

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA EM PIRAÍ DA SERRA – PARANÁ

Geovani Henrique Barth KRÜGER¹

Gilson Burigo GUIMARÃES²

RESUMO

A análise espaço-temporal do uso da terra permite uma avaliação da paisagem no que diz respeito ao avanço ou à retração de áreas antrópicas ou de remanescentes de vegetação, à evolução das atividades econômicas regionais, à visualização do cumprimento da legislação ambiental, além de subsidiar o planejamento e o ordenamento territorial. O objetivo deste trabalho é analisar a região conhecida como Piraí da Serra, nos Campos Gerais, no estado do Paraná, entre os anos de 1985 e 2021, com imagens da coleção 7.1 obtidas junto ao projeto MapBiomias. Utilizou-se o *software QGIS* para a espacialização dos dados e a confecção das estatísticas espaciais da paisagem (área percentual e absoluta e número de fragmentos). As classes com maior aumento foram a Silvicultura (298%), seguida da Formação Natural Não Florestal (213%). Os dados indicam uma contradição entre o avanço da silvicultura (condizente com a expansão do setor madeireiro na região) e a recuperação dos Campos Naturais. Contudo, parte desse aumento pode estar superestimada devido à resolução e à confusão espectral com áreas de pastagens e culturas sazonais. Sendo uma área de APA, cabe ao poder público a fiscalização e a tentativa de conciliar a conservação com a produção do setor madeireiro.

Palavras-chave: MapBiomias. Silvicultura. Monitoramento Ambiental. Campos Naturais.

¹ Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

² Docente do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE IN PIRAÍ DA SERRA – PARANÁ

ABSTRACT

Spatio-temporal analysis of land use allows an assessment of the landscape in terms of the advance or retreat of anthropogenic areas or remnants of vegetation, the evolution of regional economic activities, the visualization of compliance with environmental legislation, as well as subsidizing territorial planning and management. The aim of this paper is to analyze the region known as Piraí da Serra, in Campos Gerais, in the state of Paraná, between 1985 and 2021, with images from the 7.1 collection obtained from the MapBiomas project. QGIS software was used to spatialize the data and compile the spatial statistics of the landscape (percentage and absolute area and number of fragments). The classes with the greatest increase were silviculture (298%); followed by Non-forest natural formation (213%). The data indicates a contradiction between the advance of silviculture (consistent with the expansion of the timber sector in the region) and the recovery of natural fields. However, part of this may be overestimated, due to spectral resolution and confusion with pasture areas and seasonal crops. As this is an APA area, it is up to the public authorities to monitor and try to reconcile conservation and production in the timber sector.

Keywords: MapBiomas. Silviculture. Environment Monitoring. Natural Fields.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado para realizar diversos tipos de análise da paisagem, mostrando-se de grande utilidade para uma variedade de estudos sobre o meio ambiente, além de facilitar a efetivação espacial do planejamento e da gestão territorial.

Um dos produtos mais comuns do sensoriamento remoto são as imagens de satélite, muitas das quais são disponibilizadas gratuitamente por órgãos e agências espaciais de diversos países. Essas imagens, quando trabalhadas em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), podem gerar inúmeros produtos e ser utilizadas para uma série de finalidades, sendo uma delas a espacialização da cobertura e do uso da terra.

Florenzano (2011) argumenta que, com o uso de imagens de satélite de diferentes épocas, pode-se identificar o uso da terra e sua transformação ao longo do tempo. Essa ferramenta constitui um recurso essencial para a fiscalização do cumprimento da legislação ambiental, pois sua interpretação possibilita a identificação de áreas desmatadas, queimadas ou ocupadas irregularmente.

Esse mesmo autor ainda reforça a importância do aspecto multitemporal das imagens de satélite, que **permitem** o monitoramento da substituição de formações naturais por antrópicas, possibilitando, por exemplo, acompanhar e mapear as mudanças no uso da terra ao longo dos anos.

Para Souza *et al.* (2020), a cobertura da terra refere-se às características da superfície da terra, enquanto o uso da terra é o produto da interação dessas características com o trabalho humano.

A temática de uso da terra vem ganhando cada vez mais relevância devido à emergência da questão ambiental, sendo utilizada para verificar se as áreas estão ou não sendo conservadas como deveriam, em consonância com as legislações de uso e/ou conservação ambiental.

Para a análise do uso da terra, passou-se a utilizar cada vez mais as chamadas métricas espaciais, obtidas por meio de *softwares SIG*, que consistem em um conjunto de índices ou medidas, desenvolvidos primariamente na Ecologia da Paisagem (García-Álvarez; Paegelow, 2022). Atualmente, existe um conjunto de métricas que fornecem informações sobre tamanho, forma, número e posição de fragmentos, com diversas aplicações nos campos de pesquisa ecológica

(Jung, 2016).

Por isso, passaram também a ser conhecidas como métricas da paisagem. Entende-se como métricas da paisagem os dados quantitativos concebidos para caracterizar padrões ou tendências de evolução de uma paisagem, permitindo tecer conclusões sobre seu estado (Erb, 2015; Jung, 2016; García-Álvarez; Paegelow, 2022). Erb (2015) ainda indica que o uso dessas informações é valioso, permitindo a quantificação, o mapeamento e o rastreamento do uso da terra no espaço e no tempo.

García-Álvarez e Paegelow (2022) ainda nos lembram que as métricas da paisagem são altamente dependentes da escala e de suas resoluções espaciais e temáticas. Portanto, devem ser utilizadas com cautela ao comparar mapas elaborados com diferentes resoluções ou escalas.

Segundo Erb (2015) há dois aspectos dos indicadores biofísicos de uso da terra: a extensão e a intensidade. Nesse trabalho, propõe-se mensurar a extensão do uso da terra (expressa em km²) e suas mudanças ao longo do tempo, considerando o aumento ou a diminuição de um uso em detrimento de outro.

A pesquisa teve como principal objetivo realizar uma análise espaço-temporal do uso da terra na região de Piraí da Serra, Paraná, com dados do Projeto MapBiomas, entre 1985 e 2021, da Coleção 7.1, disponibilizados gratuitamente em abril de 2023 no site do projeto (MapBiomas, 2023a), e de uma imagem da Coleção Beta, do ano de 2021 (MapBiomas, 2023b), divulgada em agosto de 2023. Em intervalos temporais de sete ou oito anos, buscou-se identificar tendências ou padrões de crescimento ou redução de áreas antrópicas e naturais, com a expectativa de aumento das primeiras. Posteriormente, compararam-se os resultados alcançados com os trabalhos de Prieto (2007) e de Ramos *et al.* (2010), referentes aos anos de 2000 e 2006/2007.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a presente pesquisa, selecionou-se uma área denominada Piraí da Serra, situada na região dos chamados Campos Gerais do Paraná, levando em conta as características naturais definidas por Maack (1948, 2017). Essa região é considerada uma área fitogeográfica, ou seja, caracterizada por sua vegetação, que inclui campos limpos e campos cerrados, além de matas de

galeria galerias da Floresta Ombrófila Mista, localizadas na borda oriental do Segundo Planalto Paranaense (Melo; Moro; Guimarães, 2010). Essa definição considera tanto os aspectos fitogeográficos quanto os geomorfológicos, que também refletem seu substrato geológico.

