



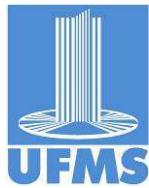
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
– FAENG
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental



Análise Multitemporal da Cobertura Vegetal de Unidade Conservação mediante Classificação Supervisionada

Natália Marques de Carvalho dos Santos

CAMPO GRANDE – MS
Novembro de 2025



Curso de Graduação em Engenharia Ambiental / UFMS



Análise Multitemporal da Cobertura Vegetal de Unidade Conservação mediante Classificação Supervisionada

Natália Marques de Carvalho dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso como parte da avaliação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

Campo Grande – MS
Novembro de 2025



Análise Multitemporal da Cobertura Vegetal de Unidade Conservação mediante Classificação Supervisionada

Natália Marques de Carvalho dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso como parte da avaliação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Aprovado em 28 de novembro de 2025.

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho
Orientador – FAENG/UFMS

Prof. Dr. Alisson André Ribeiro
Membro – PPGRN/UFMS

Prof. Dr. Roberto Macedo Gamarra
Orientador – PPGRN/UFMS

Campo Grande – MS
Novembro de 2025

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família, por todo amor,
apoio e incentivo incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio constante, carinho e incentivo ao longo de toda a minha trajetória. Em especial, aos meus pais, meu irmão, minha avó Maria Helena, Tia Gi, Mari e minha prima Gabi, pela presença, compreensão e confiança em cada etapa deste percurso.

Às minhas amigas Brenda, Luiza, Thaysa e Samanda, pela amizade, companheirismo e por tornarem essa jornada mais leve e especial.

Ao Laboratório de Geoprocessamento (LabGIS), pela oportunidade de aprendizado e pelas valiosas experiências compartilhadas.

E ao Prof. Antonio Conceição Paranhos Filho, meu orientador, pela orientação, dedicação e contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos, registro o meu sincero agradecimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-bacia do Rio APA, Município de Caracol – MS.	14
Figura 2 – Área de estudo.....	16
Figura 3- Composição falsa cor das imagens Landsat 5 (2007) e Landsat 9 (2024).....	17
Figura 4 - Mapas de classificação da cobertura vegetal da APA Municipal da Sub-bacia do Rio Apa e entorno, 2007 e 2024, obtido pelo classificador Distância Mínima.....	20
Figura 5 - Mapas de classificação da cobertura vegetal da APA Municipal da Sub-bacia do Rio Apa e entorno, 2007 e 2024, obtido pelo classificador Spectral Angle Mapper.	21
Figura 6 – Gráfico quantitativo e comparativo da cobertura vegetal pelo classificador Distância Mínima	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes temáticas da cobertura vegetal.	18
Tabela 2 - Acurácia dos Classificadores.....	21

LISTA DE SIGLAS

APA – Área de Proteção Ambiental

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMASUL – Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul

MD – Distância Mínima

QGIS - Geographic Information System

SAM - Spectral Angle Mapper

SIG - Sistemas de informação geográfica

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UC – Unidade de Conservação

UCs – Unidades de Conservação

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	METODOLOGIA.....	14
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4	CONCLUSÃO.....	Erro! Indicador não definido.
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

As Unidades de Conservação representam instrumentos fundamentais de preservação ambiental. Nesse contexto, esta pesquisa analisou a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal da Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-bacia do Rio Apa entre os anos de 2007 e 2024, por meio de técnicas de geoprocessamento. Para tanto, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 9 (USGS, 2024), processadas no software QGIS com o uso do *plugin* Semi-Automatic Classification (Congedo, 2021; QGIS.org, 2025), aplicando-se o método de classificação supervisionada Distância Mínima, complementado pelo Spectral Angle Mapper. A acurácia foi avaliada por meio de matriz de confusão, permitindo a obtenção da acurácia global e do coeficiente Kappa. Os resultados apontaram redução das formações florestais de 6,63% para 4,60% e da vegetação de cerrado de 18,30% para 14,09%, concomitantemente ao aumento das pastagens de 72,72% para 77,04% e dos solos expostos de 1,00% para 2,70%, esses dados evidenciaram o avanço de usos agropecuários sobre áreas nativas. A análise revelou que a Área de Proteção Ambiental segue tendência similar às regiões de entorno. Embora a unidade ainda mantenha relevância ambiental regional, os dados sugerem a necessidade de reforço nas políticas públicas voltadas ao manejo e fiscalização, bem como a continuidade do monitoramento por geotecnologias, que se mostraram ferramentas eficazes e acessíveis para o acompanhamento da cobertura vegetal em Unidades de Conservação.

Palavras-chave: Geotecnologias, sensoriamento remoto, monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Conservation Units represent fundamental instruments for environmental preservation. In this context, this research analyzed the spatio-temporal dynamics of vegetation cover in the Municipal Environmental Protection Area of the Apa River Sub-basin (Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-bacia do Rio Apa) between 2007 and 2024, using remote sensing and geoprocessing techniques. For this purpose, Landsat 5 and Landsat 9 satellite images (USGS, 2024) were used, processed in QGIS software with the Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2021; QGIS.org, 2025), applying the Minimum Distance supervised classification method, complemented by Spectral Angle Mapper. Accuracy was evaluated using a confusion matrix, allowing the determination of overall accuracy and the Kappa coefficient. The results indicated a reduction in forest formations from 6.63% to 4.60% and in cerrado vegetation from 18.30% to 14.09%, concomitantly with an increase in pastures from 72.72% to 77.04% and exposed soils from 1.00% to 2.70%. These data evidenced the advance of agricultural uses over natural areas. An analysis revealed that the Environmental Protection Area follows a similar trend to the surrounding regions. Although the unit still maintains regional ecological relevance, the data suggest the need to strengthen public policies external to management and enforcement, as well as the continuity of monitoring using geotechnologies, which have proven to be effective and accessible tools for monitoring vegetation cover in Conservation Units.

Keywords: Geotechnologies, Remote Sensing, Supervised Classification, Environmental Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação (UCs) representam instrumentos fundamentais para a preservação da biodiversidade, manutenção dos serviços ecossistêmicos e promoção do uso sustentável dos recursos naturais. No Brasil, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985/2000, estabelece diretrizes para o manejo, proteção e monitoramento desses espaços, reconhecendo seu papel estratégico na mitigação das mudanças climáticas e no controle da expansão antrópica desordenada sobre ecossistemas frágeis (Brasil, 2000).

Diante desse cenário, o monitoramento da cobertura vegetal em UCs é prática essencial para a compreensão da dinâmica da paisagem e para o planejamento de ações de gestão ambiental. A cobertura vegetal atua como reguladora dos processos ecológicos, protegendo o solo contra a erosão, contribuindo para a infiltração e recarga hídrica, além de sustentar a fauna e flora locais (Miura et al., 2015). Análise sistemática de sua variação ao longo do tempo fornece subsídios técnicos para a avaliação de impactos decorrentes de pressões antrópicas, como desmatamento, avanço agropecuário e queimadas, que frequentemente ameaçam a integridade das UCs.

