórcio, buscando os benefícios para o solo, como o fornecimento de matéria orgânica e para a descompactação do solo através do crescimento das raízes.

Devido a data da escolha das imagens, apresentam áreas em que há a presença do final cultivo do trigo, para o início da semeadura do soja, devido ao vazio sanitário, medida que ocorre no oeste do Paraná desde os anos de 2007 até hoje, sofrendo apenas algumas alterações nas datas, atualmente a liberação para a semeadura ocorre a partir do dia 1 de setembro, data que foi antecipada no último ano, pois anteriormente desde os anos de 2017 até 2023 o vazio sanitário da soja se estendia até o dia 10 de setembro e dos anos de 2007 até 2016 se estendia até a data de 15 de setembro.

A Tabela 19 e a Figura 52 apresentam a evolução temporal da área de cultura agrícola no município.

Tabela 19 - Variação dos valores que representam a área de cultura agrícola, de 2000 a 2024

Cultura agrícola		
Ano	Área (ha)	Área (%)
2000	7138,71	21,89%
2005	9219,78	28,28%
2010	7564,23	23,20%
2015	7054,04	21,64%
2020	4023,18	12,34%
2024	2169,27	6,65%

Figura 52 - Análise multitemporal da cultura agrícola

Como visto na figura e na tabela, o cultivo das áreas agrícolas tiveram um aumento do ano de 2000 para o ano de 2005 em 2081,07 ha, cerca de 29,01%, saindo de 7138,71 ha para 9219,78 ha, sendo assim o único aumento registrado. Posteriormente foram registrado para os próximos anos uma redução das áreas com cultivo agrícola, sendo que em 2005 para 2010 houve uma redução de 1655,55 ha, chegando a 7564,23 ha, cerca de 8,20%, no ano de 2010 para o ano de 2015 houve uma redução menos significativa, perdendo apenas 510,19 ha (cerca de 6,74%), vindo para 7054,04, e no ano de 2015 para o ano de 2020, novamente ocorreu uma grande diminuição da área de (3030,81 ha), cerca de 42,83% em relação a data anterior, caindo para 4023,18 ha, e no ano de 2024 uma nova queda foi registrada, sendo uma diminuição de 1853,91 ha, cerca de 46,08%, chegando ao menor número registrado para áreas de culturas agrícolas, com apenas 2169,27 ha. Uma justificativa a este baixo número se deve as áreas que não foram classificadas devido a presença de nuvens sobrepondo a imagem, como observa-se para o ano de 2024, em que ocorreu

uma maior incidência de partes em branco em relação às outras imagens, como visto na Figura 50.

Em relação ao início da pesquisa no ano de 2000, até o ano de 2024, houve uma redução de 4969,44 ha, cerca de 15,24%. Tal redução pode ser vista por diversos fatores, como a implantação do vazio sanitário da soja no oeste do Paraná no ano de 2007, novas tecnologias na soja, como cultivares com o ciclo mais precoce, necessitando menos dias de ciclo produtivo, levando a serem semeadas mais tarde, no final do mês de setembro e início de outubro e condições climáticas adversas, como uma seca ou o excesso de chuvas, acaba não criando um cenário ideal para que ocorra o sucesso da operação, o que acaba modificando a data de semeadura.

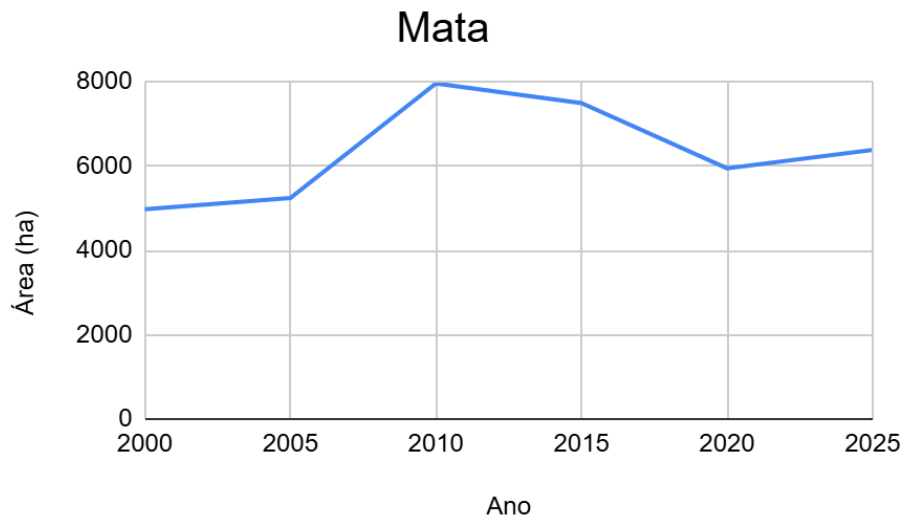
5.2.3 Mata

Áreas que são compostas por áreas de vegetação nativa, reflorestamento e cultivos agroflorestais (eucalipto), as matas do município de Itaipulândia são principalmente compostas pelas matas ciliares, que são as vegetações presentes ao longo dos rios, represas e principalmente o lago de Itaipu, por ter grande parte de seu território alagado, apresenta grande quantidade de áreas de mata ao longo das margens do lago. A Tabela 20 e a Figura 53 apresentam a evolução temporal da área de mata no município.