Piraí da Serra configura-se como uma região devido, principalmente, às suas feições geomorfológicas peculiares, caracterizadas por escarpas, cânions alinhados na direção NW-SE, topos mais aplainados, relevo ruiforme, entre outras particularidades. Sua evolução foi geologicamente condicionada pelo enxame de diques de rochas ígneas básicas (Melo *et al.*, 2004).

Apesar dessas características físicas dificultarem o processo de ocupação, a região não está isenta da pressão exercida pelos setores agrícola e silvícola, o que tem modificado seu uso tradicional, baseado na pecuária extensiva e na agricultura de subsistência (Ramos *et al.*, 2010).

Vários estudos acerca da região identificaram uma grande riqueza em biodiversidade, geodiversidade e registros arqueológicos singulares (ver Melo *et al.*, 2004; Mochiutti, Guimarães e Melo, 2011; Oliveira *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2022; Pontes *et al.*, 2023; Pontes; Massuqueto, 2023). Certamente, ainda há necessidade de mais investigações científicas para uma compreensão mais aprofundada de seu patrimônio natural e cultural.

Piraí da Serra ocupa uma área de aproximadamente 513 km², localizada na região centro-oriental do estado do Paraná, no Segundo Planalto Paranaense (ou Planalto de Ponta Grossa), estando inteiramente inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) da Escarpa Devoniana. A região abrange parte dos municípios de Tibagi, a sudoeste; Piraí do Sul, a nor-nordeste; e Castro, a sudeste (Oliveira *et al.*, 2015).

A denominação Piraí da Serra é atribuída a um setor que ocupa a parte centro-nordeste dos já mencionados Campos Gerais, limitando-se ao norte e noroeste pelo rio Guaricanga-Fortaleza, a nordeste pela rodovia PR-090, a sudoeste pelo rio Iapó e a sudeste pela Escarpa Devoniana (Figura 1).

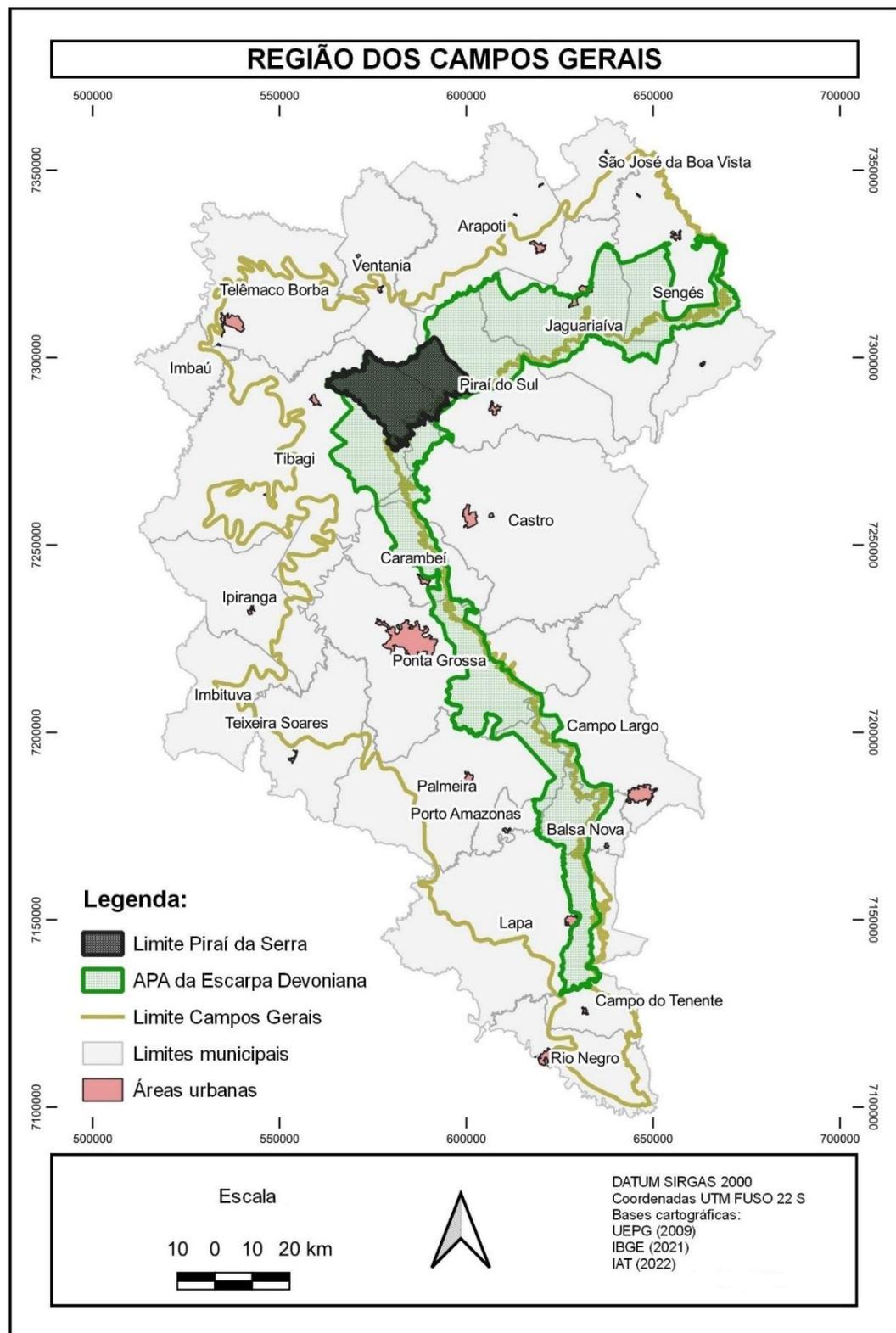


Figura 1 – Localização da região de Pirai da Serra nos Campos Gerais

Fonte: Os Autores, 2023.

Toda a região de Piraí da Serra está inserida na APA da Escarpa Devoniana, criada pelo Decreto Estadual nº 1.231, de 27 de março do ano de 1992 (PARANÁ, 1992). Com uma área de 392.363,38 hectares, distribuída por 13 municípios, trata-se da maior unidade de conservação do estado do Paraná.

O plano de manejo foi elaborado apenas em 2004 (IAP, 2004, p. 9), e indica que o principal objetivo da criação da APA é:

Assegurar a proteção do limite natural entre o Primeiro e o Segundo Planaltos Paranaenses, inclusive faixa de Campos Gerais, que se constituem em ecossistema peculiar que alterna capões da floresta de araucária, matas de galerias e afloramentos rochosos, além de locais de beleza cênica como os canyons e de vestígios arqueológicos e pré-históricos.

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) da APA estabelece três zonas de proteção ambiental, doze zonas de conservação ambiental, oito zonas de uso especial e três zonas de proteção especial. A região de Piraí da Serra abriga, em sua porção norte e noroeste, a Zona de Conservação (ZC6) e a Zona de Proteção Ambiental (ZP2).

Na primeira zona, são proibidas atividades como caça, retirada de áreas de APP, exploração mineral, corte de vegetação natural de qualquer porte, substituição de vegetação nativa por silvicultura, entre outras. São recomendadas para a área atividades como: fomento à educação ambiental, incentivo ao desenvolvimento de atividades agroecológicas e normatização das atividades turísticas, além da implantação de uma Unidade de Conservação (UC) na margem esquerda do rio Fortaleza, dentro da área de estudo (IAP, 2004).