Com o avanço das geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), tornou-se possível realizar o mapeamento e a quantificação de mudanças na cobertura do solo com elevada precisão e baixo custo (Shimabukuro, Novo, Ponzoni, 1998). Essas ferramentas, quando aplicadas a análises multitemporais, permitem identificar padrões de degradação e regeneração da vegetação.

O geoprocessamento integra um conjunto de tecnologias voltadas à coleta, tratamento análise de dados espaciais, permitindo a representação e a modelagens ambientais (Paranhos Filho et al., 2020). Conforme sua aplicação no contexto ambiental, possibilita o monitoramento de áreas degradadas, análise de bacias hidrográficas, gestão de recursos naturais e suporte à tomada de decisão de políticas ambientais. Dessa maneira, a detecção e quantificação das mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo são essenciais para subsidiar ações de fiscalização, recuperação e planejamento.

O sensoriamento remoto consiste na obtenção de informações, com o uso de sensores, sobre alvos sem contato físico, através da detecção e interpretação da radiação eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre (Lillesand, Kiefer, Chipman, 2015). Essa radiação, ao interagir com os elementos da superfície terrestre, gera padrões específicos, denominados

assinaturas espectrais, que permitem distinguir diferentes tipos de cobertura (Paranhos Filho, 2008).

Entre os sistemas orbitais, a série Landsat se destaca por fornecer o mais extenso registro histórico contínuo de observações da Terra. Conforme USGS, o Landsat 5, equipado com o sensor Themactic Mapper (TM), e o Landsat 9, com o sensor Operational Land Imager -2 (OLI -2), permitem análises multitemporais de elevada confiabilidade, com resolução espacial de 30 metros e ampla cobertura espectral que abrange as regiões do visível ao infravermelho de ondas curtas.

A classificação supervisionada é um método de processamento digital de imagens amplamente utilizado em estudos de sensoriamento remoto para identificar e mapear diferentes tipos de cobertura e uso da terra. Segundo Moreira (2003), esse processo consiste em rotular cada pixel da imagem conforme sua ocupação do solo, utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais. O processo de classificação supervisionada requer o uso de algoritmos capazes de distinguir diferentes comportamentos espectrais, como os métodos de Distância Mínima e Spectral Angle Mapper (Barbosa Vale et al., 2018).

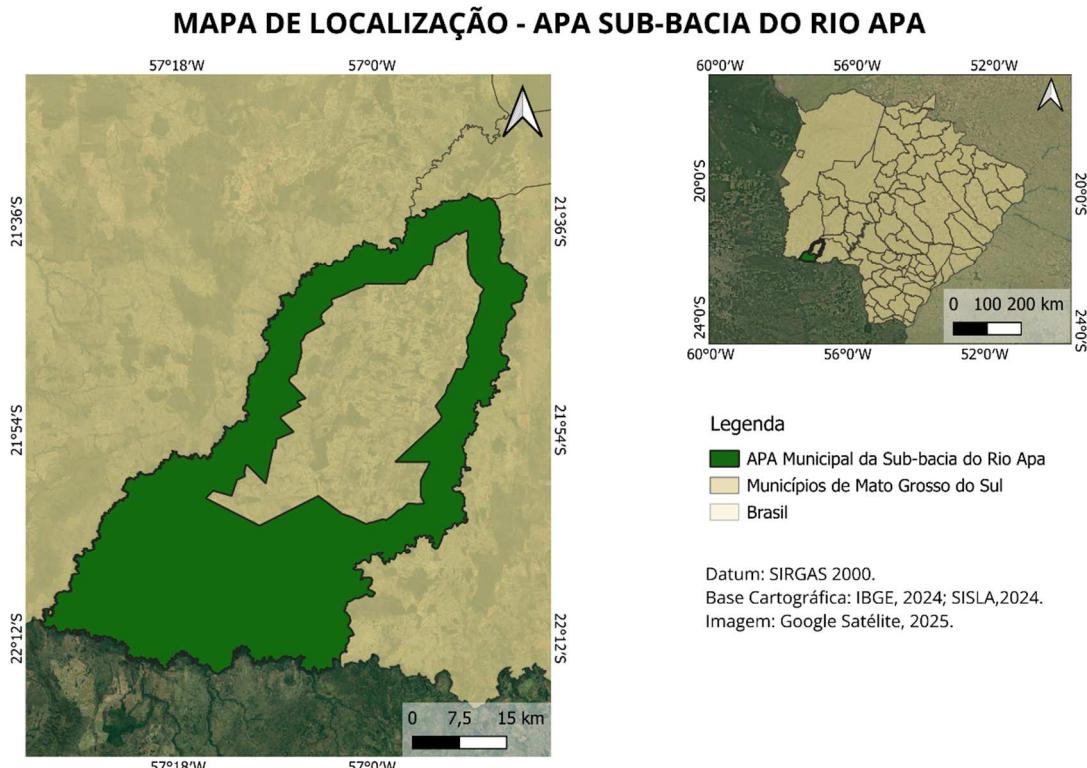
A análise multitemporal busca identificar e quantificar variações espaciais ocorridas entre diferentes períodos, permitindo compreender os processos de transformação ambiental. A Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-bacia do Rio Apa, localizada no município de Caracol (MS), foi criada com o propósito de conservar a biodiversidade e promover o desenvolvimento sustentável. Entretanto, a região vem sofrendo intensas pressões de origem antrópica, como o uso intensivo de agroquímicos, desmatamento de áreas legalmente protegidas e processos erosivos intensificados pela compactação do solo e uso indevido de encostas e margens de cursos d'água (Oliveira et al., 2013). Assim, a análise multitemporal da cobertura vegetal constitui ferramenta indispensável para o entendimento da dinâmica ambiental da APA e para formulação de políticas públicas de conservação e recuperação.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na Unidade de Conservação Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-bacia do Rio APA, por meio de ferramentas de geotecnologias ambientais.

2 METODOLOGIA

A área de estudo compreende a Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal da Sub-bacia do Rio Apa, localizada no município de Caracol, Mato Grosso do Sul (Figura 1). Instituída pelo Decreto Municipal nº 052 de 2009, esta unidade de conservação de uso sustentável abrange uma área de 195.421,67 hectares, ocupando uma porção significativa do território municipal.

Figura 1 - Localização da Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-bacia do Rio APA, Município de Caracol – MS.



Fonte: Base cartográfica – IBGE, 2024; SISLA, 2024; Imagem – Google Satélite, 2025.

