

DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA EM PIRAPORA/MG: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE 2016 E 2023 DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPs)

Jefferson William Lopes Almeida¹
Marcos Esdras Leite²
Georgyann Victoria Muniz Soares³

RESUMO

O uso e a cobertura da terra têm influência direta na conservação ambiental, principalmente nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), que desempenham papel importante na manutenção dos recursos hídricos e da biodiversidade. Existem poucas pesquisas que examinam a dinâmica dessas áreas em municípios do semiárido mineiro, levando em conta fatores como expansão urbana e projetos como usinas fotovoltaicas. Este estudo analisou o uso e a cobertura da terra no município de Pirapora-MG, com foco nas APPs, nos anos de 2016 e 2023, verificando alterações espaciais e impactos potenciais sobre áreas sensíveis. Foram utilizadas imagens de satélite *PlanetScope*, classificadas pelo complemento *Dzetsaka* no software QGIS, além de dados coletados em campo. Os resultados mostram aumento da área urbana, implantação de empreendimentos fotovoltaicos, diminuição de áreas agrícolas e crescimento da vegetação natural nas APPs. As conclusões indicam possíveis efeitos de políticas ambientais, como o Código Florestal, na preservação dessas áreas, sugerindo a necessidade de análises futuras e monitoramento contínuo para observar a regeneração natural e os impactos socioambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento ambiental, Semiárido mineiro, Código Florestal, Geotecnologias.

DYNAMICS OF LAND USE AND LAND COVER IN PIRAPORA/MG: COMPARATIVE ANALYSIS OF PERMANENT PRESERVATION AREAS (APPs) BETWEEN 2016 AND 2023

ABSTRACT

¹Doutorando em Desenvolvimento Social - (PPGDS - UNIMONTES), Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, Email: jeffersonlopesalmeida@gmail.com

²Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, Email: marcos.leite@unimontes.br

³Graduando em Geografia na Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, Email: georgyannm@gmail.com

Land use and land cover have a direct influence on environmental conservation, especially in Permanent Preservation Areas (APPs), which play an important role in maintaining water resources and biodiversity. There is a paucity of research examining the dynamics of these areas in municipalities in the semi-arid region of Minas Gerais, taking into account factors such as urban expansion and projects such as photovoltaic power plants. This study examined the dynamics of land use and land cover in the municipality of Pirapora-MG, with a particular focus on the impacts of APPs. The analysis was conducted in 2016 and 2023, with the aim of assessing spatial changes and potential impacts on environmentally sensitive areas. PlanetScope satellite images, classified by the Dzetsaka complement in QGIS software, were utilized in conjunction with field data collected. The results indicate an increase in urban area, the implementation of photovoltaic projects, a decrease in agricultural areas, and growth of natural vegetation in APPs. The conclusions indicate possible effects of environmental policies, such as the Forest Code, on the preservation of these areas, suggesting the need for future analysis and continuous monitoring to observe natural regeneration and socio-environmental impacts.

KEYWORDS: Environmental monitoring, Minas Gerais semi-arid region, Forest Code, Geotechnologies.

DINÁMICA DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO EN PIRAPORA/MG: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ÁREAS DE PRESERVACIÓN PERMANENTE (APP) ENTRE 2016 Y 2023

RESUMEN

El uso y la cobertura del suelo influyen directamente en la conservación del medio ambiente, especialmente en las Áreas de Preservación Permanente (APP), que desempeñan un papel importante en el mantenimiento de los recursos hídricos y la biodiversidad. Existen pocos estudios que examinen la dinámica de estas áreas en los municipios del semiárido de Minas Gerais, teniendo en cuenta factores como la expansión urbana y proyectos como las plantas fotovoltaicas. Este estudio analizó el uso y la cobertura del suelo en el municipio de Pirapora-MG, centrándose en las APP, en los años 2016 y 2023, verificando los cambios espaciales y los impactos potenciales sobre las áreas sensibles. Se utilizaron imágenes satelitales de PlanetScope, clasificadas por el complemento Dzetsaka en el software QGIS, además de datos recopilados en el campo. Los resultados muestran un aumento de la superficie urbana, la implantación de proyectos fotovoltaicos, la disminución de las zonas agrícolas y el crecimiento de la vegetación natural en las APP. Las conclusiones indican los posibles efectos de las políticas medioambientales, como el Código Forestal, en la preservación de estas zonas, lo que sugiere la necesidad de futuros análisis y un seguimiento continuo para observar la regeneración natural y los impactos socioambientales.

PALABRAS CLAVE: Monitorización medioambiental, Semiárido mineiro, Código Forestal, Geotecnologías.

INTRODUÇÃO

As ações humanas sobre o meio ambiente podem assumir diferentes sentidos, desde iniciativas de conservação, como a criação de unidades de proteção e legislações ambientais, até práticas que ampliam pressões sobre os ecossistemas. Quando predominam usos desordenados do solo, intensificam-se vulnerabilidades sociais e desequilíbrios ambientais, como a perda de biodiversidade, queimadas e redução da disponibilidade hídrica (ALVES, 2024). Nesse contexto, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) têm papel essencial na manutenção do equilíbrio ecológico, pois protegem corpos d'água, nascentes e encostas, favorecendo a regulação hídrica e a conservação da biodiversidade.

Nas últimas décadas, a demanda global por água aumentou significativamente, impulsionada pelo crescimento populacional, pela expansão econômica e pela mudança nos padrões de consumo. Esse cenário pressiona ainda mais os recursos hídricos, em especial nas regiões agrícolas, onde a irrigação concentra cerca de 69% da captação mundial, chegando a 95% em alguns países em desenvolvimento (KONCAGÜL et al., 2021).

Na América Latina, o setor agropecuário mantém essa tendência de consumo elevado de água, reforçando a necessidade de estratégias integradas de gestão. Além disso, a expansão urbana gera impactos adicionais, como a contaminação dos corpos hídricos e a impermeabilização do solo, que reduz a infiltração da água da chuva e compromete a recarga dos lençóis freáticos. Nesse cenário, as APPs associadas a cursos d'água e áreas úmidas exercem papel estratégico ao reduzir os impactos da exploração intensiva, favorecendo a infiltração da água, a recarga dos aquíferos e a manutenção de sua qualidade. Em contextos urbanos, essas áreas assumem ainda maior relevância ao mitigar inundações, proteger margens e assegurar serviços ecossistêmicos indispensáveis à sustentabilidade hídrica (OLIVEIRA-ANDREOLI et al., 2019; PINHEIRO et al., 2019).

