

# DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA EM MUNICÍPIOS DE SÃO PAULO

Vitória Elisabeth Bruno <sup>1</sup>, Taya Cristo Parreiras <sup>2</sup>, Gustavo Bayma <sup>3</sup>, Victória Beatriz Soares <sup>4</sup>,  
Victória Hellena Matusевичius e de Casto <sup>5</sup>, Danielle Elis Garcia Furuya <sup>6</sup>, Édson Luis Bolfe <sup>6</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, Brasil. vitoria.bruno@colaborador.embrapa.br;

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), CEP 13083-855, t234520@dac.unicamp.br;

<sup>3</sup>Embrapa Meio Ambiente, CEP 13820-000, Jaguariúna -SP, gustavo.bayma@embrapa.br; <sup>4</sup>Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC, Campinas-SP; victoria.leandro@colaborador.embrapa.br; <sup>5</sup>Graduação em Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP; v245192@dac.unicamp.br; <sup>6</sup>Embrapa Agricultura Digital, CEP 13083-886, Campinas – SP, danielle.furuya@colaborador.embrapa.br, edson.bolfe@embrapa.br

## RESUMO

Este estudo objetivou avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra de cinco municípios do Estado de São Paulo: Alto Alegre, Caconde, Jacupiranga, Lagoinha e São Miguel Arcanjo. Foram utilizados dados históricos dos projetos MapBiomass e Atlas das Pastagens, e o período analisado foi a cada quinquênio entre 2000 e 2020. Para análise e dos resultados, foram utilizados gráficos de Sankey, os quais demonstraram a dinâmica de usos como lavouras temporárias e perenes, cana-de-açúcar, silvicultura, pastagens e pastagens degradadas ao longo dos anos. Os resultados indicaram um aumento das áreas florestais e uma diminuição das áreas de pastagens degradadas. Estes resultados destacam a importância da detecção remota para caracterizar e monitorizar áreas de uso da terra e degradação de pastagens, fornecendo informações importantes para o monitoramento, planejamento e desenvolvimento rural.

**Palavras-chave** — mudanças de uso da terra; ordenamento territorial; pastagens degradadas.

## ABSTRACT

*This study aimed to evaluate the dynamics of land use and land cover in five municipalities in the state of São Paulo: Alto Alegre, Caconde, Jacupiranga, Lagoinha, and São Miguel Arcanjo. Historical data from the MapBiomass and Atlas das Pastagens projects were utilized, covering the period from 2000 to 2020 with analyses conducted every five years. Sankey graphs were employed to illustrate the changes in land use, including temporary and perennial crops, sugar cane, forestry, pastures, and degraded pastures over the years. The results demonstrated an increase in forest areas and a decline in degraded pasture areas. These findings underscore the significance of remote sensing in characterizing and monitoring land use and pasture degradation, providing essential information for monitoring, planning, and rural development.*

**Key words** — Land cover change; spatial planning; degraded pastures.

## 1. INTRODUÇÃO

A mudança no uso da terra, principalmente relacionadas à conversão de vegetação natural em áreas agrícolas, estão diretamente relacionadas à redução dos habitats naturais, impactando a biodiversidade, o vigor vegetativo, provocando aumento de temperatura e redução de precipitação, alterações na dinâmica de evapotranspiração, degradação do solo e incremento das emissões de gases de efeito estufa [1-4]. As alterações na dinâmica de mercado provocaram uma tendência de aumento do desflorestamento e da agropecuária no Sul global desde a década de 1960, tornando essas regiões grandes fontes de emissões [2, 5, 6].

O principal avanço foi das pastagens para produção de proteína animal que, embora represente apenas 1% das calorias consumidas globalmente, são responsáveis por cerca de 25% das emissões ligadas às mudanças de uso da terra [5]. Neste contexto, o Brasil vivenciou uma alteração profunda dos seus biomas, principalmente pela expansão das pastagens na segunda metade do século XX, e da intensificação na produção de commodities, como a soja e o milho, na primeira década do século XXI [2]. O uso intensivo e o manejo inadequado das áreas de pastagens cultivadas principalmente no Cerrado, levou a um cenário alarmante de degradação ambiental. Em 2000, cerca de 19% do país era ocupado por pastagens (mais de 1.680.000 km<sup>2</sup>), e estima-se que aproximadamente 70% delas apresentavam algum grau de degradação [7].