A APA está inserida predominantemente no bioma Cerrado, com uma parcela em área de transição para o Pantanal, além de influência ecológica do Chaco Brasileiro. Essa confluência biogeográfica confere à região um caráter de ecótono, caracterizado por uma notável heterogeneidade ambiental e alta biodiversidade, manifestada em um mosaico de formações vegetais savânicas, campestres e florestais, condicionadas por fatores edáficos e geomorfológicos (Oliveira et al., 2013).

A paisagem da unidade, no entanto, é dinâmica e encontra-se sob constante pressão de atividades antrópicas, notadamente a expansão da fronteira agrícola e a pecuária. Essas atividades, resultam em processos de fragmentação de habitats, desmatamento e degradação de recursos hídricos (Oliveira et al., 2013). Neste contexto, a análise do entorno da APA é

fundamental, uma vez que as atividades desenvolvidas em sua zona de influência impactam diretamente a integridade ecológica da unidade de conservação.

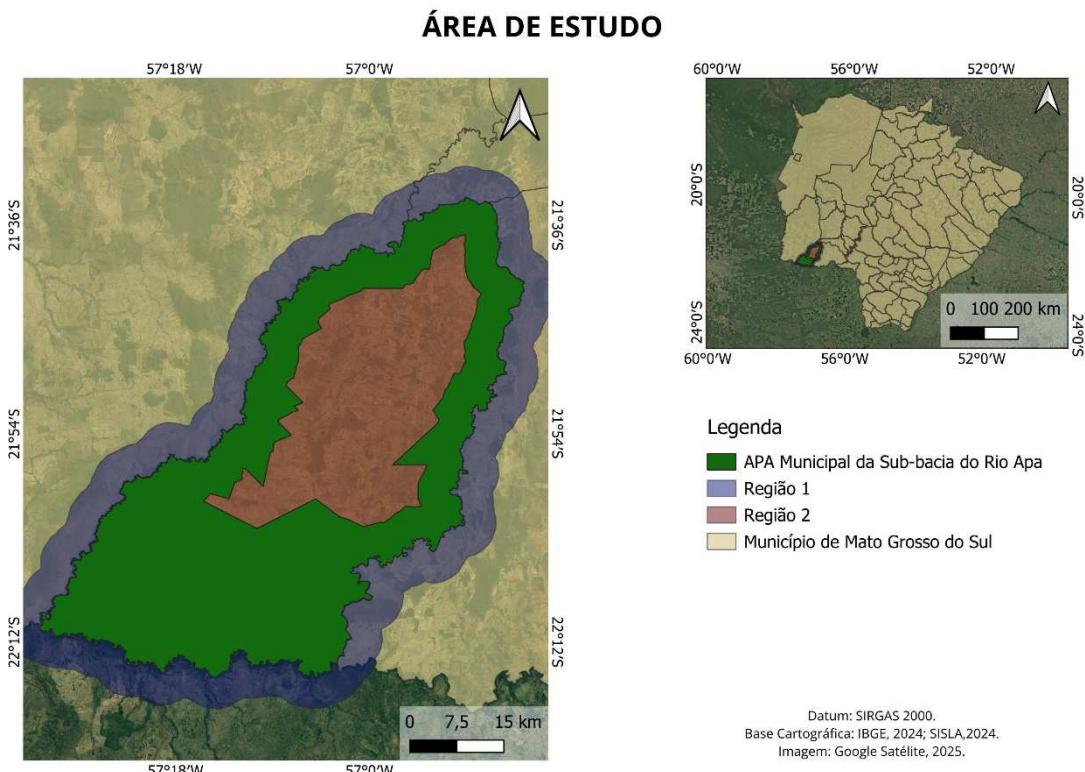
Para a análise multitemporal da cobertura vegetal, foram utilizadas imagens de satélite da série Landsat, disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS). Foi utilizada uma imagem do satélite Landsat 5 sensor Thematic Mapper (TM), datada de 2 de setembro de 2007, e uma imagem do satélite Landsat 9 sensor Operational Land Imager 2 (OLI-2), referente à 08 de setembro de 2024. As bandas espectrais utilizadas abrangem as faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, permitindo discriminar diferentes tipos de alvos superficiais. As imagens foram selecionadas priorizando aquelas com menor cobertura de nuvens, obtidas durante o período seco.

A escolha destes períodos permite a comparação da cobertura vegetal antes da criação da APA (2007) e dezessete anos após sua instituição, fornecendo um panorama de longo prazo sobre os efeitos da implementação da unidade de conservação.

Para identificar e mapear os diferentes tipos de cobertura vegetal da UC, foi empregada a técnica de classificação supervisionada de imagens orbitais, a qual se baseia na análise dos padrões espectrais obtidos por sensores multiespectrais e números digitais (Crósta, 1992). O processo é balizado pela compreensão da interação entre a energia eletromagnética e os materiais de superfície. Em termos conceituais, a classificação, neste contexto, constitui o processo de vinculação de cada pixel da imagem a uma classe ou conjunto de classes predefinidas, fundamentando-se nas propriedades espectrais observadas (Figueiredo, 2005).

A análise multitemporal utilizando a classificação supervisionada foi conduzida para identificar e quantificar as mudanças na cobertura vegetal na Unidade de Conservação (UC) e em seu entorno. Para tanto, a área de estudo foi compartimentada em três regiões distintas: a própria UC, delimitada pelos seus limites oficiais, a Região 1, constituída por uma zona de 5 km adjacente aos limites externo da UC; e a Região 2, correspondente a uma área contígua ao limite interno da APA, porém externa a sua delimitação, conforme exposto na Figura 2.