Previstas pelo Novo Código Florestal Brasileiro, as APPs têm como finalidade preservar recursos hídricos, florestas, vegetação nativa, biodiversidade dos solos e estabilidade climática. A Resolução CONAMA nº 303/2002, em seu Art. 2º, especifica os espaços passíveis de preservação, como nascentes ou olhos d'água, níveis mais altos de cheias sazonais e veredas caracterizadas por solos hidromórficos e ocorrência de *Mauritia flexuosa*. Além de sua função

ecológica, as APPs fornecem bens e serviços indispensáveis à população, configurando-se como componentes essenciais da manutenção ambiental, especialmente em áreas urbanas, onde equilibram o clima e promovem maior sustentabilidade (SINGH; CHUDASAMA, 2021).

Tais serviços incluem a conservação da biodiversidade, a regulação e proteção contra erosão, a recarga dos lençóis freáticos, o apoio ao ecoturismo e a proteção de margens de rios, lagos, reservatórios, encostas de morros, montanhas e serras, oferecendo, em síntese, uma ampla gama de benefícios socioambientais (BRASIL, 2002; BORGES et al., 2024).

Diante desse contexto, as geotecnologias mostram-se ferramentas eficazes para o mapeamento e a delimitação das APPs. Nesse bojo, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento permitem diagnosticar o uso e a cobertura da terra, auxiliando na compreensão das dinâmicas socioambientais (DIAS, 2022; GARCIA, 2022). Esses recursos geram mapas que evidenciam a ocupação humana, o uso dos recursos naturais e sua distribuição, oferecendo subsídios para a gestão territorial. O monitoramento do uso e cobertura da terra é necessário para a utilização racional do solo, além do planejamento adequado da ocupação de espaços sujeitos a vulnerabilidade ambiental (LEITE, et al, 2012; PAES, 2022).

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar o uso e a cobertura da terra com enfoque nas APPs do município de Pirapora–MG. Localizado no semiárido mineiro e inserido na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, o município possui relevância estratégica tanto socioeconômica quanto ambiental (IBGE, 2017; COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, 2012; FONSECA et al., 2018; FERNANDES et al., 2022). Nessas áreas, as APPs podem desempenhar papel significativo no equilíbrio ecológico do Rio São Francisco e de seus afluentes, sobretudo diante do avanço urbano e das pressões antrópicas locais.

A partir desse contexto, surgem questões centrais: como está a conservação das APPs em Pirapora? Quais usos antrópicos podem estar impactando essas áreas? Parte-se da hipótese de que o uso e a cobertura da terra no município passaram por modificações significativas nos últimos anos, influenciando diretamente essas áreas sensíveis. Nesse sentido, o processo analítico contemplou, em um primeiro momento, a caracterização geral do uso e cobertura da terra no município, de forma a estabelecer o cenário de transformações territoriais recentes. Em seguida, a análise concentrou-se especificamente nas APPs, permitindo avaliar como tais

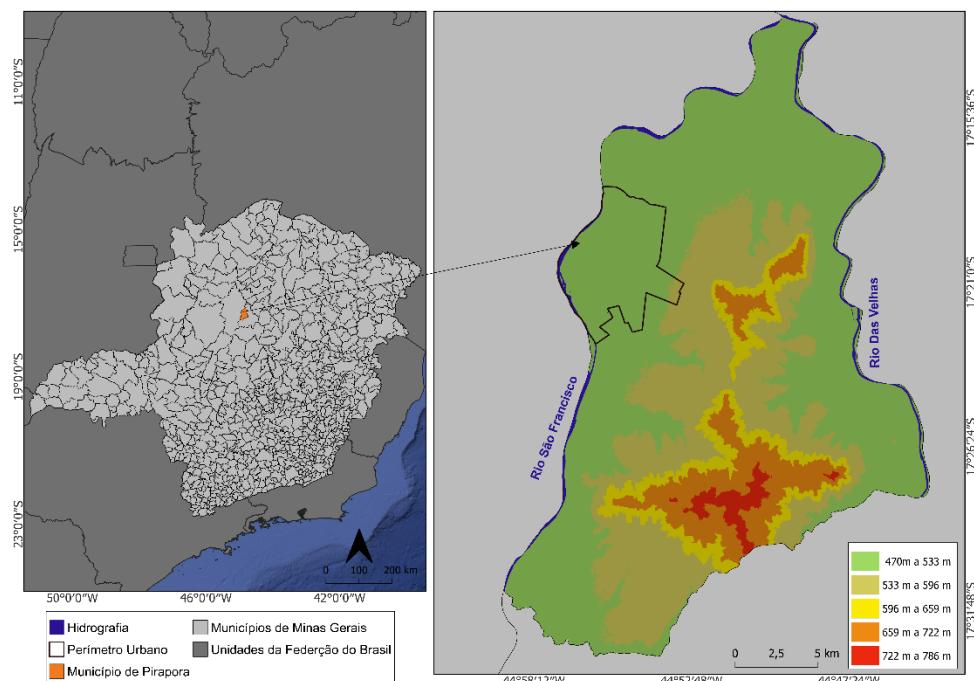
mudanças repercutem sobre esses espaços legalmente protegidos. Para tanto, elaboraram-se mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 2016 e 2023, a partir de imagens do satélite *PlanetScope*, cuja resolução espacial (5 metros) possibilita identificar alterações em escala local com maior detalhamento em comparação a sensores de média resolução.

A escolha dos anos 2016 e 2023 deve-se ao fato de que 2016 marca o início da disponibilidade contínua de imagens Planet, enquanto 2023 representa o período mais recente, possibilitando uma análise comparativa de sete anos e a avaliação das transformações decorrentes do avanço urbano e de outras pressões antrópicas sobre as APPs do município. Ressalta-se, contudo, que o acesso gratuito às imagens Planet, anteriormente disponível para fins acadêmicos e de pesquisa, foi descontinuado, o que atualmente limita sua utilização sem licença paga (PLANET, 2022; OPEN FORIS, 2025).