Na segunda zona, são proibidas atividades como a implantação de novas áreas de reflorestamento e agricultura que suprima a vegetação nativa, a instalação de indústrias e a construção de represas para geração de energia, entre outras. Para essa zona, são recomendadas ações como desenvolvimento de estudos mais detalhados sobre a fauna, o mapeamento de sítios arqueológicos e paleontológicos, caminhos e construções históricas, o controle da expansão de espécies exóticas e o incentivo à realização de estudos de capacidade de carga para o turismo, além da ampliação do Parque Estadual do Guartelá (IAP, 2004).

Ainda existem, nessa região, duas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs): a RPPN Itáytyba e a RPPN Fazenda Mocambo, localizadas junto ao Parque Estadual do Guartelá,

nas imediações do rio Iapó, na porção sul-sudoeste da área de estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No Brasil, um país de dimensões continentais com vários biomas e, portanto, com grandes desafios no mapeamento de referência do uso e cobertura da terra, a iniciativa do Projeto MapBiomias, criada em 2015 por meio da colaboração de ONGs, universidades e startups de tecnologia, visa produzir um mapeamento confiável, rápido, acessível e atualizado do uso e cobertura da terra em todo território nacional, ganhando destaque nos últimos anos.

Para Rosa (2017), o Projeto MapBiomias produz mapas de uso da terra com uma série temporal e coerência espacial. Como suas classes são definidas com base nos sistemas de classificação da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Souza *et al.*, 2020), a iniciativa é, evidentemente, de grande valia para diversos estudos, como avaliação de políticas de conservação, o impacto das mudanças climáticas e o mapeamento de riscos de doenças humanas.

Dessa forma, contribuem para toda a comunidade científica, para os formuladores de políticas públicas e para as organizações da sociedade civil, possibilitando uma compreensão mais ampla da evolução da dinâmica dos biomas (Souza *et al.*, 2020).

O uso do solo é mapeado de acordo com as especificidades de cada um dos seis biomas oficiais: Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal. O processo envolve a aplicação de filtros espaciais e temporais, a integração de mapas, a análise das transições de uso e cobertura do solo, a avaliação de precisão e a estimativa de área com base em amostras de pixels. Essas amostras são interpretadas por três pesquisadores e, em caso de discordância, a decisão final cabe a um pesquisador sênior (Souza *et al.*, 2020).

A Coleção 7.1 foi publicada em abril de 2023 e abrange o período de 1985 a 2021. Neste estudo, foram considerados os anos de 1985, 1992, 2000, 2007, 2014 e 2021. A escolha da imagem de 1985 deve-se ao fato de ser o primeiro ano disponível na coleção; 1992, por ser o ano de criação da APA da Escarpa Devoniana; 2000 e 2007, para possibilitar a comparação com outros estudos semelhantes realizados na região nesses anos; 2014, para manter uma periodicidade aproximada

de sete anos; e 2021, por ser o dado mais recente disponível na coleção.

As imagens raster dos mosaicos da área de estudo foram baixadas em formato GeoTIFF, por meio da plataforma *Google Earth Engine*, que as seleciona e categoriza automaticamente com base em critérios de nebulosidade e qualidade. Os dados estão disponíveis no projeto MapBiomias para os anos mencionados anteriormente.

Para a identificação do uso da terra e de sua evolução, foi realizada uma comparação entre mosaicos imagens Landsat 7, produzidos pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pelo *United States Geological Survey* (USGS), com resolução de 30 metros. Também foi utilizada uma imagem do mosaico da Coleção Beta, Sentinel-2, com resolução de 10 metros, confeccionada seguindo os mesmos padrões das demais coleções disponibilizadas pelo projeto MapBiomias. A imagem referente ao ano de 2021, foi empregada para comparação com a de menor detalhe do mesmo ano.

A classificação da coleção 7.1 do MapBiomias estabelece 27 classes, sendo 6 principais. Para a representação gráfica deste estudo, foram utilizadas 6 classes: 4 iguais às do MapBiomias, a classe “6. Não observado”, que não estava presente na área, foi excluída, e a subclasse “3.3 Silvicultura” foi desmembrada da agropecuária em uma nova classe (Figura 2). Dessa forma, buscou-se, além de facilitar a visualização dos dados com menos classes, a diferenciação das áreas antrópicas e naturais, bem como a identificação das áreas de silvicultura que, em campo, pareceram estar em expansão.

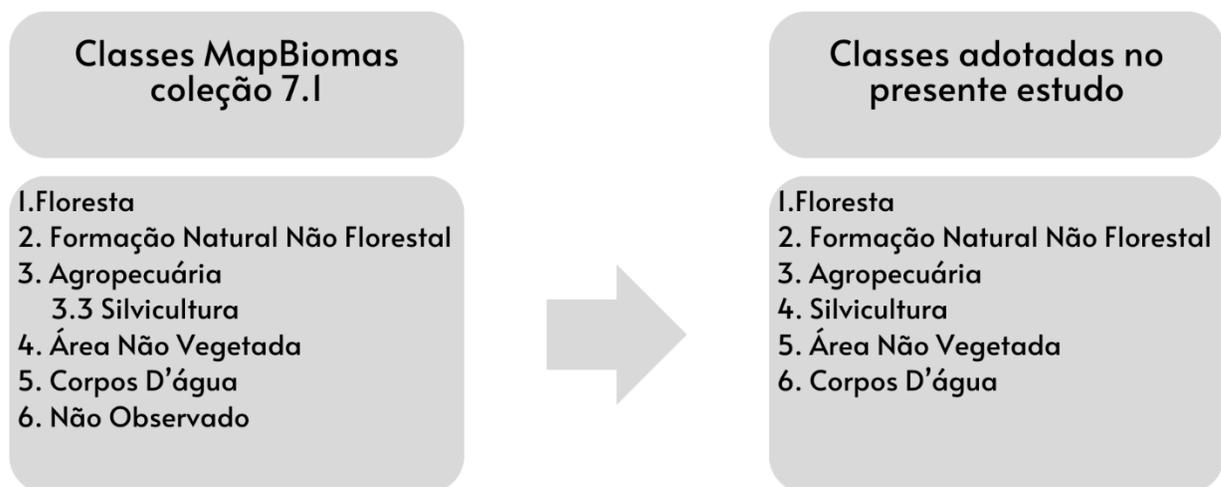


Figura 2 – Classes de uso da terra adotadas

Fonte: Os Autores, 2025.

As imagens *raster* foram espacializadas utilizando o *software QGIS 3.16.11* e tratadas de acordo com as especificações do Manual Técnico em Geociências nº 14 (IBGE, 2019). Posteriormente, para a obtenção das métricas da paisagem e compreensão de sua evolução, foi utilizado o plugin “*Landscape Ecology Statistics (LecoS)*”. Selecionaram-se as seguintes métricas: área absoluta de cada classe (*Land cover*), área percentual de cada classe (*Landscape proportion*) e o número de fragmentos de cada classe (*number of patches*), extraídos para um arquivo (.csv), que foi trabalhado no programa *Microsoft Excel 2016*, possibilitando calcular sua variação de área ao longo dos anos.