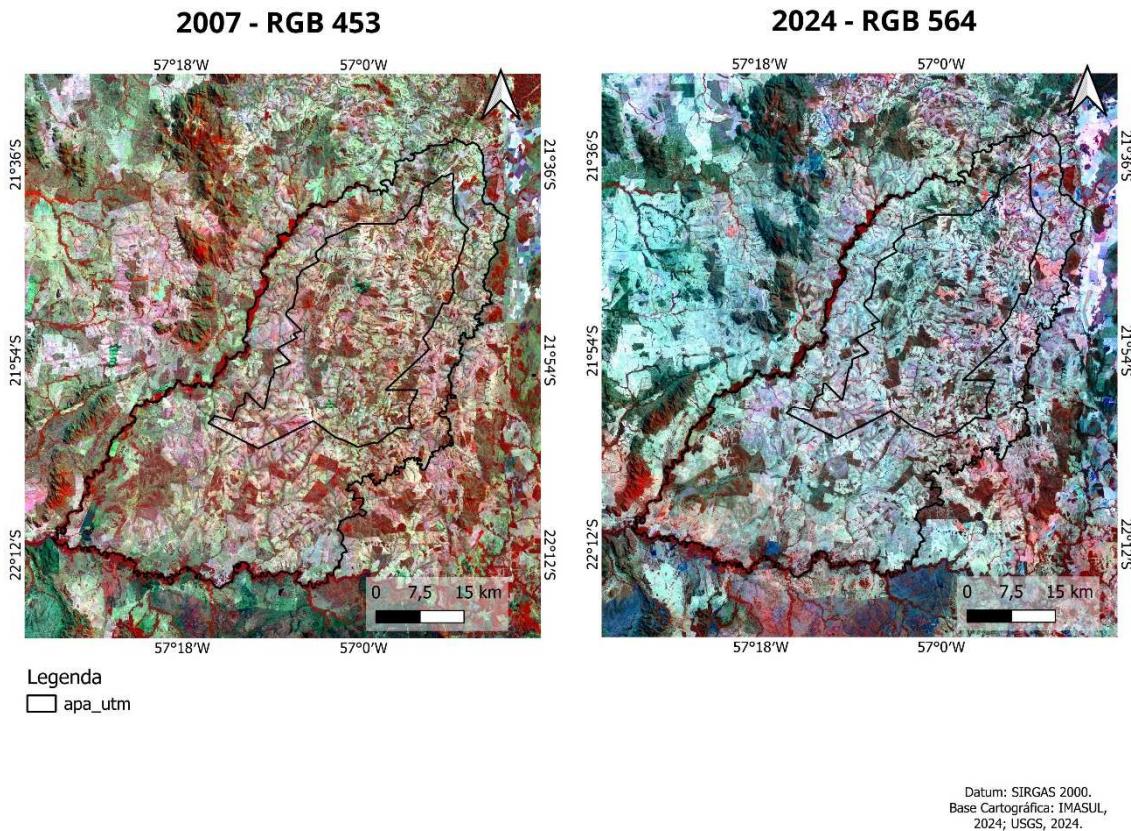
Figura 2 – Área de estudo.



Fonte: Base cartográfica – IBGE, 2024; SISLA, 2024; Imagem – Google Satélite, 2025.

Conforme Paranhos Filho et al. (2020), a classificação supervisionada consiste em um processo no qual o pesquisador define áreas de treinamento representativas das classes de interesse, como vegetação, corpos hídricos, solos expostos e áreas antrópicas, que servem de referência para que o algoritmo realize a reclassificação estatística da imagem. Com o intuito de facilitar a fotointerpretação e a seleção das áreas de treinamento, foram produzidos recortes em composição falsa cor (Figura 3). Para a imagem Landsat 5 do ano de 2007 foi utilizada a composição falsa cor RGB 453, e para a imagem Landsat 9 do ano de 2024, utilizou-se a composição RGB 564, ambas enfatizam o vigor vegetativo e permite distinguir áreas úmidas e de solo exposto.

Figura 3- Composição falsa cor das imagens Landsat 5 (2007) e Landsat 9 (2024).



Fonte: Arquivos vetoriais: IMASUL, 2024; Imagens de satélite: USGS, 2024.

A classificação supervisionada foi realizada no plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), ferramenta amplamente utilizada em análises de sensoriamento remoto por integrar etapas de pré-processamento, classificação e pós-processamento em ambiente SIG. O SCP permite importar as bandas espectrais, definir amostras de treinamento e aplicar diferentes algoritmos de classificação (Congedo, 2021).

Para execução das classificações, foram empregados os algoritmos Distância Mínima (MD) e Spectral Angle Mapper (SAM). Esses métodos foram escolhidos por sua robustez e aplicabilidade em estudos de sensoriamento remoto.

O método da Distância Mínima (MD) baseia-se na comparação da distância euclidiana entre o vetor espectral de cada pixel e a média espectral das amostras de treinamento. O algoritmo atribui o pixel à classe cuja média estiver mais próxima no espaço espectral (Borges, Silva, Castro, 2007). Por sua vez, o classificador Spectral Angle Mapper (SAM) é o método angular que mede a similaridade entre os espectros dos pixels da imagem e as assinaturas espectrais de referência. Ele calcula o ângulo espectral formado entre o vetor de reflectância de um pixel e o vetor médio da classe de treinamentos (Kruse et al. 1993).

As classes temáticas de uso e cobertura da terra foram adaptadas de Paranhos Filho (2000), ajustadas à área de estudo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes temáticas da cobertura vegetal.

Classe	Legenda dos mapas	Descrição
Lat1 – Latossolo 1	1 - Latossolo 1	Primeiro tipo de latossolo exposto. Geralmente terrenos arados, correspondendo a zonas agrícolas.
Lat2 – Latossolo 2	2 - Latossolo 2	Segundo tipo de latossolo arado. Mesmo tipo de solo da classe Lat1, porém com resposta espectral diferente (azul mais claro nas composições). Também corresponde a zonas agrícolas.
For1 – Floresta 1	3 - Floresta	Primeiro tipo de floresta identificada, normalmente com maior biomassa, áreas densas e matas ciliares (matas galeria). Apresenta vermelho vivo nas composições.
For2 – Floresta 2	4 - Cerradão	Segundo tipo de floresta, geralmente áreas de cerradão e matas menos densas, com menor biomassa que For1.
Cv – Vegetação Arbóreo-Arbustiva	5 - Vegetação Arbustiva	Representa áreas de cerrado, com vegetação arbustiva e arbórea típica.
Rif – Refletantes	6 - Refletantes	Áreas com alta refletância em todas as bandas, aparecendo brancas nas imagens. Geralmente campos baixos ou afloramentos rochosos/solo arenoso.
Ver1 – Verde 1	7 - Pradaria baixa	Primeiro tipo de campos, com vegetação baixa e resposta em verde claro, correspondendo a campos e pastos baixos.
Ver2 – Verde 2	8 - Pradaria alta e seca	Segundo tipo de campos, com vegetação mais alta e verde escuro. Podem ocorrer arbustos secos.
Sujo	9 - Campo Sujo	Campos com vegetação arbustiva de pequeno porte esparsa, caracterizando campo “sujo”.
Cel – Azul Celeste	10 - Pradaria baixa e seca	Campos baixa e normalmente seca. Nas imagens, quanto mais clara a cor, menor a vegetação e mais visível o substrato.
Pv – Pradaria Verde	11 - Pradaria verde	Campos com vegetação mais verde no visível, aparecendo alaranjado nas composições.
Rios e corpos aquosos	12 - Rios e áreas úmidas	Corpos d’água, como rios, lagoas e outros corpos aquosos.

Fonte: Adaptado de Paranhos Filho, 2000.

Após o processamento de classificação, foi realizada a avaliação da acurácia dos resultados. A validação foi conduzida com base na matriz de erro (ou matriz de confusão), gerada pelo próprio plugin SCP (Congedo, 2021), que compara os valores classificados com amostras independentes de referência, que permite quantificar os acertos e erros de cada classe.