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Pirapora–MG (Figura 1) possui uma área de 549,5 km² e uma população de 55.606 habitantes (IBGE, 2022). Localiza-se no norte de Minas Gerais, na margem direita do rio São Francisco, e faz parte da porção sul do Cráton do São Francisco na Depressão Sanfranciscana, unidade geológica composta principalmente por rochas sedimentares. Essa característica resulta em solos diversos, geralmente com fertilidade natural média a baixa, que são utilizados em atividades agropecuárias (RIBEIRO, 2007; TRINDADE, 2010).

Do ponto de vista geomorfológico, o relevo caracteriza-se por superfícies predominantemente planas a suavemente onduladas, com altitudes médias em torno de 500 m e baixa declividade. Em termos de cobertura vegetal, predominam formações de Cerrado Típico e Cerradão, além de fitofisionomias associadas, como as Matas Ciliares que acompanham cursos d’água. O clima da região, classificado segundo Köppen-Geiger como Aw (tropical subúmido), apresenta verões quentes e chuvosos e invernos secos, com temperatura média anual de 24,1 °C (MARTINS et al., 2018).

Figura 1 – Mapa de localização do município de Pirapora-MG

Fonte: IBGE (2022). Org.: Elaborado pelos autores.

Para o presente estudo, foram utilizadas imagens obtidas usando o complemento *Planet Explorer* disponível no software QGIS versão 3.26. Esse complemento, possibilita o acesso à base de mapas do programa da Iniciativa Internacional do Clima e Florestas da Noruega (NICFI) em parceria com a empresa *Planet Lab*. A base de mapas em questão, consiste em mosaicos históricos gerados a partir do satélite *PlanetScope*. O produto é multiespectral, contemplando as seguintes bandas espectrais: azul (455 - 515 nm) verde (500 - 590 nm) vermelho (590 - 670 nm) e infravermelho próximo (780 - 860 nm). Estes dados passaram por correção atmosférica e fornecem reflectância de superfície com resolução espacial de 4,77 metros (Planet, 2022).

Para a aquisição das imagens, utilizou-se o limite municipal de Pirapora em formato shapefile (IBGE, 2022). As imagens correspondem aos meses de junho de 2016 e junho de 2023, período sazonal marcado por menor cobertura de nuvens, o que favorece a nitidez e a clareza dos registros, além de permitir a observação da vegetação em seu estado típico, facilitando a identificação das características da paisagem. As bandas multiespectrais foram alinhadas e recortadas; não foram aplicados mosaicos interanuais. Cada ano foi classificado independentemente, dispensando normalização radiométrica entre datas.

Nessa perspectiva, a escolha dos anos de 2016 e 2023 justifica-se por dois fatores principais. O ano de 2016 marca o início da disponibilidade consistente de imagens *PlanetScope* no Brasil, com resolução espacial de 5 metros. Já 2023 corresponde ao recorte temporal mais recente, permitindo identificar alterações atuais no uso e cobertura da terra. Esse intervalo de sete anos fornece uma base adequada para analisar mudanças estruturais no território, especialmente relacionadas ao avanço urbano e às pressões sobre os recursos hídricos.

Além disso, optou-se pelo uso das imagens *Planet* em razão de sua resolução espacial, que oferece maior detalhamento em comparação a sensores de média resolução, como *Landsat* e *Sentinel*. A utilização de apenas dois anos, embora represente uma limitação frente a séries temporais completas, foi definida em função da disponibilidade e do custo de acesso aos dados *Planet*, priorizando qualidade espacial em detrimento da frequência temporal.

Para a classificação supervisionada, foram definidas seis classes de uso e cobertura da terra: “Vegetação Natural”, “Agricultura”, “Pastagem”, “Corpos d’água” e “Outros” (estradas vicinais, rodovias, bancos de areia e elementos não discriminados pelo classificador). As classes foram estabelecidas a partir de 80 amostras por feição, coletadas por interpretação visual das imagens em composição falsa-cor (R–NIR; G–RED; B–GREEN), considerando exclusivamente as assinaturas espectrais.

O processo analítico contemplou inicialmente o uso e cobertura da terra no município e, em seguida, a análise específica das APPs. Com o objetivo de aumentar a precisão do mapeamento, as amostras de treinamento foram complementadas com dados de trabalho de campo realizado em 23 de junho de 2024, incluindo a coleta de coordenadas por receptor GPS (*Global Position System*), bem como a descrição e anotação dos elementos da paisagem. A classificação final foi conduzida no software QGIS, por meio do complemento *Dzetsaka Classification Tool*, utilizando o algoritmo Random Forest, que se destaca pela robustez e eficiência na análise de dados multiespectrais (KARASIAK, 2016; VALE; SILVA, 2019; ARDIANSYAH *et al.*, 2023).

A escolha pelo *Dzetsaka Classification Tool* justifica-se por sua integração direta com o ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo realizar a classificação supervisionada sem a necessidade de exportar dados para outras plataformas, facilitando o processamento, visualização e análise espacial. Além disso, o plugin oferece interfaces amigáveis para interpretação visual e coleta de amostras de treinamento, garantindo maior

controle sobre os dados utilizados na classificação. Estudos anteriores destacam a eficácia de classificadores supervisionados no QGIS, evidenciando que plugins como *Dzetsaka* são ferramentas confiáveis e acessíveis para análises de uso e cobertura da terra (PARLOTTI, 2021; XAVIER DA CRUZ; OLIVEIRA, 2021).

Para avaliar e comparar o desempenho da classificação supervisionada, foi calculado no QGIS o coeficiente de Kappa. O coeficiente de Kappa (K), estabelecido por Jacob Cohen em 1960, mede o grau de concordância entre proporções derivadas de amostras dependentes, servindo como um indicativo da qualidade da classificação gerada (CONGALTON; GREEN, 2019).