Apesar dos impactos, a expansão agrícola, principalmente da produção de grãos e cana-de-açúcar, incentivada por políticas de incentivo aos biocombustíveis, foi responsável pelo crescimento econômico e melhora nas condições de vida da população de países emergentes, como o Brasil [8]. Além disso, em 2020, o país apresentava recuperação significativa do vigor das pastagens e um cenário de redução da expansão horizontal e aumento da intensificação agrícola nas áreas já consolidadas, com declínio do desflorestamento [7].

O Projeto SemeAr Digital, liderado pela Embrapa que busca estudar, desenvolver e difundir tecnologias voltadas à produção agrícola em pequenas propriedades, com foco na eficiência do uso da terra e dos recursos naturais, para aliar o aumento da produtividade e da renda no campo à cultura de preservação ambiental [9].

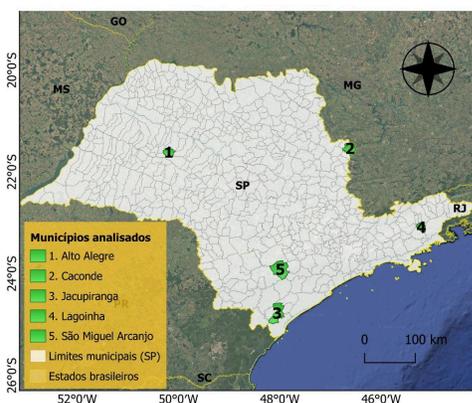
Assim, o objetivo deste estudo foi identificar e analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra e das pastagens cultivadas, considerando o nível de degradação, em cinco municípios do estado de São Paulo que compõem áreas de estudo do Projeto SemeAr Digital Alto Alegre, Caconde, Jacupiranga, Lagoinha e São Miguel Arcanjo. O trabalho foi desenvolvido a partir da integração de dados históricos de uso e cobertura da terra e de pastagens degradadas, entre 2000 e 2020.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

Os municípios analisados apresentam variação na paisagem ambiental e agrícola (Figura 1). Em Alto Alegre, localizado no bioma Cerrado, e com área de 318 km<sup>2</sup>, predomina a produção de cana-de-açúcar, com área de 133 km<sup>2</sup>. Os mosaicos de uso, caracterizados principalmente por pequenas propriedades com produção agropecuária, ocupam cerca de 81 km<sup>2</sup> [10,11].

Já Caconde possui 468 km<sup>2</sup> e está localizado no bioma Mata Atlântica. As principais classes de uso e cobertura da terra são as pastagens (198 km<sup>2</sup>), os mosaicos de uso (99 km<sup>2</sup>), e as formações florestais (85 km<sup>2</sup>). A produção de café é uma das mais importantes atividades econômicas do município, com cerca de 100 km<sup>2</sup>, destinados à produção em 2022-2023 [12].



**Figura 1: Localização das cinco áreas de estudo em São Paulo. EPSG: 4326. Sistema de coordenadas geográficas. Imagens: Google Satélite. Fonte dos dados vetoriais: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).**

Jacupiranga, localiza-se na região do Vale do Paraíba, com área predominantemente ocupada por florestas nativas de Mata Atlântica, sendo 525 km<sup>2</sup> de um total territorial de

cerca de 708 km<sup>2</sup>. A principal atividade agrícola é a produção de banana, que ocorre em cerca de 300 km<sup>2</sup>.

O município de Lagoinha tem 431 km<sup>2</sup> de área, ocupada principalmente por pastagens com nível moderado de degradação (74 km<sup>2</sup>), além de formações florestais (60 km<sup>2</sup>) sendo respectivamente 74 km<sup>2</sup> e 60 km<sup>2</sup>. Por fim, o município de São Miguel Arcanjo, com 1.672 km<sup>2</sup> de área, apresenta 275 km<sup>2</sup> de formações florestais, e 205 km<sup>2</sup> de áreas destinadas à produção de lavouras temporárias, principalmente soja e milho [10,12].