Tabela 20 - Variação dos valores que representam a área de mata, de 2000 a 2024

Mata		
Ano	Área (ha)	Área (%)
2000	4978,17	15,27%
2005	5245,38	16,09%
2010	7961,76	24,42%
2015	7495,71	22,99%
2020	5949,27	18,25%
2024	6384,69	19,58%

Figura 53 - Análise multitemporal da mata



No ano de 2000 a área de mapa era de 4978,17 ha, e para o ano de 2005 houve um pequeno aumento, em que foram acrescidos mais 267,21 ha, cerca de 0,82%, chegando a 5245,38 há. Já para os próximos 5 anos, em 2010, houve um grande aumento da área de mata no município, crescendo 2716,38 ha, totalizando 7961,76 ha, o que representa um aumento de 8,33%. Após esse período houve uma redução das áreas de mata até o ano de 2020: já para a próxima data em 2015, houve uma redução de 466,05 ha, chegando a 7495,71 há. Para o ano de 2020, apresentou nova queda em relação a data anterior, reduzindo em 1546,44 ha, cerca de 4,74% da área, vindo a 5949,27 ha para a última data analisada (2024) voltou a apresentar um crescimento de áreas de mata em relação ao ano de 2020, em 435,43 ha, cerca de 1,34%, chegando aos 6384,69 ha.

5.2.4 Corpos d'água

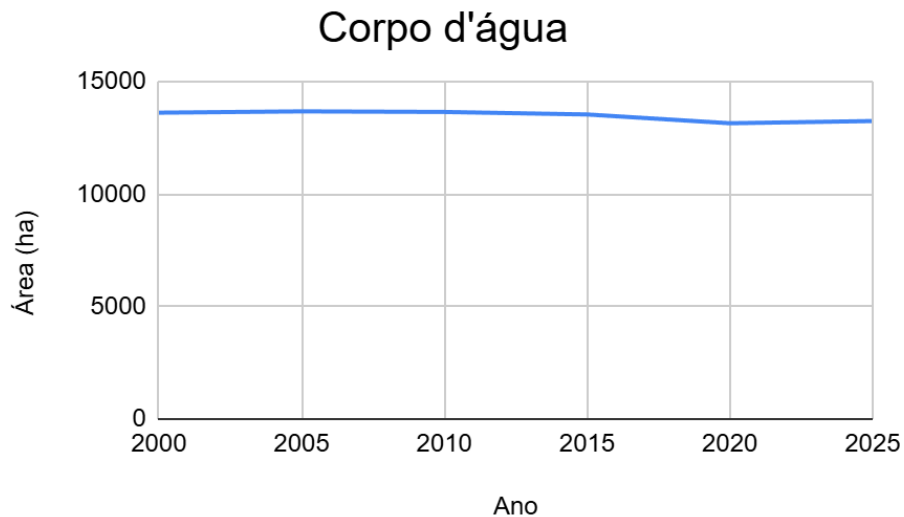
O município de Itaipulândia teve cerca de 179,73 km² de seu território submersos com a formação do Lago de Itaipu, consequência direta da construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Essa área alagada corresponde a aproximadamente 54% da extensão original do município, que atualmente possui um território de cerca de 330,85 km².

A Tabela 21 e a Figura 54 apresentam a evolução temporal da área de corpos d'água no município.

Tabela 21 - Variação dos valores que representam a área de corpos d'água, de 2000 a 2024

Corpo d'água		
Ano	Área (há)	Área (%)
2000	13627,08	41,79%
2005	13685,40	41,97%
2010	13659,30	41,89%
2015	13547,88	41,55%
2020	13157,10	40,35%
2025	13255,83	40,66%