Nesse contexto, após a classificação supervisionada, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram obtidas junto à Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Os dados, disponibilizados em formato *Shapefile*, foram derivados de imagens RapidEye com resolução espacial de 5 metros e escala cartográfica de 1:25.000, abrangendo todos os municípios brasileiros inseridos total ou parcialmente no Bioma Mata Atlântica (REZENDE et al., 2018). A escolha dessa base justifica-se pela confiabilidade institucional da FBDS, pela padronização nacional dos dados e pela compatibilidade metodológica com estudos de análise espacial em escala municipal. Ressalta-se, contudo, que as APPs utilizadas podem apresentar pequenas variações ou deslocamentos, os quais permanecem dentro dos limites aceitáveis da escala adotada para este estudo.

Desse modo, os valores de largura marginal estipulados para as APPs, em conformidade com os artigos 4º e 5º da Lei nº 12.651/2012, foram os seguintes para o município de Pirapora: A) 30 (trinta) metros para cursos d'água com até 10 (dez) metros de largura; B) 50 (cinquenta) metros para cursos d'água entre 10 (dez) e 50 (cinquenta) metros de largura; C) 100 (cem) metros para cursos d'água com largura de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros; e D) Raio de 50 metros em torno das nascentes.

Para permitir uma análise mais detalhada no âmbito deste estudo, as áreas urbanas, de eucalipto e as usinas fotovoltaicas foram veteorizadas manualmente em ambiente SIG. Essa etapa metodológica foi necessária porque essas classes apresentam elevada similaridade espectral com outras coberturas do solo, dificultando sua discriminação apenas por meio da classificação supervisionada automatizada. A veteorização manual, embora mais trabalhosa, permite contornar limitações de métodos automáticos, garantindo maior precisão e fidelidade

na delimitação espacial das áreas de interesse (CONGALTON; GREEN, 2019; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015). Na fase final, foram elaborados mapas temáticos e realizados os cálculos das áreas, com o objetivo de quantificar as mudanças temporais no uso e cobertura da terra, tanto no território municipal de Pirapora quanto nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) previamente delimitadas.

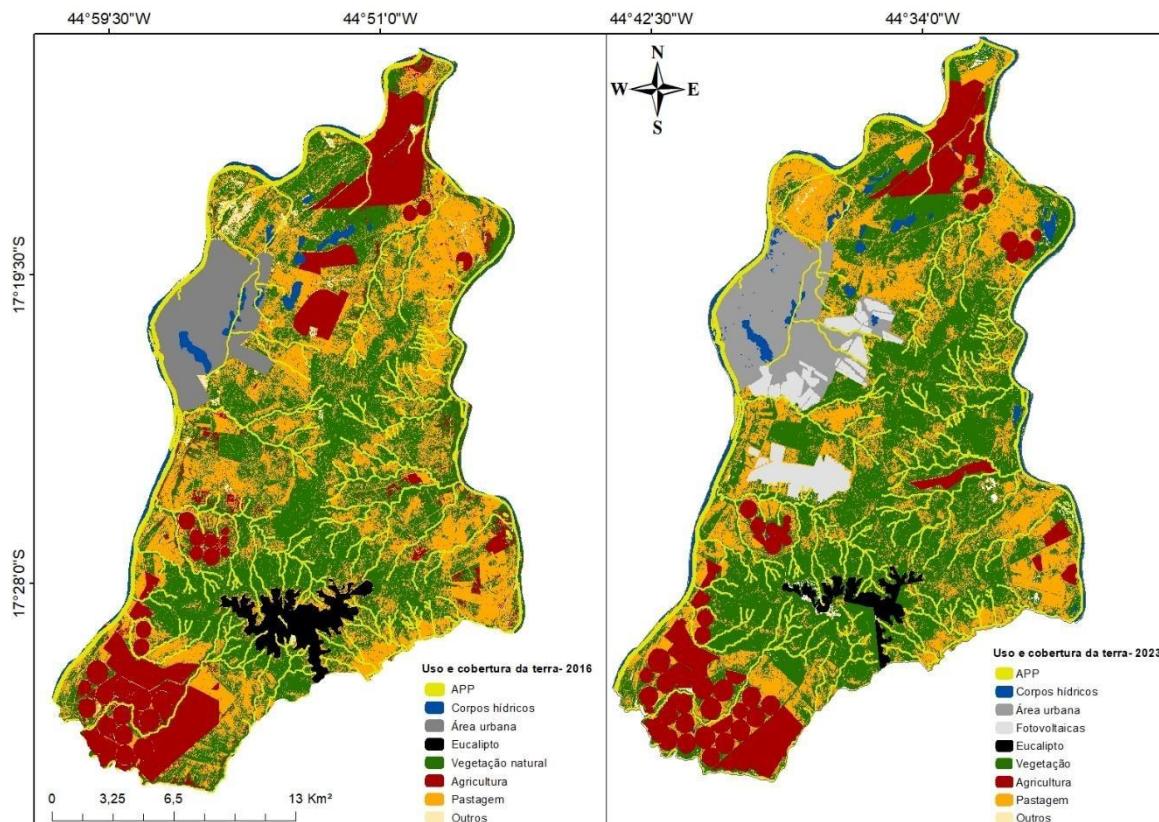
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a classificação do uso e cobertura da terra para os anos de 2016 e 2023. Nesse intervalo, observou-se um aumento da ocupação urbana e da instalação de empreendimentos fotovoltaicos, sobretudo em áreas anteriormente destinadas a pastagens. Simultaneamente, houve uma redução nas áreas de silvicultura de eucalipto e na agricultura em 2023.

Cabe destacar que os resultados apresentados correspondem a alterações recentes, constituindo um panorama atualizado da ocupação do solo no município. No entanto, o intervalo de sete anos analisado é relativamente curto, não sendo suficiente para identificar tendências de longo prazo. Para uma análise mais aprofundada da dinâmica do uso da terra em Pirapora, recomenda-se a comparação com séries históricas mais extensas, como as disponibilizadas pelo MapBiomas, que abrangem mais de 35 anos de dados no Brasil.

Conforme a Tabela 1, em 2016 a vegetação natural ocupava 44% do território de Pirapora ($245,7 \text{ km}^2$). Em 2023, essa cobertura aumentou aproximadamente 3%, totalizando 260 km^2 , equivalentes a 47% da área municipal. Esse crescimento da vegetação natural pode estar associado, entre outros fatores, à diminuição da silvicultura de eucalipto, que ocupava $15,7 \text{ km}^2$ (3% do território) em 2016, reduzindo-se para $5,6 \text{ km}^2$ (1%) em 2023.