### 2.2 Aquisição e processamento dos dados

Os mapeamentos históricos de uso e cobertura da terra foram obtidos da oitava coleção do Projeto MapBiomias [11], e os dados relativos ao nível de degradação das pastagens, do Atlas das Pastagens [7] a cada cinco anos, entre 2000 e 2020. Inicialmente, a legenda dos mapas originais de uso e cobertura foi reclassificada para simplificação do número de classes. Em seguida, os pixels referentes às pastagens também foram reclassificados, considerando o cruzamento com os níveis de degradação (ausente, moderada ou severa) indicados nos mapas do Atlas [7]. As classes resultantes da reclassificação que foram consideradas nas análises são: formações florestais, formações savânicas, formações naturais não florestais, pastagens não degradadas, pastagens moderadamente degradadas, pastagens severamente degradadas, lavouras anuais, lavouras perenes, cana-de-açúcar, silvicultura, mosaicos de uso, áreas não-vegetadas, além de rios e lagos.

Por fim, para analisar a dinâmica das classes de uso e cobertura da terra e das pastagens conforme os níveis de degradação, foram gerados diagramas Sankey [13]. Este tipo de fluxograma permite a visualização das áreas de transição entre classes, em volume de pixels convertidos em área (km<sup>2</sup>). Os diagramas foram gerados com os mapas integrados de uso e degradação em ambiente R (v 4.3.0). As áreas totais das classes e das transições de uso também foram calculadas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta os resultados para as cinco áreas de estudo. Os dados indicam que, entre 2000 e 2020, as áreas de pastagens cultivadas com degradação moderada e severa em Alto Alegre (Figura 2a) diminuíram 38% e 77%, respectivamente. Essas áreas foram então destinadas principalmente à produção de cana-de-açúcar, que aumentou 765% em área. A classe denominada como 'mosaicos de uso' pelo MapBiomias, aumentou em 68% no período, chegando a 81 km<sup>2</sup>, é uma denominação genérica, onde não foi possível distinguir entre pastagens (inclusive degradadas) ou agricultura, tanto no Cerrado, quanto na Mata Atlântica. Mesmo com o aumento expressivo dessas

plantações, as áreas de Formações Florestais se mantiveram relativamente estáveis, com um aumento de cerca de 16%.

Analisando a Figura 2b, percebe-se que entre os anos 2000 e 2020, a área de pastagens severa e moderadamente degradadas em Caconde diminuíram em 81% e 68%, respectivamente, o que representa cerca de 150 km<sup>2</sup> a menos considerando as duas classes. As pastagens não degradadas aumentaram em 108% (+ 65 km<sup>2</sup>), indicando a recuperação da qualidade dos pastos. As áreas de lavouras temporárias aumentaram em 155%, embora ocupando apenas 7 km<sup>2</sup> em 2020. Por outro lado, as culturas perenes aumentaram em 192%, com destaque para o café, cuja produção foi estimada em 100 km<sup>2</sup> em 2022-2023 (IBGE, 2023). Ressalta-se, entretanto, que existe uma discrepância significativa na área de lavouras permanentes mapeadas pelo MapBiomos no município, cerca de 60 km<sup>2</sup>, uma diferença de cerca de 40%. A subestimação da agricultura permanente também foi identificada por [14] na produção de citros em Casa Branca, em São Paulo.