A precisão da classificação foi avaliada pelos índices Overall Accuracy (Acurácia Global), este foi calculado pela razão entre o número total de pixels corretamente classificados e o número total de pixels avaliados. Quanto mais próximo de 100% mais precisa é a classificação (Santos, De Lima, 2018). A análise dos erros auxiliou na verificação detalhada da confiabilidade dos resultados obtidos.

Complementarmente, foi calculado o coeficiente Kappa, conforme Cohen (1960), considera todos os elementos da matriz de confusão e avalia o grau de concordância entre a classificação e os dados de referência, descontando os acertos ocorridos por acaso. O coeficiente Kappa varia de 0 a 1, sendo que resultados próximos de 1 indicam elevada concordância e precisão.

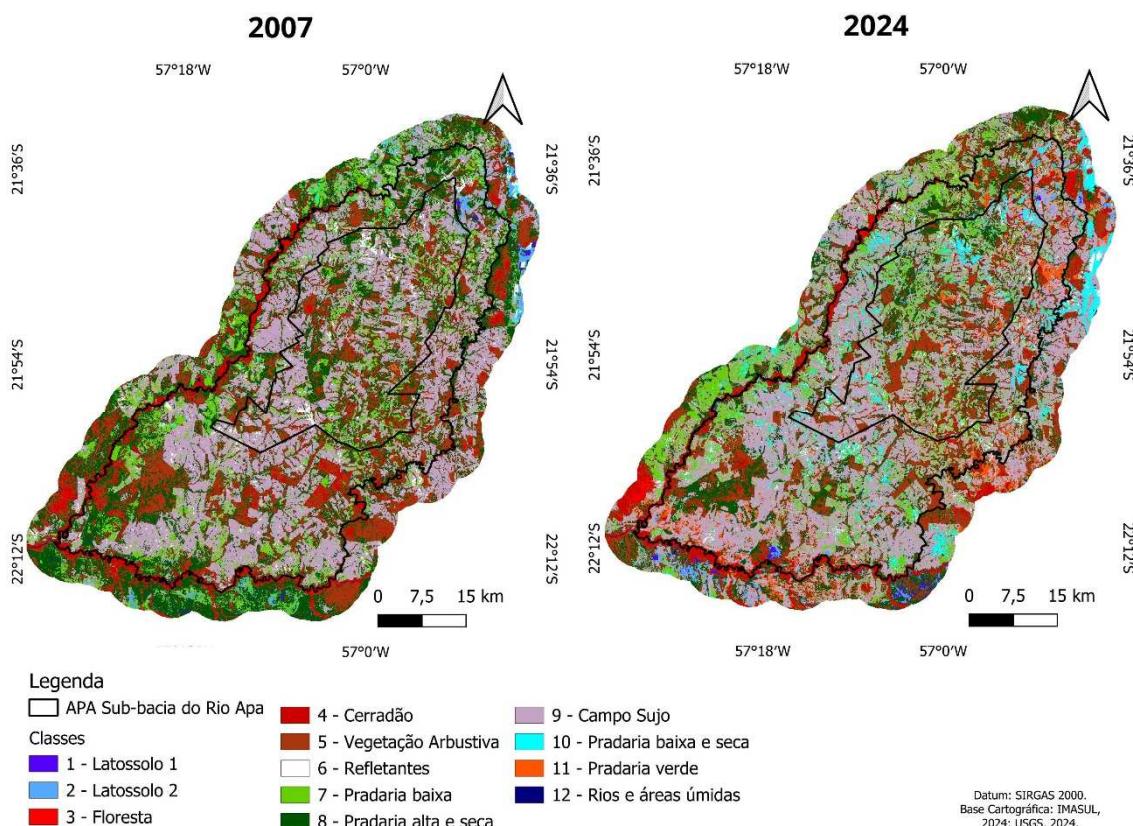
Essa abordagem permitiu avaliar comparativamente o desempenho dos classificadores Distância Mínima e Spectral Angle Mapper, garantindo confiabilidade dos resultados obtidos e a adequada representação espacial das diferentes classes de cobertura vegetal nas imagens Landsat 5 (2007) e Landsat 9 (2024).

Todo o processamento das imagens, incluindo a composição falsa cor, classificação supervisionada, o recorte da área de estudo e a geração dos produtos cartográficos, foi realizado utilizando o software QGIS 3.40 Bratislava (QGIS.org, 2025), um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto amplamente utilizado para análise e visualização de dados espaciais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

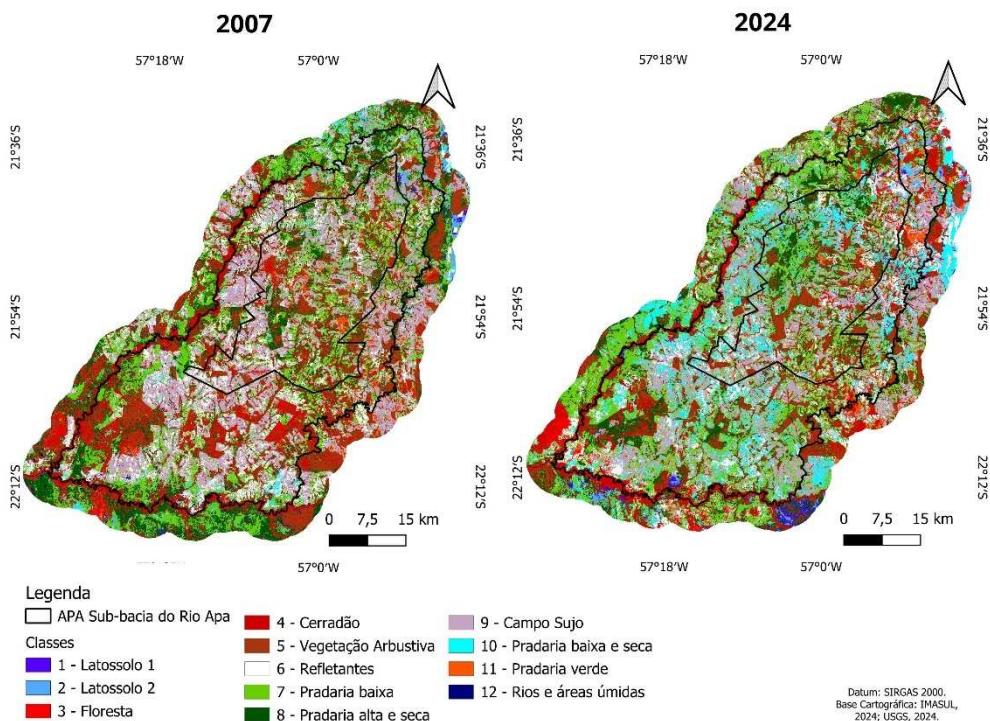
A classificação supervisionada das imagens Landsat 5 (2007) e Landsat 9 (2024) permitiu a elaboração dos mapas temáticos de cobertura vegetal para os anos de 2007 e 2024, abrangendo a Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal da Sub-bacia do Rio APA e suas regiões de entorno (Região 1 e Região 2), além de identificar e quantificar as mudanças ocorridas ao longo de 17 anos. Os mapas temáticos gerados, Figura 4 e Figura 5, evidenciam a dinâmica espaço-temporal da vegetação, refletindo a transição entre formações nativas e áreas antrópicas, tanto na Unidade de Conservação (UC), quanto nas zonas de entorno.