Figura 2 – Mapa de uso e cobertura da terra do município de Pirapora-MG, 2016 e 2023



Fonte: IBGE (2022), FBDS (2022). Org.: Elaborado pelos autores.

A segunda classe de uso da terra mais predominante em Pirapora é a pastagem. De acordo com Oliveira et al. (2020), essa atividade, frequentemente desenvolvida no bioma Cerrado, costuma ser realizada sem considerar os passivos ambientais associados, como a erosão e compactação dos solos, além da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Em 2016, as áreas de pastagem no município somavam aproximadamente 162,3 km², correspondendo a 30% do território. Já em 2023, esse uso apresentou redução para 130,4 km², representando 24% da área municipal. Essa diminuição pode estar associada, entre outros fatores, à instalação de usinas fotovoltaicas e à expansão de loteamentos urbanos em áreas anteriormente destinadas à pecuária.

Quanto à área urbana, que correspondia a 6% do município (35,2 km²) em 2016, houve um crescimento para 10% em 2023, alcançando 53,7 km². A presença de infraestrutura urbana próxima à margem do Rio São Francisco, especialmente nos bairros Centro, Bom Jesus e Nossa

Senhora Aparecida, demanda maior atenção do poder público diante das intempéries, particularmente no verão, período marcado por chuvas intensas e prolongadas. Nesse contexto, destaca-se que Pirapora possui um Plano Diretor instituído pela Lei Municipal nº 1.846, de outubro de 2006, utilizado como instrumento de desenvolvimento e expansão urbana, o qual vem passando por revisões periódicas com vistas a adequar suas estratégias de planejamento (DOS ANJOS, 2022).

Tabela 1 - Relação: Uso e cobertura da terra no município de Pirapora-MG, 2016, 2023.

Classes	Área 2016 (Km ²)	Percentual (%)	Área 2023 (Km ²)	Percentual (%)
Agricultura	69,6	13	61,2	11
Área urbana	35,2	6	53,7	10
Corpos hídricos	11,5	1	12,1	2
Eucalipto	15,7	3	5,6	1
Pastagem	162,3	30	130,4	24
Placas Solares	0	0	16,4	3
Vegetação natural	245,7	44	260	47
Outros	9,5	2	10	2
Total	549,5	100%	549,5	100

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A agricultura irrigada, outro uso significativo do solo em Pirapora, apresentou redução ao longo do período analisado. Os mapas evidenciam grandes extensões de sistemas de irrigação por pivô central, especialmente próximos às margens do Rio São Francisco e do Rio das Velhas. Em 2016, essa prática ocupava aproximadamente 69,6 km² (13% do município), enquanto em 2023 a área diminuiu para 61,2 km² (11%). Cabe destacar que a área analisada contempla tanto os padrões circulares e semicirculares característicos dos pivôs centrais quanto demais áreas de agricultura irrigada. Embora esse resultado represente uma diminuição em

termos absolutos, a presença da agricultura irrigada nas proximidades de corpos hídricos demanda atenção especial.

Nesse contexto, a expansão da agricultura irrigada em regiões de clima semiárido tende a gerar impactos socioambientais significativos, particularmente pelo elevado consumo hídrico que demanda. Apesar de reconhecida como fundamental para a agricultura nacional, essa técnica apresenta como contrapartida não apenas discussões sobre o uso ineficiente da água, mas também a potencialização de conflitos pelo seu acesso (TESTEZLAF, 2017; FRIZZONE et al., 2018). Em Pirapora, tais questões assumem relevância adicional pela proximidade das áreas irrigadas com corpos hídricos estratégicos, o que pode comprometer a integridade das APPs associadas ao Rio São Francisco e ao Rio das Velhas.

O uso de água para irrigação no Brasil corresponde a uma vazão média de 865 m³/s, segundo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023), valor que mais que duplica o consumo total da população brasileira destinado às necessidades diárias. Tal cenário está diretamente vinculado à lógica da agricultura moderna, que prioriza a maximização da produtividade e do retorno econômico, demandando, como consequência, grandes quantidades de energia para o bombeamento hídrico desde os mananciais até as áreas de cultivo (FRIZZONE et al., 2018).

Nessa seara, a energia fotovoltaica emerge como alternativa estratégica, combinando modernização tecnológica e sustentabilidade energética. A energia solar vem ganhando relevância na matriz energética brasileira, apresentando vantagens multifacetadas, como: diminuir as emissões de GEE, diversificar a matriz energética, aumentar a arrecadação tributária e ocupar terras pouco produtivas (LUNA et al., 2019). Prova dessa transição é o caso do município de Pirapora: enquanto em 2016 não havia infraestrutura solar significativa, em 2023 as usinas fotovoltaicas já ocupavam 16,4 km², equivalente a 3% da área do município.

Destaca-se que os empreendimentos fotovoltaicos geram impactos socioambientais diversos, tanto na fase de instalação quanto na fase de operação (LIMA; NETO, 2022). Entretanto, por meio da metodologia utilizada, foi possível apenas constatar que as áreas que outrora eram ocupadas por pastagens em 2016 foram substituídas por empreendimento fotovoltaicos em 2023. Diante disso, faz-se necessária a realização de novas investigações para mensurar os impactos positivos e negativos dentro de uma perspectiva socioambiental.

Em relação à classe Corpos d’água (que inclui rios, reservatórios e áreas úmidas associadas), observou-se relativa estabilidade na área ocupada. Em 2016, essa classe abrangia aproximadamente 11,5 km², aumentando para 12,1 km² em 2023, o que representa um acréscimo de 5,2% no período analisado. Apesar desse crescimento, a análise espacial revelou uma diminuição interna das áreas úmidas próximas aos afluentes do Rio São Francisco e em zonas de interface com a área urbana e os perímetros irrigados. Essa redução indica pressões decorrentes do avanço da agricultura irrigada e da expansão urbana, o que compromete funções ecossistêmicas como a regulação hídrica e a manutenção da biodiversidade.

Por fim, a classe “Outros” agrupa elementos da paisagem de Pirapora que não foi possível discriminar via o classificador supervisionado para o estudo. Ou seja, refere a rodovias, estradas vicinais, pastagem degradada e outros elementos sem vegetação natural ou componente antrópico identificável na interpretação visual. Dessa forma, essa área representa o percentual de 5,2% na área, equivalente a 9,5 km² para o ano de 2016 e 10 km² para o ano de 2023.