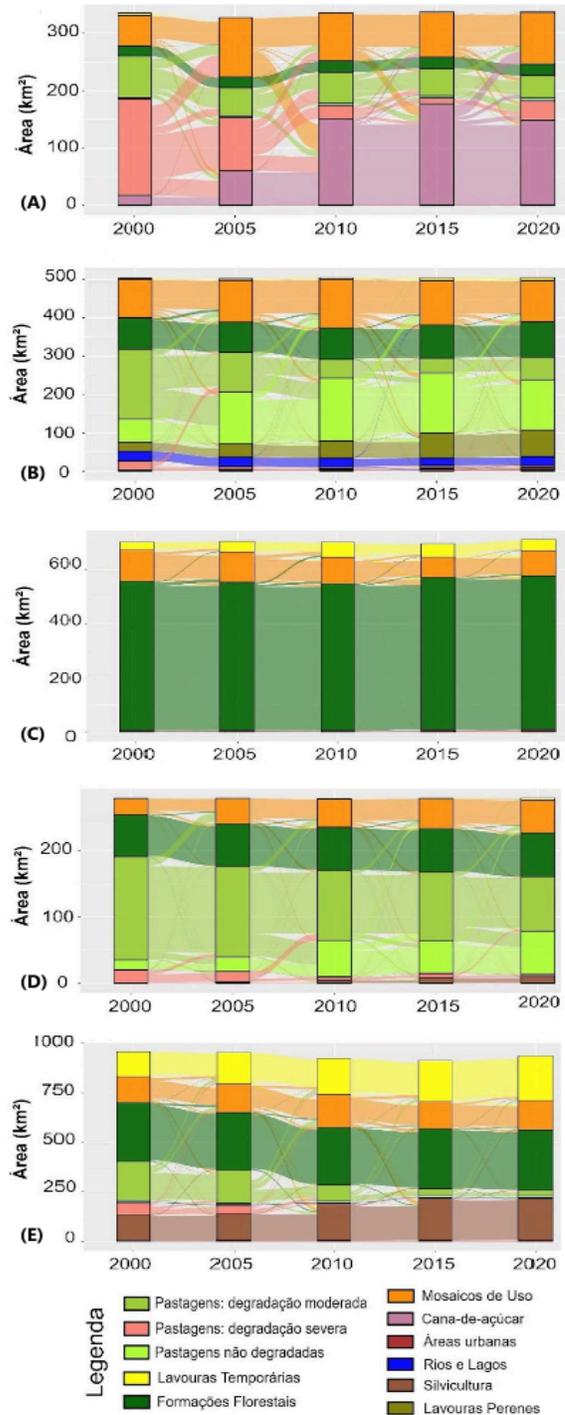
Resultados como esse sugerem o potencial de expansão agrícola em áreas de pastagens degradadas. Estudos anteriores já concluíram que o Brasil possui 28 milhões de hectares de pastagens plantadas no Brasil em processo de degradação e com potencial para o plantio de culturas agrícolas. São Paulo desponta como um dos principais estados nos quais há essa concentração [15]

No município de Jacupiranga (Figura 2c) predominam as áreas de: lavouras temporárias, mosaicos de uso e formações florestais. A área de mosaicos, reduzida em cerca 19% (-12 km<sup>2</sup>), foi parcialmente abandonada com consequente regeneração das áreas de florestas naturais, que por sua vez tiveram um aumento de quase 3% (+74 km<sup>2</sup>), e parcialmente convertida em lavouras temporárias, que aumentaram 43% em área, chegando a 63 km<sup>2</sup> em 2020.

No município de Lagoinha (Figura 2d), houve aumento na área de silvicultura de cerca de 2000%, embora ocupe apenas 8 km<sup>2</sup> em 2020. Os mosaicos de uso tiveram um aumento de 101% (+17 km<sup>2</sup>), cujos *pixels* de origem indicavam principalmente pastos moderadamente degradados, que por sua vez foram reduzidos em cerca 47% (-29 km<sup>2</sup>). As pastagens apresentaram ganho de qualidade, em vigor vegetativo, com aumento de 310% de pastos não degradados entre 2000 e 2020 (+ 23 mil km<sup>2</sup>). As áreas de pastagens severamente degradadas diminuíram 82% (-1 km<sup>2</sup>), foram parcialmente convertidas em áreas de silvicultura, e parcialmente recuperadas com ganho de vigor, passando a serem mapeadas como pastagens de médio vigor em 2000. As formações florestais se mantiveram praticamente as mesmas em todos esses anos, com um aumento de 5% (+23 km<sup>2</sup>).

Em São Miguel Arcanjo, foi observado que a maior parte das áreas de pastagens severamente degradadas no ano 2000 foram convertidas em áreas de silvicultura, que aumentaram em cerca de 58% (+12 km<sup>2</sup>). A área das pastagens moderadamente degradadas diminuíram 86% com uma área atual de 30 km<sup>2</sup>. As lavouras temporárias

apresentaram aumento de 79% (+12 km<sup>2</sup>), sendo a segunda principal classe do município, apenas atrás das formações florestais, área de 275 km<sup>2</sup>, que se manteve estável durante o período analisado (Figura 2e).