De acordo com García-Álvarez e Paegelow (2022), as métricas da paisagem aqui utilizadas nos fornecem uma visão do espaço ocupado por cada classe no mapa, ou seja, as proporções ou áreas ocupadas por cada classe, independentemente de sua localização.

Finalmente, os resultados obtidos para os anos de 2000 e 2007 foram comparados com outros dois estudos anteriores sobre o uso do solo (Prieto, 2007 e Ramos *et al.*, 2010), realizados na mesma área.

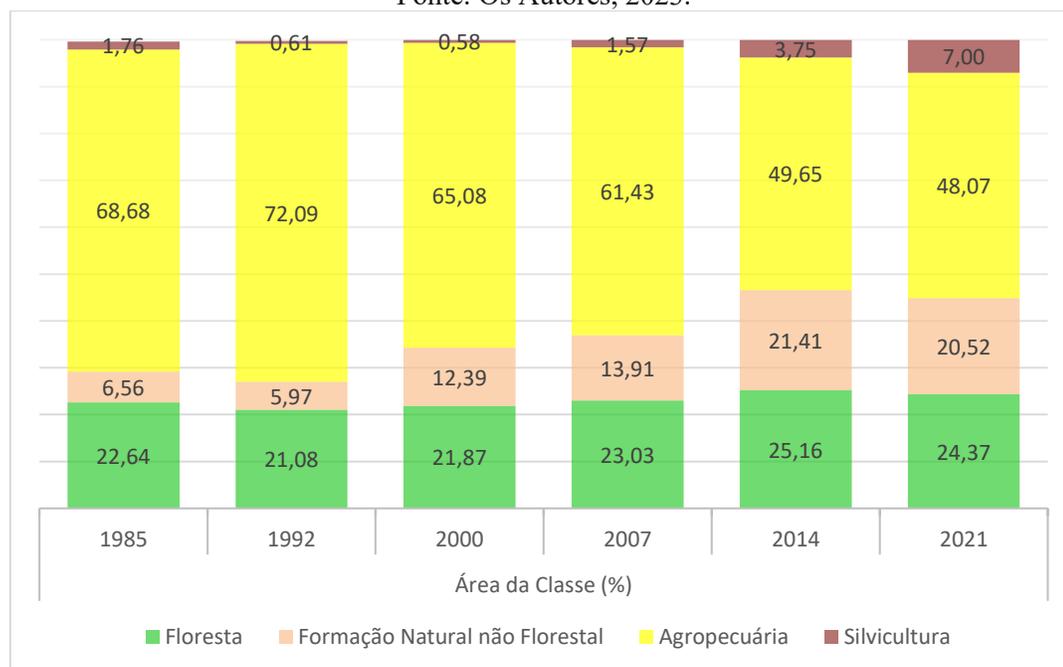
4 RESULTADOS

Ao analisar a distribuição espacial e temporal das classes na Figura 3, observar-se a evolução do uso da terra na região de Piraí da Serra entre 1985 e 2021. A maior área era ocupada pela agropecuária, que, ao longo do período analisado, perdeu cerca de 30% de seu espaço (Tabela 1 e Figuras 3 e 4). Além da redução, houve também um aumento no número de fragmentos (Tabela 2), que agora se concentram na porção norte-noroeste da área, onde o relevo mais plano, enquanto o restante da região apresenta-se altamente fragmentado.

Tabela 1 – Evolução do uso da terra em Piraiá da Serra - 1985 – 2021 (km²)

Classes de uso da terra	Anos analisados						Aumento ou diminuição
	Áreas da classe (km ²)						
	1985	1992	2000	2007	2014	2021	
Floresta	116,06	108,04	112,10	118,08	128,96	124,93	8%
Formação Natural Não Florestal	33,63	30,60	63,51	71,32	109,74	105,20	213%
Agropecuária	352,06	369,51	333,56	314,90	254,46	246,36	-30%
Silvicultura	9,01	3,12	3,00	8,03	19,22	35,86	298%
Área Não Vegetada	0,95	0,05	0,06	0,04	0,03	0,07	-93%
Corpos D'água	0,90	1,24	0,32	0,24	0,14	0,13	-86%

Fonte: Os Autores, 2023.

**Figura 3 - Evolução do uso da terra em Piraiá da Serra (1985 – 2021)**

Fonte: Os Autores, 2023.

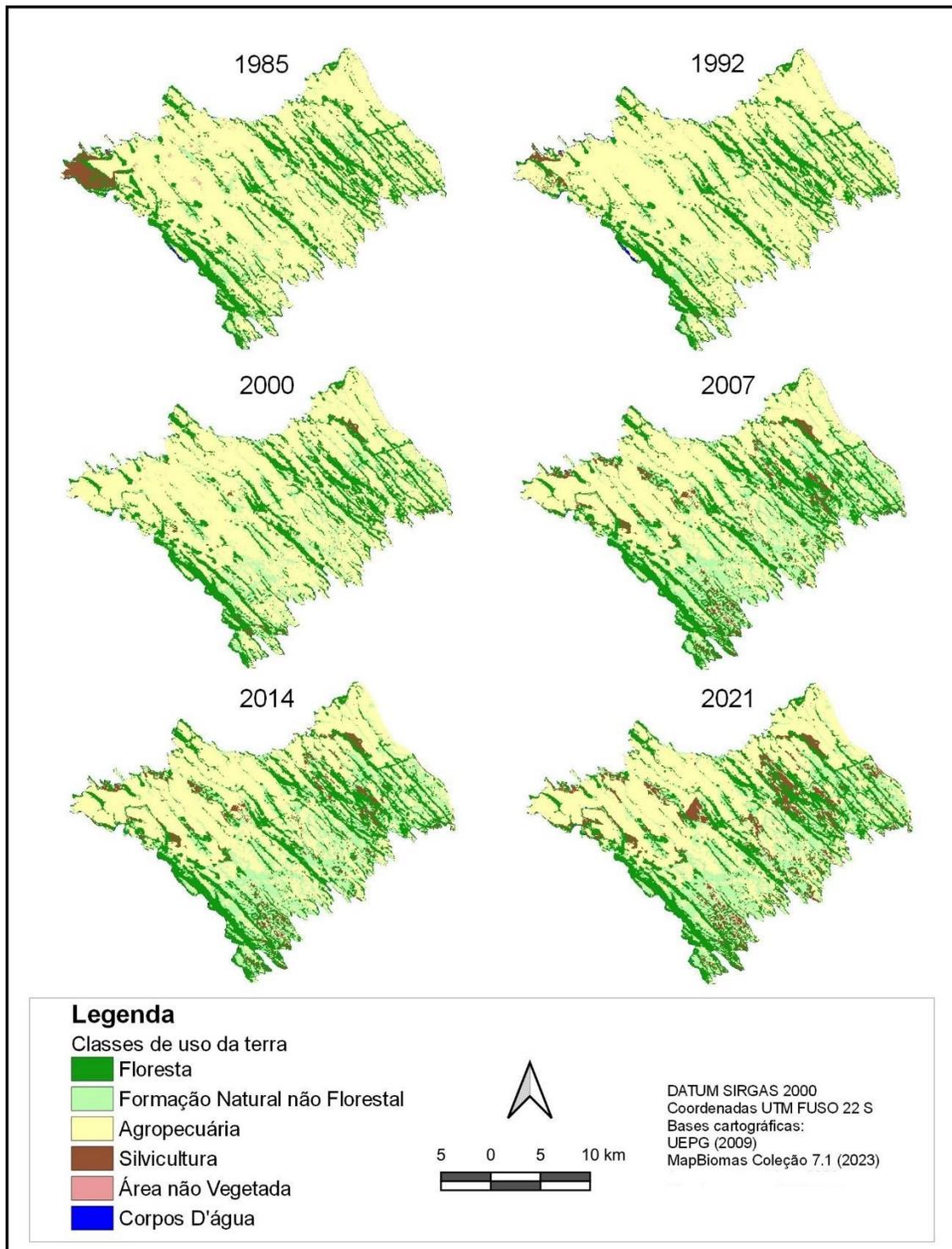


Figura 4 - Evolução do uso da terra em Pirai da Serra (1985 – 2021)

Fonte: Os Autores, 2023.