Figura 54 - Análise multitemporal dos corpos d'água

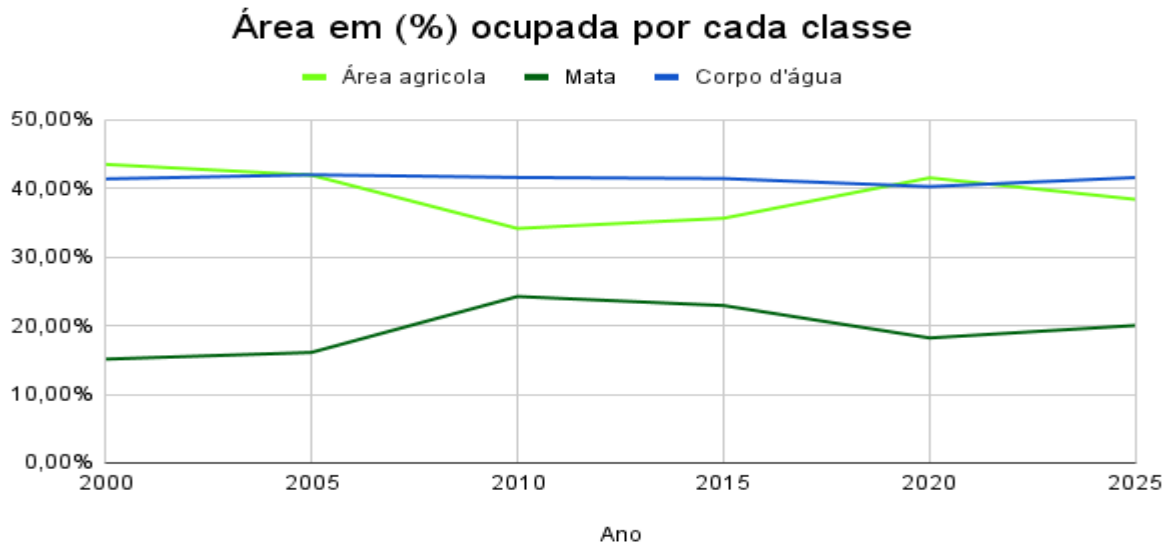


Ao longo do ano de 2000 até o ano de 2024, houve pouca variação nas áreas compostas por corpos d'água.

5.3 Média final de cada classe ao decorrer de todos os anos avaliados

Realizando uma média de todos os anos e para cada classe de classificação, obtêm-se os seguintes valores (Figura 55):

Figura 55 - Área em (%) ocupada em cada classe no período de 2000 a 2024



Por ter grande parte de seu território alagado pelo lago de Itaipu, os corpos d'água estão presentes em grande parte, totalizando uma média de 41,4% de toda a área classificada.

Já a área produtiva agrícola do município, que engloba a porção da área agrícola 19% e a área dos solos expostos 20,2%, totalizam em média 39,2% das áreas do município.

As áreas de mata, são elas, as áreas de reflorestamento, florestas plantadas (eucalipto) e principalmente compostas pelas matas ciliares que compõem as margens do lago de Itaipu, totalizam 19,4% do território do município.

5.4 Conclusão

O presente trabalho atingiu seus objetivos ao realizar uma análise multitemporal da cobertura vegetal e do uso do solo no município de Itaipulândia – PR, utilizando imagens dos satélites LANDSAT-5, LANDSAT-8 e LANDSAT-9, referentes aos anos de 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2024. A partir da análise dos resultados, foi possível quantificar e observar as variações ocorridas nas classes de solo exposto, cultura agrícola, mata e corpos d'água do município. A utilização dessas imagens atendeu ao monitoramento do desmatamento, à recuperação de áreas degradadas e também ao planejamento de áreas urbanas e rurais, contribuindo para um melhor aproveitamento futuro do território municipal, especialmente em um contexto de crescimento populacional e intensificação das atividades produtivas.

A metodologia adotada, baseada na classificação supervisionada com o uso do algoritmo de Bhattacharyya e na segmentação por regiões realizada no software SPRING, mostrou-se eficiente para a distinção das classes temáticas e para a geração de mapas com alto grau de confiabilidade. Os mapas temáticos elaborados permitiram visualizar, com clareza, a distribuição espacial das principais categorias de uso do solo e acompanhar a evolução dessas áreas ao longo dos anos analisados. Dentre os resultados, destaca-se a estabilidade da classe de corpos d'água, justificada pela presença permanente do lago de Itaipu, que ocupa grande parte da área do município. As áreas de solo exposto apresentaram variações expressivas, especialmente em 2020, possivelmente associadas ao vazio sanitário da soja, revelando a influência de práticas agrícolas sazonais sobre a paisagem. Já as áreas de cultura agrícola se mantiveram como um dos principais usos do solo, evidenciando a importância econômica da agricultura para a região. Por outro lado, a classe de mata apresentou um aumento progressivo ao longo do período analisado, o que pode estar relacionado à adoção de políticas de conservação ambiental e à regeneração natural da vegetação.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o Sensoriamento Remoto, aliado a técnicas de geoprocessamento, representa uma ferramenta fundamental para o monitoramento e a gestão do território. O uso de dados gratuitos e de fácil acesso, como os disponibilizados pelo sistema LANDSAT, demonstra ser uma alternativa viável e eficaz para acompanhar as transformações no espaço rural e urbano, especialmente em municípios com forte dependência do setor agropecuário.