Figura 4 - Mapas de classificação da cobertura vegetal da APA Municipal da Sub-bacia do Rio Apa e entorno, 2007 e 2024, obtido pelo classificador Distância Mínima.



Fonte:IMASUL, 2024; USGS, 2024.

Figura 5 - Mapas de classificação da cobertura vegetal da APA Municipal da Sub-bacia do Rio Apa e entorno, 2007 e 2024, obtido pelo classificador Spectral Angle Mapper.



Fonte: IMASUL, 2024; USGS, 2024.

Os resultados de acurácia demonstraram que ambos os classificadores apresentaram bom desempenho, com índices elevados de confiabilidade dos produtos cartográficos, conforme demonstra a Tabela 2. O método da Distância Mínima apresentou Acurácia Global de 90,48% para o ano de 2007, e 91,74% em relação ao ano de 2024, enquanto o Spectral Angle Mapper obteve 86,92% em 2007 e 90,10% em relação ao ano de 2024, todos com coeficiente Kappa acima de 0,84, o que indica excelente concordância (Cohen, 1930).

Tabela 2 - Acurácia dos Classificadores

Ano	Classificador	Acurácia Global	Coeficiente
			Kappa
2007	Distância Mínima	90,48	0,8837
2007	Spectral Angle Mapper	86,92	0,8449
2024	Distância Mínima	91,74	0,9031
2024	Spectral Angle Mapper	90,1	0,8883

Esses resultados confirmam que os algoritmos empregados foram adequados para o tipo de dado utilizado e para a escala de análise proposta. O desempenho superior do classificador Distância Mínima decorre de sua eficiência em ambientes homogêneos, enquanto o Spectral Angle Mapper apresentou melhor resposta em áreas de vegetação heterogênea, uma vez que o cálculo do ângulo espectral permite maior discriminação de variações sutis entre classes de vegetação e de uso do solo (Kruse et al., 1993; South, Qi, Loush, 2004).

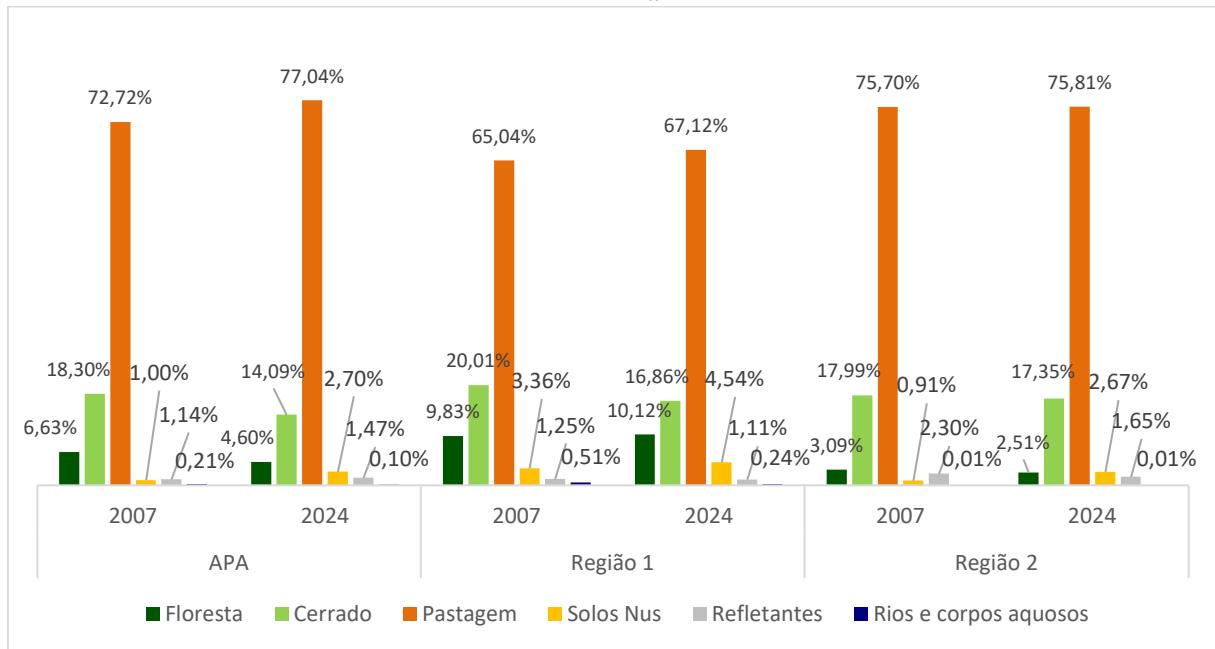
Essa confiabilidade metodológica, aliada à etapa de pré-processamento das imagens, assegurou a comparabilidade temporal dos dados e a coerência entre as classificações de 2007 e 2024. Assim, foi possível interpretar com segurança os padrões espaciais e temporais de modificação da cobertura vegetal, conforme os princípios discutidos na fundamentação teórica sobre sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao monitoramento ambiental (Lillesand, Kiefer, Chipmam, 2015).

Os resultados obtidos a partir dos algoritmos Mínima Distância (MD) e Spectral Angle Mapper (SAM) apresentaram coerência entre si. A comparação entre os métodos demonstrou complementaridade metodológica. De maneira geral, ambos os classificadores apresentaram alta convergência nos resultados quantitativos, diferindo apenas em áreas de transição ou mosaicos de vegetação. Essa consistência reforça a validade do procedimento de classificação supervisionada e demonstra que a metodologia adotada, fundamentada no uso das bandas espectrais Landsat e no plugin SCP (Congedo, 2021; USGS, 2024), é adequada para o monitoramento multitemporal da cobertura vegetal em escalas regionais.

As classes temáticas foram reagrupadas em conjuntos ecológicos para facilitar a análise integrada: Floresta (For1 e For2), Cerrado (Cv), Pastagens (Ver1, Ver2, Cel, Pv e Sujo), Solos Expostos (Lat1 e Lat2), Áreas Refletantes (Rif) e Rios e corpos Aquosos (Fiu). Essa categorização permite compreender as mudanças considerando as semelhanças funcionais e espectrais entre as classes originais (Paranhos Filho, 2000).