O percentual de áreas ocupadas por florestas permaneceu relativamente estável, com um pequeno aumento ao longo do período analisado (Figura 3), geralmente em forma de galerias no sentido SE-NW (Figura 4). O maior fragmento florestal estava localizado na porção sul-sudoeste, onde se encontram as UCs de proteção integral. A cobertura florestal acompanha os contrastes do relevo, ou seja, os cânions e as áreas de maior declividade, comprovando a grande influência geológica e geomorfológica na preservação desses fragmentos.

As florestas mantiveram seu formato de corredores, com um certo adensamento e elevada fragmentação na porção sul. Conforme os dados quantitativos de fragmentos (Tabela 2), verifica-se que, apesar do incremento na cobertura florestal, houve um aumento significativo de 56% na fragmentação. Esse cenário é preocupante devido às consequências ecológicas para a fauna, em especial para os carnívoros, que dependem de habitats mais extensos.

Tabela 2 – Evolução do número de fragmentos das classes de uso da terra em Pirai da Serra - 1992 – 2021 (km²)

Classes de uso da terra	Número de fragmentos						Aumento ou diminuição
	1985	1992	2000	2007	2014	2021	
Floresta	735	743	848	982	1180	1144	56%
Formação Natural Não Florestal	1457	1533	1746	1432	1142	1136	-22%
Agropecuária	366	312	624	606	842	1016	178%
Silvicultura	28	103	126	318	589	588	2000%
Área Não Vegetada	50	8	7	4	3	6	-88%
Corpos D'água	69	80	50	45	29	19	-72%

Fonte: Os Autores, 2023.

A área de formação natural não florestal (principalmente campos) era reduzida e altamente fragmentada, ocorrendo frequentemente em adjacência às áreas florestais. Analisando sua evolução temporal, observa-se uma expressiva recuperação na porção central e sudeste de Pirai da Serra. Essa foi a classe natural que registrou o maior aumento areal, de 33,63 km² em 1985 para 105,20 km² em 2021 (Tabela 1), acompanhado por uma redução de 22% no número de fragmentos (Tabela 2) – um indicativo de processos de consolidação vegetacional, seja pela recuperação dos campos naturais, seja coalescência de fragmentos preexistentes.

A silvicultura apresentava-se como um grande fragmento no extremo oeste da região, além de outros fragmentos menores ao sul. Ao longo dos anos analisados, observou-se um expressivo avanço dessa atividade, principalmente nos dois últimos, com ocupação de áreas próximas às UCs de preservação integral, localizadas ao sul da região, um grande fragmento no centro e a maior concentração no centro-nordeste (Figura 4). Em termos percentuais, a silvicultura foi a classe que registrou o maior crescimento durante o período estudado, com um aumento de 298% em área (Tabela 1) e um incremento de 2.000% no número de fragmentos (Tabela 2).

As áreas não vegetadas e de corpos d'água se mantiveram-se muito reduzidos nesta resolução. Os corpos d'água estão distribuídos nos limites da região, em três pontos: dois ao norte e um a oeste. Tanto as áreas não vegetadas quanto os corpos d'água apresentam dimensões muito pequenas, possivelmente devido à resolução espacial de 30 metros, que pode não ser suficiente para representá-los adequadamente. Ambas as classes registraram grandes reduções no número de fragmentos - 88% e 72%, respectivamente (Tabela 2).

5 DISCUSSÃO

5.1 DISCUSSÃO DAS TÉCNICAS DE MAPEAMENTO

Embora empreguem nomenclaturas e metodologias distintas, é possível estabelecer comparações entre os resultados deste estudo e aqueles obtidos nas pesquisas anteriores Prieto (2007) e Ramos *et al.* (2010) sobre o uso da terra na região de Pirai da Serra, referentes aos anos de 2000 e 2007 (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação da evolução do uso da terra em Piraiá da Serra – 2000 e 2007

Classes de uso da terra	Área da Classe (%)					
	2000			2007*		
Diferentes estudos	Prieto (2007)**	Ramos <i>et al.</i> (2010)***	Presente estudo	Prieto (2007)**	Ramos <i>et al.</i> (2010)***	Presente estudo
Floresta Formação Natural	17,48	21,55	21,87	17,89	18,74	23,03
não Florestal	49,94	43,46	12,39	39,05	44,10	13,91
Agropecuária	31,21	33,82	65,08	36,70	35,63	61,43
Silvicultura	1,37	1,17	0,58	6,36	1,54	1,57

* Ramos *et al.* (2010) analisa o ano de 2006

** Prieto (2007) usa a nomenclatura: mata; campo; cultivo; monocultura florestal exótica

** Ramos *et al.* (2010) usa a nomenclatura: mata; campo; cultivo; reflorestamento

Fonte: Os Autores, 2023.

No que se refere à classe da floresta, não foram observadas diferenças significativas entre os estudos, com variações inferiores a 5%. Contudo, o mesmo padrão de estabilidade não se aplica às demais classes de uso da terra (Tabela 3).

Na classe da formação natural não florestal, a presente pesquisa – que utilizou os mosaicos prontos do MapBiomias – registrou valores percentuais significativamente inferiores tanto para 2000 quanto para 2007, com magnitudes aproximadamente três vezes menores em comparação aos estudos de referência (Tabela 3).

O mesmo padrão de discrepância foi observado para a classe agropecuária, cujos valores percentuais se mostraram substancialmente superiores nos dois anos analisados (2000 e 2007), atingindo aproximadamente o dobro dos valores reportados nos estudos anteriores (Tabela 3).

Quanto à classe da Silvicultura, registraram-se as menores discrepâncias entre os estudos analisados. Uma exceção notável ocorreu em 2007, quando Prieto (2007) reportou um valor percentual aproximadamente quatro vezes superior aos identificados tanto no presente estudo quanto na pesquisa de Ramos *et al.* (2010).

As significativas divergências observadas, particularmente nas classes de formação natural não florestal e agropecuária, podem ser atribuídas a múltiplos fatores. Entre os mais relevantes, destacam-se: (i) os avanços metodológicos nos sistemas de classificação automatizada de imagens, e (ii) os critérios de seleção e processamento das cenas utilizadas pelo MapBiomias. Esses

elementos metodológicos, podem explicar as discrepâncias identificadas entre os diferentes estudos.