Em relação ao uso e cobertura da terra nas APPs de Pirapora (Tabela 2), observou-se predominância da vegetação natural em ambos os anos analisados, com aumento de 23,3 km² em 2016 para 25,3 km² em 2023. Houve redução expressiva da agricultura (de 3,2 km² para 0,7 km²), bem como diminuição das pastagens, enquanto as áreas urbanas e a classe “outros” apresentaram expansão no período. Esses resultados apontam para uma dinâmica de recuperação da cobertura nativa nas APPs, o que pode refletir tanto processos naturais de regeneração quanto a efetividade de medidas regulatórias, como o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), que restringe atividades antrópicas nesses espaços (BRASIL, 2012).

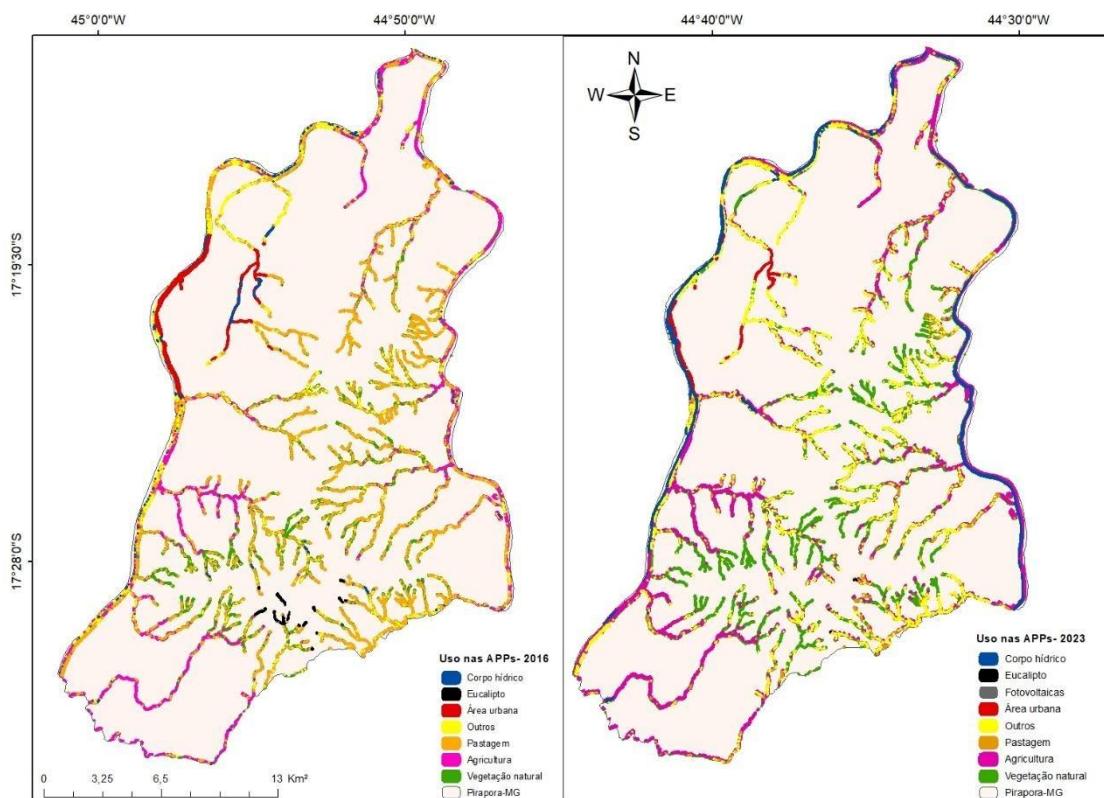
**Tabela 2 - Relação: Uso e cobertura da terra nas APPs no município de Pirapora-MG,
2016, 2023.**

Classes	Área 2016 (Km ²)	Percentual (%)	Área 2023 (Km ²)	Percentual (%)
Agricultura	3,2	8,6	0,7	1,9
Área urbana	1,3	3,5	2,6	7,0
Corpos hídricos	3	8,1	3	8,1
Eucalipto	0,2	0,5	0	0,0
Pastagem	4	10,8	2,8	7,6
Vegetação natural	23,3	63,0	25,3	68,4
Fotovoltaicas	0	0,0	0	0,0
Outros	2	5,4	2,6	7,0
Total	37	100	37	100

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A tendência identificada em Pirapora contrasta com a realidade observada em outros municípios de Minas Gerais, como Montes Claros, onde estudos apontaram significativa desconformidade das APPs com a legislação, com destaque para a presença de pastagens e áreas agrícolas em margens de rios e nascentes (RUAS et al., 2025). De forma semelhante, em Nepomuceno-MG, Pisani (2023) identificou conflitos marcantes no uso das APPs em áreas urbanas e periurbanas, especialmente associados à retificação de córregos e expansão urbana.

Assim, os resultados obtidos em Pirapora (Figura 2) sugerem uma situação relativamente mais favorável, ainda que fatores como a limitação temporal da análise e possíveis erros de classificação devam ser considerados. Nesse sentido, o trabalho de campo realizado pelos autores confirmou a predominância da vegetação natural nas APPs, reforçando a confiabilidade da análise por sensoriamento remoto.

Figura 2 – Mapa de uso e cobertura da terra do município de Pirapora-MG, 2016 e 2023

Fonte: IBGE (2022), FBDS (2022). Org.: Elaborado pelos autores.

Nesse contexto, a avaliação da acurácia da classificação supervisionada (Tabela 3), realizada por meio da matriz de confusão, revelou uma exatidão global de 83,5% e coeficiente de Kappa de 79,4%, valores considerados satisfatórios para estudos de uso e cobertura da terra.

Tabela 3 - Matriz de erros para a classificação de uso e cobertura da terra do município de Pirapora-MG, 2016, 2023.