**Figura 2. Diagramas Sankey com a dinâmica de uso e cobertura da terra: Alto Alegre (A), Caconde (B), Jacupiranga (C), Lagoinha (D) e São Miguel Arcanjo (E).**

Fonte: Dados MapBiomos (2023) e Atlas das Pastagens (2023).

As bases de dados utilizadas permitiram a reconstrução histórica da dinâmica agrícola, porém, é fundamental o desenvolvimento de metodologias para aprimorar os mapeamentos de uso e cobertura da terra em regiões com predomínio de pequenas propriedades [10].

A classe ‘mosaicos de uso’ compreende boa parte dos municípios analisados, dificultando o entendimento da paisagem de modo mais preciso. Essas áreas podem conter pastos degradados ou atividades agrícolas importantes. Embora os dados do Projeto MapBiomias sejam eficientes na reconstrução histórica da dinâmica agrícola, em áreas com predomínio de pequenas propriedades, como é deste estudo, é preciso que novas metodologias sejam desenvolvidas para aprimorar os mapeamentos de uso e cobertura da terra [10].

## 5. CONCLUSÕES

Os municípios analisados apresentaram intensa dinâmica agrícola entre 2000 e 2020, principalmente em áreas de pastagens degradadas. Houve forte tendência de recuperação dos pastos severamente degradados e conversão de pastos moderadamente degradados em áreas agrícolas, contribuindo para aumento da produção de culturas como a cana-de-açúcar, café e florestas plantadas. De modo geral, houve redução da área total de pastagens, com aumento do vigor vegetativo nos pastos remanescentes. Observou-se ainda um incremento da área de vegetação natural, principalmente de porte florestal, em uma média de 8%.

## 6. AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento dos projetos 2022/09319-9, 2024/05205-4 e 2024/13150-5; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela oportunidade de bolsa de iniciação científica.

## 7. REFERÊNCIAS

[1] L. Cabernard, S. et al. Biodiversity impacts of recent land-use change driven by increases in agri-food imports. *Nature Sustainability*. 2024.

[2] C.B. Caballero, A. Ruhoff, T. Biggs. Land use and land cover changes and their impacts on surface-atmosphere interactions in Brazil: A systematic review. *Science of The Total Environment*, v. 808, p. 152134, 2022.

[3] A. D. Barnes et al. Direct and cascading impacts of tropical land-use change on multi-trophic biodiversity. *Nat Ecol Evol* 1: p. 1511–1519, 2017.

[4] F. Isbell, D. Tilman, P. B. Reich, A. T. Clark. Deficits of biodiversity and productivity linger a century after agricultural abandonment. *Nat. Ecol. Evol.* 3, 1533–1538. 2019.

[5] C. Hong et al. Global and regional drivers of land-use emissions in 1961–2017. *Nature*, 589, 554-561, 2021.

[6] K. Winkler et al. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12, 2501, 2021.

[7] LAPIG 2023. Projeto Atlas das Paisagens. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>.

[8] Piras et al. Soy Expansion, Environment, and Human Development: An Analysis across Brazilian Municipalities. *Sustainability*, 13, 2021.

[9] EMBRAPA. Embrapa Agricultura Digital. Centro de Ciência para o Desenvolvimento em Agricultura Digital. CCD-AD/SemeAr. FAPESP. (2024).

[10] Projeto MapBiomias – Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>.

[11] C. M. Souza et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12 (17), 2020.

[12] IBGE. Portal das cidades, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>.

[13] Cuba, Nicholas. Sankey diagrams for visualizing land cover dynamics. *Landscape and Urban Planning*, 139, 163-167, 2015.

[14] V. H. M. Castro et al. Mapeamento da citricultura imagens Sentinel-2 e Random Forest: o exemplo de Casa Cranca. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. Anais [...]. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023. p. 2229-2232.

[15] Bolfe, É.L.; Victoria, D.d.C.; Sano, E.E.; Bayma, G.; Massruhá, S.M.F.S.; de Oliveira, A.F. Potential for Agricultural Expansion in Degraded Pasture Lands in Brazil Based on Geospatial Databases. *Land* 2024, 13, 200.