As diferenças observadas se devem, em parte, pelas distintas escalas e resoluções espaciais adotadas nos estudos. Ramos *et al.* (2010) empregaram uma escala de mapeamento de 1:50.000, enquanto Prieto (2007) utilizou imagens Landsat-7 pancromáticas (15 m de resolução) para 2000 e imagens CBERS-2, com sensor CCD (20 m de resolução) para 2007. Essas diferenças metodológicas – particularmente a maior escala de mapeamento e a menor resolução espacial – contribuíram para as discrepâncias nos resultados.

Os resultados demonstram que a escala de mapeamento constitui um fator determinante na espacialização e análise do uso da terra. Considerando essa premissa, procedeu-se à avaliação da coleção Beta (lançada em agosto de 2023), que adota a mesma metodologia do MapBiomass, porém utilizando imagens Sentinel-2 com resolução espacial de 10 metros. Em virtude da série temporal mais restrita (2016-2022), realizou-se uma análise comparativa específica para o ano de 2021 entre os dois mosaicos (Figura 5 e Tabela 4).

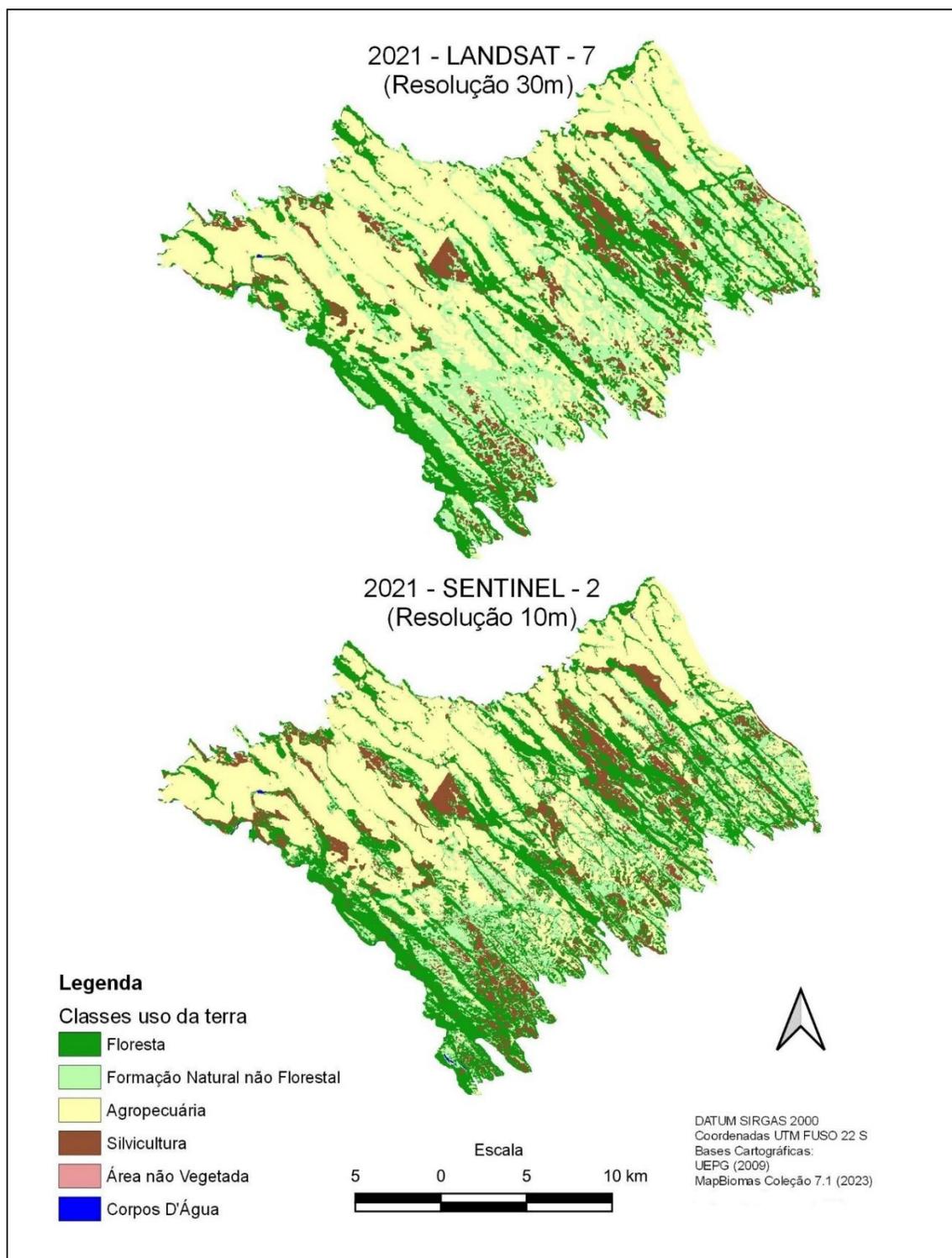


Figura 5 - Uso da terra em Pirai da Serra (2021)

Fonte: Os Autores, 2023.

Tabela 4 - Comparação dos mapeamentos do uso da terra em Pirai da Serra – 2021

Classes de uso da terra Anos analisados Resolução	Área da Classe (%)		Área da Classe (km ²)			Número de Fragmentos		
	2021 (30m)	2021 (10m)	2021 (30m)	2021 (10m)	Diferença percentual	2021 (30m)	2021 (10m)	Diferença percentual
Floresta	24,37	30,60	124,93	156,87	26%	1144	4419	286%
Formação Natural não Florestal	20,52	14,68	105,20	75,26	-28%	1136	5591	392%
Agropecuária	48,07	43,91	246,36	225,09	-9%	1016	3341	229%
Silvicultura	7,00	10,71	35,86	54,92	53%	588	2625	346%
Área não Vegetada	0,01	0,02	0,07	0,08	14%	6	29	383%
Corpos D'água	0,03	0,07	0,13	0,36	177%	19	91	379%
Total de fragmentos						3909	16096	336%

Fonte: Os Autores, 2023.

De modo geral, a análise comparativa dos dois cartogramas não revela discrepâncias significativas em termos de distribuição espacial. Contudo ao analisar as métricas de área das classes mapeadas, constata-se variações relevantes. A principal divergência reside no incremento substancial de fragmentos pequenos de floresta e silvicultura – particularmente na porção sul-sudeste de Pirai da Serra -, com aumentos de 286% e 346%, respectivamente (Tabela 4).

Os dados quantitativos da Tabela 4 evidenciam tendências distintas: (i) expansão das classes floresta (+26%), silvicultura (+53%) e corpos d'água (+177%); e (ii) expressiva redução da formação natural não florestal (-28%), que apresentou simultaneamente o maior índice de fragmentação.

Os resultados corroboram a expectativa teórica, revelando um incremento médio de 300% na quantidade de fragmentos em todas as classes analisadas (Tabela 4). Esse padrão está diretamente associado à maior resolução espacial do método empregado, que permite a identificação de unidades paisagísticas menores e mais numerosas.

Em estudo comparativo sobre metodologias de classificação de uso do solo no bioma Mata Atlântica, Rosa (2017) demonstrou que o método do MapBiomas apresenta uma conceituação mais abrangente para a classe de floresta em comparação com a metodologia do SOS Mata Atlântica/INPE. Essa diferença conceitual torna-se evidente ao analisar os resultados do segundo mapeamento de 2021, realizado com maior resolução espacial, que registrou um incremento de 26% da área de floresta em relação ao mapeamento anterior.