Em 2007, conforme exposto na Figura 6, a paisagem da APA apresentava predominância de formações campestres e de cerrado, com uma participação expressiva de Pastagens (72,72%), seguida por Cerrado (18,30%) e Floresta (6,63%). Em 2024, essa composição alterou-se para 77,04% de pastagens, 14,09% de cerrado e 4,60% de florestas, evidenciando um processo contínuo de substituição das formações nativas mais densas por áreas de uso agropecuário e vegetação aberta.

Figura 6 – Gráfico quantitativo e comparativo da cobertura vegetal pelo classificador Distância Mínima



A redução das formações florestais foi evidente tanto na APA, quanto nas regiões de entorno (Região 1 e Região2). A substituição das formações florestais (For1 e For2) por pastagens e solos expostos reflete a expansão de atividades agropecuárias e, possivelmente, a fragilidade na aplicação de medidas de proteção ripária, apontada no Plano de Manejo da unidade (Oliveira et al., 2013). Esse comportamento indica que as formações florestais apresentam maior vulnerabilidade à fragmentação decorrente de usos extensivos da terra.

Em contrapartida, as pastagens, compreendendo as classes Ver1, Ver2, Cel, Pv e Sujo, representaram o grupo mais dinâmico ao longo do período estudado. A expansão dessas formações está associada à intensificação da pecuária, uma das principais atividades econômicas do município de Caracol. Entre 2007 e 2024, as áreas classificadas como pastagens cresceram aproximadamente 4% dentro da APA e mais de 3% em suas zonas de entorno, substituindo tanto o Cerrado quanto áreas anteriormente florestadas.

A ampliação das áreas de Campo Sujo e Campos Secos (Cel) reflete o uso intensivo do solo e o manejo inadequado de pastagens, favorecendo processos erosivos e o aumento da carga sedimentar em cursos d’água. Os resultados estão em conformidade com o diagnóstico do Plano de Manejo da APA do Rio Apa, que aponta como principais ameaças à integridade da unidade a conversão de áreas nativas em pastagens e o avanço da fronteira agropecuária (Oliveira et al., 2013).

O agrupamento Solos Expostos (Lat1 e Lat2) apresentou aumento expressivo em todas

as regiões analisadas. Dentro da APA, o crescimento foi de 1,0% para 2,7%, enquanto no entorno e nas áreas intermediárias os valores ultrapassaram 3,5%. Esse incremento indica maior intensidade de preparo agrícola e revolvimento do solo, com implicações diretas na erosão e no aporte de sedimentos aos corpos hídricos.

As áreas refletantes (Rif), associadas a solos arenosos e afloramentos rochosos, permaneceram praticamente estáveis, variando de 1,1% a 1,5%, o que indica que essas feições não sofreram alterações significativas. No entanto, a proximidade entre áreas de solo exposto e canais de drenagem aponta para um risco potencial de assoreamento, já observado em trechos da sub-bacia, segundo Oliveira et al. (2013).

A intensificação do uso agrícola na periferia da APA reforça a necessidade de gestão integrada entre áreas protegidas e zonas produtivas, uma vez que os impactos gerados no entorno, como erosão, compactação e escoamento superficial, influenciam diretamente a efetividade ecológica da unidade de conservação.

A classe de rios e corpos aquosos, apresentou uma pequena redução de 0,21% em 2007 para 0,10% em 2024 dentro da APA. Essa variação pode estar relacionada não apenas a fatores sazonais, mas também à mudança na qualidade da água e ao aumento da turbidez decorrente do carreamento de sedimentos oriundos das áreas agrícolas vizinhas.

O Plano de Manejo da unidade já indicava a presença de processos erosivos lineares e assoreamento de canais fluviais nas zonas de contato com propriedades rurais (Oliveira et al., 2013). Dessa forma, os resultados deste estudo reforçam a necessidade de ações preventivas voltadas à recuperação de matas ciliares, ao controle do escoamento superficial e à redução de fontes difusas de sedimentos, fundamentais para a manutenção da qualidade hídrica da sub-bacia.

Os resultados obtidos corroboram as observações do Plano de Manejo da APA, que identifica pressões antrópicas crescentes e fragmentação da cobertura vegetal. A perda de formações florestais e de cerrado, associada ao aumento de pastagens e solos expostos, confirma a intensificação da conversão do uso do solo e a fragilidade da proteção efetiva da área.

Ainda que a APA mantenha importância ecológica ao conservar remanescentes nativos e trechos ciliares, o comportamento similar ao do entorno a ineficiência da UC como instrumento de conservação. A continuidade desse processo pode comprometer a conectividade

ecológica, aumentar a vulnerabilidade à erosão e reduzir a oferta de serviços ambientais, como regulação hídrica e controle da sedimentação.

A correlação entre os resultados deste estudo e as diretrizes do Plano de Manejo demonstra que, a pressão exercida por atividades agropecuárias e o manejo inadequado do solo continuam sendo desafios críticos. Assim, os resultados reforçam a necessidade de ações integradas, como o monitoramento multitemporal da cobertura vegetal, aliado a práticas de manejo sustentável e recuperação de áreas degradadas. Essas estratégias configuram como ferramenta essencial para a gestão adaptativa da APA, garantindo a preservação de seus recursos naturais e a manutenção da funcionalidade ecológica da sub-bacia do Rio Apa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo realizou uma análise multitemporal da cobertura vegetal da Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal da Sub-bacia do Rio Apa, utilizando imagens dos satélites Landsat 5 (TM) e Landsat 9 (OLI-2), referentes aos anos de 2007 e 2024. A aplicação de técnicas de classificação supervisionada por meio do plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), utilizando o método Distância Mínima (MD) como principal algoritmo de discriminação espectral, possibilitou avaliar de forma detalhada as alterações espaciais e temáticas na paisagem da Unidade de Conservação e de suas áreas de entorno.

Os resultados demonstraram redução das classes de formações nativas, concomitante à expansão das áreas de pastagem e solos expostos, indicando o avanço de usos agropecuários, sobretudo nas zonas de entorno da APA. Observou-se que a Unidade de Conservação segue uma tendência semelhante à verificada em seu entorno. Embora ainda mantenha fragmentos florestais e remanescentes de cerrado com expressiva relevância ecológica e funções de conectividade, os dados revelam que a capacidade da APA em conter a expansão agropecuária mostra-se limitada.

O aumento das áreas descobertas e a redução dos corpos hídricos sugerem a ocorrência de impactos cumulativos como a compactação e erosão do solo, intensificação do escoamento superficial e incremento da carga de sedimentos nos cursos d'água, fenômenos estes já destacados no Plano de Manejo da Unidade de Conservação.