Classe	Amostra (n)	Vegetação Natural	Agricultura	Pastagem	Corpos d'água	Outros	Precisão do produtor (%)
Vegetação Natural	80	70	5	3	0	2	87,5
Agricultura	80	7	62	5	2	4	77,5
Pastagem	80	6	3	64	2	5	80,0

Corpos d'água	80	2	3	0	75	0	93,7
Outros	80	4	8	4	1	63	78,7
Total	400	89	81	76	80	74	
Precisão do usuário (%)		78,6	76,5	84,2	93,7	85,1	
	Exatidão global = 334/ 400 = 83,5%			Kappa = 79,4%			

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Esses indicadores reforçam a confiabilidade dos resultados apresentados, uma vez que as classes obtiveram níveis consistentes de precisão do produtor e do usuário, destacando-se corpos d'água (93,7%) e vegetação natural (87,5%). A robustez da classificação confere maior segurança às análises desenvolvidas, sobretudo quanto à dinâmica observada nas APPs, minimizando a influência de erros de mapeamento na interpretação dos padrões identificados.

Por outro lado, as classes agricultura (77,5%), pastagem (80,0%) e outros (78,7%) apresentaram menores índices, refletindo maior sobreposição espectral entre áreas antrópicas e uso agropecuário, o que é recorrente em ambientes do Cerrado. Ainda assim, os valores obtidos são consistentes com outros estudos de mapeamento de uso e cobertura da terra realizados, reforçando a confiabilidade da classificação aplicada neste trabalho (RUAS; SILVA et al., 2025; PISANI, 2023). Contudo, estudos de longo prazo, com integração de séries históricas e monitoramento sistemático, são necessários para compreender de forma mais abrangente os processos que moldam a dinâmica do uso da terra e seus impactos sobre os serviços ecossistêmicos no município de Pirapora/MG.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o uso e cobertura da terra do município de Pirapora, bem como o estado de conservação de suas Áreas de Preservação Permanente (APPs) nos anos de 2016 e 2023. No período avaliado, observaram-se mudanças significativas na paisagem, incluindo a expansão da área urbana e a implantação de empreendimentos fotovoltaicos. Nas áreas destinadas à agricultura, a silvicultura e a pecuária apresentaram redução considerável. De forma expressiva, também se observou a conservação das APPs, com aumento da cobertura de vegetação natural e redução das áreas agrícolas entre 2016 e 2023. Essa dinâmica sugere que

políticas ambientais, como o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), podem estar contribuindo para a proteção e recuperação dessas áreas estratégicas. Entretanto, é necessário aprofundar estudos para verificar se o crescimento da vegetação decorre de regeneração natural, reflorestamento ativo ou de práticas agrícolas como o pousio. Além disso, a redução das áreas agrícolas demanda análise dos impactos socioambientais, principalmente em relação a sistemas de irrigação por pivô central, que apresentam elevado consumo hídrico e energético e potencializam conflitos pelo acesso a mananciais. Diante disso, recomenda-se que futuras pesquisas integrem monitoramento contínuo com geotecnologias e políticas que conciliem preservação ambiental e desenvolvimento sustentável. Tais alterações têm implicações diretas na conservação das APPs e nos serviços ecossistêmicos, reforçando a importância de estratégias de gestão ambiental integradas e de longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPQ e a Coordenadoria de aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES pelas bolsas de pesquisa e pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ALVES, João Batista; FERNANDES, Jussara Mara Lima Queiroz. “Problemas (socio) Ambientais no entorno do açude Jeremias e do rio Taperoá no município de Desterro – PB”. **Revista Delos**. v.17, n.60, p. 01-25, set. 2024. Disponível em: <<https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/2274/1415>>. Acesso em 07 abr. 2025.

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloísa Pinê; VANZELA, Luiz Sergio; CASTRO, Cristina Veloso de; MANSANO, Cleber Fernando Menegasso; TAGLIAFERRO, Evandro Roberto. “A gestão das águas no Brasil: uma abordagem sobre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos”. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v.7, n.53, p. 30-44, 2019. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2169/2014. Acesso em: 7 abr. 2025.

ANJOS, Aretuza Oliveira dos. “Geografia urbana, direito à cidade e o plano diretor da cidade de Pirapora-MG. **Caderno de Geografia**, v. 32, n.70, p. 739, 2022. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/27446>. Acesso em: 13 fev. 2025.

ARDIANSYAH, Muhammad; BARUS, Baba; PUSPITA, Gita; JAYA, Adi. “Estimation of palm oil biomass carbon from Sentinel-2 image using the Random Forest classification method”. **International Journal of Multidisciplinary Approach Research and Science**, v. 1, n. 2, p. 207-220, maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.59653/ijmars.v1i02.95>

BORGES, Luís Antônio Coimbra; REZENDE, José Luiz Pereira de; PEREIRA, José Aldo Alves; JÚNIOR, Luiz Moreira Coelho; BARROS, Dalmo Arantes de. “Áreas de Preservação Permanente na Legislação Ambiental Brasileira”. **Revista Ciência Rural**, v.41, n.7, p.1202-1210, jul. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4jVMhFMf3q69gvyMCnFBfpB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 abr. 2025

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=274> Acesso em: 02 dez. 2024.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. Regiões hidrográficas. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/bacia-hidrografica-do-rio-sao-francisco/regioes-hidrograficas> . Acesso em: 07 abr. 2025.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.

DIAS, Felipe Teixeira; MAGNAGO, Rachel Faverzani; CLEMENTE, Carlos Magno Santos; GUERRA, José Baltazar Salgueirinho Osório de Andrade. “Indicadores internacionais de produção científica interdisciplinar em Áreas de Preservação Permanente brasileiras: Uma revisão bibliométrica”. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 03-20, mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v11e120223-20>. Acesso em: 21 mar. 2025.

FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: www.fbds.org.br . Acesso em: 01 abr. 2025.

FERNANDES, Milton Marques; LIMA, Alexandre Herculano Souza Lima; Wanderley, Lilian Lins; FERNANDES, Marcia Rodrigues de Moura; FILHO, Renisson Nepomuceno de Araujo. “Fragmentação florestal na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, Brasil”. **Revista Ciência Florestal**, V. 32, n. 3, p.1227-1246, jun./set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509845253> Acesso em: 27 mar. 2025.

FONSECA, Ana Ivania Alves; PALHARES, Ricardo Henrique; HERMANO, Vivian Mendes. “Rio São Francisco e a cidade: Interação Socioambiental”. **Revista Boletim Paulista de Geografia**. v.1 n.106. p.172-186. jul. 2022. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1956/1808> Acesso em: 06 abr. 2025.