O nível de acurácia da coleção 7.1 para o nível 1 do bioma da Mata Atlântica é de 90,4%, e de 85,2% para o nível 2 (os analisados neste trabalho), em escala 1:250.000. Recomenda-se o uso até em escala 1:100.000 (MapBiomias, 2023c). Porém, de acordo com Souza *et al.* (2020), os níveis de acurácia para a classe formação natural não florestal caem para cerca de 60%. Segundo esses autores, a menor precisão é causada pela confusão espectral com outras classes, como pastagens e áreas com atividades agrícolas, que tem variações sazonais.

Prieto (2007) já indicava que havia essa confusão espectral à época de seu estudo, devido ao Pinus ser plantado no meio dos campos nativos. Dessa forma, devido à resolução espacial, muitas áreas não eram captadas corretamente e ainda eram classificadas como campos, mesmo já tendo sido suprimidas por novas áreas de silvicultura.

5.2 ANÁLISE EVOLUTIVA DA PAISAGEM DA REGIÃO DE PIRAÍ DA SERRA - PARANÁ (1985 – 2021)

A análise detalhada dos dados do MapBiomias, obtidos a partir de mosaicos Landsat 7 com resolução espacial de 30 metros, revela que, ao longo do período de 36 anos analisado, aproximadamente 16% da área estudada pode ter passado por processos de regeneração natural, convertendo-se em vegetação natural secundária.

As classes de vegetação natural (floresta e formação natural não florestal) apresentaram uma evolução significativa no período analisado, passando de 29,20% da área total em 1985 para 44,89% em 2021 (Figura 3). Destaca-se o expressivo crescimento da formação natural não florestal, que evoluiu de 6,56% para 20,52% no mesmo intervalo temporal - um incremento relativo de aproximadamente 213% (Tabela 1).

No entanto, esse expressivo incremento percentual não é perceptível em campo, uma vez que extensas áreas de silvicultura - devido à dispersão aérea de suas sementes - acabam contaminando as áreas vegetadas adjacentes, particularmente em formações campestres (Figura 6).



Figura 6 – Bosque de “pinus” em Piraí do Sul, Paraná (2021)

Fonte: Os Autores, 2021.

Esse fenômeno constitui uma significativa preocupação ecológica, por desencadear profundas alterações na dinâmica dos ecossistemas. Tanto a fauna quanto para a flora, são afetadas por alterações abaixo e acima do nível do solo, em propriedades como o pH, o regime hidrológico, a estrutura e composição vegetal, além da supressão da vegetação nativa, principalmente dos campos.

É importante destacar que nem sempre, como verificado principalmente no segundo mapeamento, os menores fragmentos representam necessariamente áreas comerciais de florestamento de “pinus”. Eles podem representar “bosques” que cresceram a partir da dispersão eólica de áreas próximas de cultivo, suprimindo paulatinamente a vegetação natural e descaracterizando a paisagem da região, como indicam Mochiutti; Guimarães e Guimarães (2023).

A Portaria nº 257/2023 (IAT, 2023), publicada em 23 de maio, pelo Instituto Água e Terra (IAT) estabelecia mecanismos mais eficientes para o controle de espécies exóticas invasoras e vedava a implantação de novas áreas de cultivo. Em conjunto com as portarias nº 258 e 259/2023 – anunciadas como o “marco da biodiversidade do Paraná”, pela agência de notícias oficial do estado (PARANÁ, 2023a) -, essas normas representariam um avanço significativo na política ambiental do estadual. Contudo, imediatamente limitada: as portarias foram suspensas poucos dias após a sua publicação, sob pressão dos setores produtivos.

Posteriormente, o governo estadual instituiu consulta pública para a elaboração da Política Estadual de Biodiversidade (5 de junho a 4 de agosto de 2023), alegando a necessidade de ampla participação social. Esse processo, contudo, tende a resultar em significativas alterações normativas que, muito provavelmente, reduzirão o alcance ambiental originalmente previsto – especialmente nos Campos Gerais – conhecidos pela sua relevância ecológica e alto grau de ameaça.

As classes antrópicas (agropecuária e silvicultura) apresentaram redução conjunta de 70,44% (1985) para 55,07% (2021), na composição do uso da terra, correspondendo a um decréscimo de quase 16%. Entretanto, essa tendência geral mascara comportamentos distintos: enquanto a redução foi representada unicamente pela agropecuária, a silvicultura teve aumento de 1,76% (1985) para 7,00% (2021) (Figura 3).

A redução da área de agropecuária, conforme observou por Ramos *et al.* (2010), e a consequente regeneração da área de campos podem ser decorrentes do abandono de áreas com solos de baixa produtividade agropecuária, ou ainda de variações internacionais nos preços das commodities, especialmente da soja, que tem grande presença regional. Esse fato também pode ser decorrente do processo de georreferenciamento das propriedades rurais e da legalização das Áreas de Preservação Permanente (APP).

Ramos *et al.* (2010, p.91) já alertava que:

Certamente a demanda por matérias-primas para a indústria madeireira e de papel implicará na expansão das áreas de plantio, com forte pressão sobre as áreas hoje ainda preservadas. É necessário que o poder público assuma a responsabilidade de atender às necessidades desse importante setor industrial, mas sem comprometer a conservação de áreas que ainda preservam os últimos remanescentes do patrimônio natural da região dos Campos Gerais.

Santos (1992) já dizia que a unificação dos processos produtivos, decorrente da mundialização do capital, guia a exploração da natureza de acordo com as necessidades geradas no sistema. Ou seja, o uso da terra acaba sofrendo mudanças de acordo com os (re)arranjos decorrentes dos interesses e necessidades geradas pelo próprio sistema de acumulação capitalista, relegando a conservação da natureza a um segundo plano.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Campos Gerais, onde está inserida a região de Pirai da Serra, tem longa tradição nas atividades agropecuárias, desde à época do Tropeirismo. A análise espaço-temporal do uso da terra entre 1985 e 2021 permitiu visualizar uma redução de 30% em sua área, enquanto que a classe de formação natural não florestal aumentou 213%. Assinalando uma recuperação dos campos naturais que caracterizam a região. No entanto, a classe que mais cresceu em área foi a silvicultura com 298%.

Contudo, deve-se considerar que a resolução espacial de 30 metros pode ser insuficiente para uma análise mais detalhada da evolução do uso da terra na região de Pirai da Serra e da supressão dos campos nativos pela silvicultura, que preocupam tanto os pesquisadores quanto os ambientalistas da região.

É necessário realizar verificações de controle em campo, que exigiriam autorizações dos proprietários, algo nem sempre possível de ser obtido. Apesar de o próprio projeto MapBiomias recomendar o uso cauteloso do produto mais detalhado (resolução espacial de 10m), que ainda está em desenvolvimento, mostrou um acréscimo de 53% da área de silvicultura e uma redução de 28% da classe de formação natural não florestal, em comparação ao mapeamento com a resolução de 30m.

Deste modo, verifica-se que, muito provavelmente, as áreas de silvicultura e, sobretudo, suas contaminações adjacentes devem estar subestimadas. A área, que outrora era uma das mais preservadas dos Campos Gerais, vem sofrendo pressão da agricultura mecanizada e, notadamente, do setor madeireiro, que recentemente inaugurou uma nova grande planta produtiva na região, no município de Ortigueira, sendo considerada “o maior polo de produção de celulose do Brasil e um dos maiores do mundo.” (PARANÁ, 2023b).