A análise do uso e cobertura do solo no município de Itaipulândia, no Oeste do Paraná, revelou importantes transformações resultantes tanto de processos naturais quanto da ação antrópica, especialmente a grande área alagada pelo Lago de Itaipu. A expansão da agricultura, a presença de áreas urbanas, reflorestamentos e remanescentes de vegetação nativa demonstram a diversidade de usos do território. Com base nesses dados, destaca-se a necessidade de promover um planejamento territorial sustentável, que considere o equilíbrio entre a produção agropecuária, que é fundamental para a economia local e a conservação dos recursos naturais. A gestão adequada do uso do solo em Itaipulândia é essencial para garantir o desenvolvimento regional aliado à preservação ambiental, contribuindo para a qualidade de vida da população e a resiliência dos ecossistemas locais.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ. **Campanha Floresce Paraná conta com 21 pontos de distribuição de mudas no Estado**. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Campanha-Floresce-Parana-conta-com-21-pontos-de-distribuicao-de-mudas-no-Estado>>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- ASTH, R. C. **Espectro eletromagnético: o que é, frequências e comprimentos de onda**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- CERQUEIRA, J. M. A. et al. Análise da Cobertura e Uso da Terra no Contexto de Bacias Hidrográficas do Semiarido de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2021, Campinas. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2021. p. 418-422. Disponível em: <http://www.inpe.br/sbsr/anais/sbsr2021/pdfs/SBSR2021_0418_0422.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.
- CHAVES, B. J. et al. Análise da Cobertura e Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Palmital, Gurupi-TO. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e4469108343, 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8343>>. Acesso em: 10 maio 2025.
- ENGESAT. **Resolução, o que é exatamente?** Disponível em: <<https://www.engesat.com.br/resolucao-o-que-e/>>. Acesso em: 27 maio 2023.
- FERREIRA, G. S. et al. Uso e ocupação do solo e sensoriamento remoto aplicado à bacia do Rio Una, sul da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 380-386, 2008.
- FIDALGO, E. C. C. (s/d). **Uso de Imagens de Satélite para o Estudo do Uso da Terra e Sua Dinâmica**.
- FITZ, P. R. **Cartografia básica**. Oficina de Textos, 2008.
- GALO, M. L. B. T. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto II**. Notas de aula de Sensoriamento Remoto II. Presidente Prudente: UNESP, Departamento de Cartografia, 2011.
- IAT. Instituto Água e Terra. **Solicitação e distribuição de mudas nativas no Paraná**. Disponível em: <<https://www.aguaterra.pr.gov.br/>>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sensoriamento remoto: satélite ilustrando sensor passivo captando radiação solar refletida. In: **Atlas Geográfico Escolar**. Portal IBGE, 2025. Disponível em <<https://atlascolar.ibge.gov.br/cartografia/21735-sensoriamento-remoto.html>>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2022: primeiros resultados de População e Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22408-censo-demografico-2022.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 10 maio 2025.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto TerraClass Cerrado 2018: Monitoramento do desmatamento no Bioma Cerrado**. São José dos Campos: INPE, 2018. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/apresentacao.php>>. Acesso em: 10 maio 2025.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em: 30 de jun 2025.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto da vegetação. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphany (coord.) et al. São José dos Campos: Parêntese, p. 357-410, 2009.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Editora UFV, 2011

PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S.; SANTOS, A. R. **Spring 5.1.2 Passo a Passo e Aplicações Práticas**. Mundo da Geomática. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_Spring_5.1.2_Aplicacoes_Praticas/Livro_SPRING_512_PassoaPasso_Aplica%C3%A7%C3%A3o_Pr%C3%A1tica.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

PREFEITURA DE ITAIPULÂNDIA. **Programa Agroforte subsidia 56 agricultores do município**. Itaipulândia, 2024. Disponível em: <https://www.itaipulandia.pr.gov.br/noticias_individual/4160>. Acesso em: 2 jun. 2025.

PREFEITURA DE ITAIPULÂNDIA. **Secretaria Municipal de Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.itaipulandia.pr.gov.br/secretarias/meio-ambiente>>. Acesso em: 2 jun. 2025.

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

RODRIGUES, L. F. et al. Mapeamento do uso e cobertura da terra no Parque Estadual do Rio Doce (MG) e região de amortecimento entre 2000 e 2019. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 45, e4502, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/L7gJt9tNf9vXgGgGjJt9fQ/?lang=pt>>. Acesso em: 10 maio 2025.

SILVA, E. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto I**. Notas de aula de Sensoriamento Remoto I. Presidente Prudente: UNESP, Departamento de Cartografia, 2011.

SPRING. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2025.