FRIZZONE, José Antonio; REZENDE Roberto; CAMARGO, Antonio Pires de; COLOMBO, Alberto. **Irrigação por aspersão: sistema pivô central**. Maringá: Eduem, 2018

GARCIA, Fabrício Ribeiro; FILHO, Otto Corrêa Rotunno. “Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra utilizando o classificador Random Forest para o distrito de Bento Rodrigues/Mariana/ MG”. **IV Sustentare & VII Wipis Workshop Internacional**. Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos. 16-18 nov. 2022. p.01-12. Disponível em: <https://www.sustentarewipis.com.br/wp-content/uploads/artigos/2022/559295.pdf> Acesso em: 01 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. Divisão Regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2100600> . Acesso em: 25 fev. 2025.

KARASIAK, N. “Dzetsaka: QGIS classification plugin”. 2016. Disponível em: <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>. Acesso em: 26 ago. 2025

KONCAGÜL, Engin; TRAN, Michael; CONNOR, Ricard. Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água; fatos e dados. Relatório. UNESCO. 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por Acesso em: 07 abr. 2025.

LEITE, Emerson Figueiredo; ROSA, Roberto. “Análise Do Uso, Ocupação E Cobertura Da Terra Na Bacia Hidrográfica Do Rio Formiga, Tocantins”. Observatorium: **Revista Eletrônica de Geografia**, v.4, n.12, p.90-106, dez. 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45664/24437> . Acesso em: 22 nov. 2024.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. *Remote sensing and image interpretation*. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

LIMA, Paulo de Tarso Dantas; NETO, Manoel Mariano; ABRAHÃO, Rafael. “Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1260-1273, 2022.

LUNA, Márcia Andréa Rosas; CUNHA, Felipe Barroco Fontes; MOUSINHO, Maria Cândida Arrais de Miranda; TORRES, Ednildo Andrade. “Solar photovoltaic distributed generation in Brazil: the case of resolution 482/2012”. **Energy Procedia**, v. 159, p. 484-490, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.036>. Acesso em: 20 fev. 2025.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. “Classificação climática de Koppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: Cenário atual e projeções futuras”. **Revista Brasileira de Climatologia**, edição especial, ano 14, p.129-156, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>. Acesso em: 01 mar. 2025.

OLIVEIRA, Elis Regina de; SILVA, Janete Rego; BAUMANN, Luís Rodrigues Fernandes; MIZIARA, Fausto; FERREIRA, Laerte Guimarães; MERELLES, Leonardo Rodrigues de Oliveira. “Technology and degradation of pastures in livestock in the Brazilian Cerrado”. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 585–596, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-55795>. Acesso em: 23 fev. 2025.

OPEN FORIS. “Planet imagery no longer displaying in Collect Earth – has access been discontinued?” 2025. Disponível em: <https://openforis.support/questions/4216/planet-imagery-no-longer-displaying-in-collect-earth-has-access-been-discontinued>. Acesso em: 23 ago. 2025.

PARLOTTI, R. “Identificação de florestas usando sensoriamento remoto com o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) no QGIS”. Repositório UTFPR, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/30219/1/identificacaoforestassensoriamentoremoto.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

PINHEIRO, Joana Angelica Cavalcanti; DIAS, Herly Carlos Teixeira; PAIVA, Haroldo Nogueira; SILVA, Cláudio Mudadu; FILHO, Elpídio Inácio Fernandes; OLIVEIRA, Silvio Nolasco de Oliveira Neto; BARBOSA, Rodolfo Alves. “Processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Córrego Zerede em Timóteo - MG”. **Revista Ciência Florestal**. v. 29, n. 4, p. 1658-1671, out./dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050984677> Acesso em: 07 abr. 2025.

PLANET. Addendum to Planet Basemaps Product Specifications, 2022a. Disponível em: https://assets.planet.com/docs/NICFI_Basemap_Spec_Addendum.pdf . Acesso em: 01 abr. 2025.

PLANET; GLOBAL FOREST WATCH. “Planet imagery is no longer available on GFW as of April 1, 2025”. Global Forest Watch, 1 abr. 2025. Disponível em: <https://www.globalforestwatch.org/blog/data-and-tools/planet-imagery-changes-gfw/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

PISANI, Rodrigo José. “Análise do conflito de uso e cobertura da terra em Áreas de Preservação Permanente – APP, nas regiões urbanas e periurbanas de Nepomuceno-MG”. **Caderno de Geografia (PUC-Minas)**, 2023. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/31321>. Acesso em: 05 abr. 2025.

REZENDE, Camila Linhares. *et al.* “From hotspot to hopespot : An opportunity for the Brazilian Atlantic”. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, p. 208–214, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002> acesso em: 23 Fev. 2025.

RUAS, Wallace Vinicius Martins; SILVA, Lucas Augusto Pereira da; et al. “Uso e cobertura da terra em Áreas de Preservação Permanente – Montes Claros, norte do estado de Minas Gerais”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 4, p. 3101–3113, 2025. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.4.p3101-3113>.

SINGH, Pramod K; CHUDASAMA, Harpalsinh. “Pathways for climate resilient development: Human well-being within a safe and just space in the 21st century”. **Global Environmental Change**, v. 68. p.102-277, mai. 2021. Disponível em: [10.1016/j.gloenvcha.2021.102277](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102277) . Acesso em: 03 abr. 2025.

TESTEZLAF, Roberto. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp, 2017.

VALE, C. C.; SILVA, A. L. “Classificação supervisionada dos maciços vegetais e cobertura do solo no aglomerado urbano de São Raimundo”. **Acta Tecnológica**, v. 14, n. 1, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ifma.edu.br/index.php/actatecnologica/article/view/924/126126169>. Acesso em: 02 mai. 2024.

XAVIER DA CRUZ, J.; OLIVEIRA, F. “Comparação de classificadores para imagens Sentinel-2 no QGIS: Máxima Verossimilhança vs Random Forest”. **Cadernos Leste**, v. 24, n. 2, p. 123-140, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/download/36861/29973/123949>. Acesso em: 26 ago. 2025.