Por conseguinte, é necessária a promoção de políticas públicas que busquem equacionar a preservação de seu patrimônio natural e seus remanescentes de campos nativos com a expansão do setor produtivo madeireiro, que gera milhares de empregos e divisas. O poder público deve se responsabilizar pela fiscalização do cumprimento da conservação das áreas de APP da APA da Escarpa Devoniana e adotar medidas mitigadoras em relação à contaminação das áreas próximas às silviculturas, principalmente nos arredores das UCs de preservação permanente.

8 REFERÊNCIAS

ERB, K-H. Land-use indicators. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, 2nd edition, v13, p. 238-244, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.91058-4>>. Acesso em: 24 abr. 2025.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128p.

GARCÍA-ÁLVAREZ, D.; PAEGELOW, M. Spatial metrics to validate land use cover maps. *In*: GARCÍA-ÁLVAREZ, D. *et al.* (Eds.) **Land use cover datasets and validation tools: validation practices with QGIS**. Cham: Springer, 2022. Part III. p. 205-228. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-90998-7>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Plano de manejo Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana**. Curitiba: IAP, 2004. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/apa_escarpa_devoniana_1_apa_pm.pdf Acesso em: 01 jul. 2023.

IAT – Instituto Água e Terra. **Portaria nº 257**, de 23 de maio de 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-05/2605pinus257.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Acesso e uso de dados geoespaciais: Manuais Técnicos de Geociências número 14**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 139p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101675.pdf>>. Acesso: 01 set. 2023.

JUNG, M. LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, n. 31, p.18–21, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006>>. Acesso em: 24. Abr. 2025.

MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, n.2, p.102-200, 1948.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4 ed. 1 reimp. Curitiba: Editora UEPG, 2017. 526p.

MAPBIOMAS – **Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2023a. Disponível em: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 05 jul. 2023

MAPBIOMAS – **Coleção Beta de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial**. 2023b. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/sentinel/lclu/coverage/brasil_sentinel_coverage_2021.tif>. Acesso em: 13 set. 2023

MAPBIOMAS. Estatística de acurácia. [S. l.], 2023c. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/estatistica-de-acuracia/colecao-7-1/>>. Acesso em: em 05 jul. 2023.

MELO, M. S., *et al.* Piraí da Serra - Proposta de nova unidade de conservação nos campos gerais do Paraná. **Publicatio Uepg**: Ciências Biológicas e da Saúde, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 85-90, set. 2004. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).
<http://dx.doi.org/10.5212/publ.biologicas.v.10i3.0010>. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/332116614_PIRAI_DA_SERRA_-_PROPOSTA_DE_NOVA_UNIDADE_DE_CONSERVACAO_NOS_CAMPOS_GERAIS_DO_PARANA. Acesso em: 23 jul. 2025.

MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (Org.) **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1ed atualizada. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2010. 230p.

MOCHIUTTI, N. F.; GUIMARÃES, G. B.; MELO, M. S. Os valores da geodiversidade da região de Piraí da Serra, Paraná. **Geociências**, 30(4), 651-668, 2011. Disponível em: <https://revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/30_4/Art_12_Mochiutti_et_al.pdf> Acesso em: 05 jul. 2022.

MOCHIUTTI, N. F.; GUIMARÃES, G. B.; GUIMARÃES, R. A. Front e reverso da escarpa devoniana: aspectos geográficos da área de estudo. *In*: PONTES, H. S.; MASSUQUETO, L. F. (Org.) **Projeto EspeleoPiraí**: em defesa do patrimônio natural de Piraí da Serra/ PR. Ponta Grossa: ABC Projetos, 2023. Cap. 2. p. 29-37.

OLIVEIRA, F. C. P.; *et al.* As pinturas rupestres na região de Piraí da Serra, Paraná. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S. l.], v. 33, p. 171–197, 2015. DOI:

10.5380/raega.v33i0.35945. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/35945>. Acesso em: 23 jul. 2025.

OLIVEIRA, K. E.; *et al.* Projeto EspeleoPiraí geodiversidade cárstica de Piraí da Serra/PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATRIMÔNIO GEOLÓGICO, 6., 2022, São Paulo. **Resumos** [...] São Paulo: USP, 2022. p. 126-127. Disponível em: https://6sbpg.igc.usp.br/wp-content/uploads/2024/02/Boletim_Resumos_VISBPG_2022.pdf. Acesso em 23 jul. 2025.

PARANÁ. Agência Estadual de Notícias. **Estado regulamenta cultivo de pinus e outras plantas exóticas invasoras no Paraná.** 2023a. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Estado-regulamenta-cultivo-de-pinus-e-outras-plantas-exoticas-invasoras-no-Parana>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PARANÁ. Agência Estadual de Notícias. **Klabin inaugura o projeto Puma II, maior investimento privado do Paraná.** 2023b. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Klabin-inaugura-o-projeto-Puma-II-maior-investimento-privado-do-Parana>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

PARANÁ. Decreto Estadual nº 1.231, de 27 de março de 1992. **Institui a Área de Proteção Ambiental denominada APA da Escarpa Devoniana.** 1992. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/pr/decreto-n-1231-1992-parana-declaracao-da-area-de-protecao-ambiental-para-assegurar-a-protecao-do-limite-natural-entre-os-planaltos-paranaense-e-locais-de-beleza-cenica-e-de-vestigios-arqueologicos-e-pre-historicos>. Acesso em: 23 jul. 2025.

PONTES, H. S. *et al.* First rupestrian representations of *araucaria angustifolia* in southern Brazil. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 33, n. 72, p. 174-201, 1 fev. 2023. Pontificia Universidade Catolica de Minas Gerais. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2023v33n72p174>. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/29976>. Acesso em: 23 jul. 2025.

PONTES, H. S.; MASSUQUETO, L. F. (Org.) **Projeto EspeleoPiraí: em defesa do patrimônio natural de Piraí da Serra/ PR.** Ponta Grossa: ABC Projetos, 2023. 164f.

PRIETO, C. C. **Identificação da dinâmica do uso da terra sobre o patrimônio natural de Piraí da Serra – Paraná.** 2007. 71f. Monografia (Bacharelado) – Curso de Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2007.

RAMOS, A. F. *et al.* Mapeamento do uso da terra nos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (Org.) **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1ed atualizada. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2010. Cap. 7. p. 85-92. Disponível em: https://ri.uepg.br/riuepg/bitstream/handle/123456789/451/CAP%C3%8DTULO7_MapeamentoUsoTerra.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 jul. 2025.

ROSA, M. R. Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da mata atlântica. **Boletim Paulista de Geografia**, [S. l.], n. 95, p. 25–34, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/658>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SANTOS, M. 1992: a redescoberta da Natureza. **Estudos Avançados**, v. 6, n. Jan/abr. 1992, p. 95-106, 1992 Tradução. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/item/000842767> > Acesso em: 24 abril 2025.

SOUZA, C. M.; *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 17, p. 2735, 25 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12172735>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>. Acesso em: 15 abr. 2025.

Data de recebimento: 09 de dezembro de 2024.

Data de aceite: 20 de maio de 2025.