Em termos metodológicos, a classificação supervisionada direta das bandas espetrais dos sensores Landsat demonstrou ser uma abordagem eficaz e consistente para o monitoramento ambiental de áreas extensas. O método Distância Mínima apresentou melhor desempenho estatístico (acurácia global de 91,74% e índice Kappa de 0,9031) em comparação ao Spectral Angle Mapper (SAM), que obteve valores ligeiramente inferiores. Os padrões detectados reforçam a necessidade de fortalecer ações de fiscalização, recuperação de áreas degradadas e manejo sustentável nas zonas de transição e entorno da UC, onde a pressão antrópica permanece intensa.

Os resultados obtidos contribuem de forma relevante para o planejamento e a gestão ambiental da APA Municipal da Sub-bacia do Rio Apa, oferecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão, a priorização de áreas para restauração e a definição de zonas prioritárias para fiscalização e manejo sustentável. O uso do sensoriamento remoto e das geotecnologias mostrou-se uma estratégia de monitoramento de baixo custo e alta aplicabilidade, capaz de gerar

informações atualizadas sobre a dinâmica de uso e cobertura da terra.

Como recomendações para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação de imagens de sensores com maior resolução espacial e espectral, além da utilização de métodos híbridos de classificação, integrando abordagens supervisionadas e não supervisionadas. Estudos complementares que incorporem variáveis topográficas, índices de vegetação e séries temporais contínuas poderão aprimorar a compreensão dos processos de mudança na paisagem e fortalecer as estratégias de conservação e manejo da APA e de seu entorno, além de validação em campo.

Em síntese, o trabalho evidencia que a APA Municipal da Sub-bacia do Rio Apa vem acompanhando a dinâmica de transformação observada nas áreas de entorno. Apesar de ainda exercer papel relevante na conservação de remanescentes nativos, requer gestão ambiental ativa e contínua, apoiada em geotecnologias, para assegurar a manutenção de seus ecossistemas frente à expansão agrícola regional.

5 REFERÊNCIAS

BARBOSA VALE, Jones Remo; ANDRADE DA COSTA, Jamer; FERREIRA DOS SANTOS, Jefferson; SILVA DA SILVA, Elton Luis; TRINDADE FAVACHO, Artur. Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*. v. 4, n. 13, p. 24-44, 2018. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/7884>. Acesso em: 3 nov 2025.

BORGES, R. O.; SILVA, R. A. A.; CASTRO, S. S. Utilização da classificação por distância euclidiana no mapeamento dos focos de Arenização no setor sul da alta bacia do Rio Araguaia. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 10 set. 2024.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, v. 20, p. 37-46, 1960.

CONGEDO, Luca. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>. Acesso em: 10 de out. 2025.

CRÓSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Campinas: IG/UNICAMP, ISBN 85-853- 690-27, 1992.

FIGUEIREDO, D. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. CONAB, 2005. Disponível em: https://clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2013/04/conceitos_sm.pdf. Acesso em: 16 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malha Municipal – Mato Grosso do Sul - 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 01 jul. 2025.

KRUSE, F. A., LEFKOFF, A. B., BOARDMAN, J. W., HEIDEBRECHT, K. B., SHAPIRO, A. T., BARLOON, P. J et., al. The spectral image processing system (SIPS)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote sensing of environment*. v. 44, n. 2-3, p. 145-163, 1993.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7 ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 2015.

MIURA, S.; AMACHER, M.; HOFER, T.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; ERDLE, T.; YONEDA, T.; TANAKA, H.; ISHIKAWA, Y. Protective functions and ecosystem services of global forests in the past 25 years. *Forest Ecology and Management*, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.039>. Acesso em: 31 out. 2025

MOREIRA, M.A. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 2^a ed. Viçosa: UFV, 2003.

OLIVEIRA, T. C. M. de (org.); SAKAMOTO, A. Y.; ALOVISI, A. M. T.; ALOVISI, A. A.; AOKI, C.; GOMES, C. F.; AYRES, F. M.; PAIXÃO, R. O.; BACANI, V. M.; ANDRADE, M. H.; PEREIRA, Z. V.; LOBTCHENKO, G.; FERNANDES, S. S. L.; LANDGREF FILHO, P.; Barbosa, E. H. B.; CUNHA, E. R. Encarte 3 – Análise da Unidade de Conservação: Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-Bacia do Rio Apa. Caracol, MS: Fundação de Apoio à Pesquisa, ao Ensino e à Cultura, 2013.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. Análise geo-ambiental multitemporal: o estudo de caso da região de coxim e da bacia do Taquarizinho (MS-Brasil). Curitiba: 2000.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; MIOTO, CAMILA LEONARDO; PESSI, DHONATAN DIEGO; Gamarra, Roberto Macedo; SILVA, NORMANDES MATOS DA; RIBEIRO, VINÍCIUS DE OLIVEIRA; Chaves, Jéssica Rabito (Org.). *Geotecnologias para aplicações ambientais*. 1. ed. Maringá, PR.: Uniedusul Editora, 2021. v. 1. 394p. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/348311012_Geotecnologias_para_Aplicacoes_Ambientais#fullTextFileContent. Acesso em: 15 set. 2024.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. *Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: Introdução as Geotecnologias*. Campo Grande, MS: Editora UFMS, 2008.

QGIS.org, 2025. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Disponível em:

<http://www.qgis.org>. Acesso em: 01 out. 2025.

SANTOS, Leovigildo Aparecido Costa; De Lima, Paulo Eliardo Morais. Comparação entre diferentes algoritmos de classificação supervisionada no mapeamento temático de uma bacia hidrográfica. Treedimensional, 2018.

SHIMABUKURO, Y. E., NOVO, E.M, & PONZONI, F.J. (1998). Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33(13), 1729-1737. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1998.v33.5057>. Acesso em: 15 set. 2024.

Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA). INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL (IMASUL). Shapefile – Unidade de Conservação Área de Proteção Ambiental Municipal da Sub-bacia do Rio Apa. Disponível em: http://sisla.imasul.ms.gov.br/sisla/pagina_inicial.php. Acesso em: 15 out. 2024.

SOUTH, Stephen; QI, Jiaguo; LUSCH, David P. Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices. *Remote Sensing of Environment*, v. 91, n. 1, p. 90-97, 2004.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat missions - Landsat 5. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>. Acesso em: 16 de out. 2025.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat missions - Landsat 9. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>. Acesso em: 16 de out. 2025.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat: U.S. Geological Survey database. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 15 out. 2024.

VASCONCELLOS, Bruna Nascimento de. Sensoriamento remoto como ferramenta para análise e monitoramento de unidades de conservação no brasil. In: desenvolvimento rural sustentável: novas perspectivas. Editora Científica Digital, 2024. p. 145-154. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/241118170>. Acesso em: 3 nov. 2025.