

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO URBANO E AMBIENTAL: O POTENCIAL DO LCM-TERRSET LIBERAGIS

Eloisa da Silva Pereira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
eloisageo@gmail.com

Vivian Castilho da Costa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
vivianuerj@gmail.com

Vitor Ottoni Pastore

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
pastorevo@gmail.com

RESUMO

O crescimento urbano acelerado no Brasil exige instrumentos eficazes de diagnóstico territorial para orientar os Planos Diretores rumo à sustentabilidade. Neste contexto, este estudo tem por objetivo analisar o potencial do módulo *Land Change Modeler* (LCM) do software TerrSet liberaGIS no ordenamento urbano e ecológico. Para tanto, a metodologia integrou geotecnologias e Cadeias de Markov para avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra (UCT) na Zona de Amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca (RJ) e a fragilidade ambiental na microbacia do Rio Mato Grosso (Saquarema-RJ). Os resultados revelam padrões críticos de transformação: na primeira área, verificou-se a supressão líquida de 320 ha de cobertura vegetal e a expansão de 404 ha de áreas residenciais entre 2004 e 2019. Na microbacia, o cenário para 2030 projeta a consolidação de áreas de fragilidade média a muito alta, refletindo um crescimento populacional regional que superou 50% em Maricá. Conclui-se que o LCM é uma ferramenta analítica e preditiva robusta, fornecendo subsídios técnicos indispensáveis para políticas de conservação integradas e para o fortalecimento da gestão territorial resiliente.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Uso e cobertura da terra. Plano Diretor. Dinâmica territorial. Modelagem preditiva.

GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO URBAN AND ENVIRONMENTAL PLANNING: THE POTENTIAL OF LCM-TERRSET LIBERAGIS

ABSTRACT

Rapid urban growth in Brazil demands effective territorial diagnostic tools to guide Master Plans towards sustainability. In this context, this study aims to analyze the potential of the Land Change Modeler (LCM) module of TerrSet liberaGIS software in urban and ecological planning. The methodology integrated geotechnologies and Markov Chains to evaluate the dynamics of land use and land cover (LULC) in the buffer zone of Pedra Branca State Park (RJ) and the environmental fragility in Mato Grosso River microbasin (Saquarema-RJ). The results reveal critical patterns of transformation: in the first area, a net loss of 320 hectares of vegetation cover and expansion of 404 hectares of residential areas were observed from 2004 to 2019. In the micro-basin, the scenario for 2030 projects the consolidation of areas of medium to very high fragility, reflecting a regional population growth that exceeded 50% in Maricá. It is concluded that LCM is a robust analytical and predictive tool, providing indispensable technical support for integrated conservation policies and for strengthening resilient territorial management.

Keywords: Geoprocessing. Land use and cover. Master Plan. Territorial dynamics. Predictive modeling.

INTRODUÇÃO

A consolidação das grandes cidades modernas está profundamente vinculada às transformações socioeconômicas desencadeadas pela Revolução Industrial. Na Europa do final do século XVIII, conforme destaca Azevedo (1998), o intenso fluxo migratório de camponeses, somado às instabilidades políticas, impulsionou Londres e Paris à condição de metrópoles. Esse rápido crescimento urbano não foi acompanhado pela necessária infraestrutura, resultando em cenários de insalubridade, precariedade habitacional e forte insatisfação popular. No caso francês, Paris tornou-se símbolo do caos urbano, evidenciando a urgência de reformas capazes de transformar a cidade em um espaço habitável e funcional para as novas demandas do capitalismo emergente.

É nesse contexto que ganha força a ideia de planejar a cidade, associada inicialmente ao ideal de solução dos problemas urbanos, ainda que frequentemente permeada pelos interesses de grupos específicos. No Brasil, embora em temporalidades distintas, o processo apresentou semelhanças. O crescimento urbano acelerado e desordenado no país foi marcado por desigualdades e pela carência de infraestrutura básica, o que tornou evidente a necessidade de instrumentos capazes de orientar o uso e a cobertura da terra (UCT). Nesse cenário, o Plano Diretor emerge como peça fundamental para organizar o espaço urbano, promover justiça territorial e orientar o desenvolvimento sustentável das cidades.

Atualmente existe a obrigatoriedade de Planos Diretores nos municípios brasileiros com mais de 20 mil habitantes. Esses planos, fundamentais para o desenvolvimento sustentável das cidades, devem estar em consonância com a Agenda 2030, a qual, de acordo com a ONU (2015), é um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todo o mundo, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Pode ser definida como um plano de ação que apresenta os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que “são integrados e indivisíveis, e mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental” (ONU, 2015 p. 1). Dentre os dezessete ODS estão:

Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todos; tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis; proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade (ONU, 2015 p. 1).

Para a elaboração do Plano Diretor e, conseqüentemente, para o atendimento aos ODS, diversos municípios têm recorrido a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) associados a ferramentas avançadas de geoprocessamento. Entre essas ferramentas, destaca-se o TerrSet liberaGIS, desenvolvido para análises geoespaciais e modelagem ambiental. Nesse conjunto, o módulo *Land Change Modeler* (LCM) sobressai por disponibilizar instrumentos específicos para a avaliação e a projeção de mudanças no uso e cobertura da terra (UCT), consolidando-se como uma das soluções mais robustas para estudos baseados em sensoriamento remoto aplicados ao planejamento ambiental e urbano. De acordo com Eastman (2012), o LCM foi desenvolvido para subsidiar investigações sobre transformações na ocupação do solo e análises voltadas à conservação da biodiversidade. A literatura tem demonstrado sua eficácia, como evidenciam os trabalhos de Beser de Deus (2013), Pavão (2017), Piroli, Ishikawa e Demarchi (2011) e Assalve e Fuzzo (2021), nos quais o módulo foi empregado com resultados consistentes.

Estudos como os de Beser de Deus (2013) e de Pavão (2017) reforçam o potencial do LCM na detecção de alterações do UCT, especialmente em contextos de elevada urbanização. Piroli, Ishikawa e Demarchi (2011), ao aplicarem o modelo na microbacia do córrego das Furnas (Ourinhos–SP) entre 1972 e 2007, identificaram a expansão urbana e o avanço do cultivo de cana-de-açúcar, acompanhados pela redução de pastagens e culturas anuais. Assalve e Fuzzo (2021) analisaram as dinâmicas do UCT na zona de amortecimento da Estação Ecológica de Assis – SP, constatando que o predomínio de culturas temporárias e da silvicultura exerce pressão sobre a conservação e favorece a perda de biodiversidade, fornecendo subsídios importantes para a adoção de técnicas de preservação mais adequadas.

Esses e outros estudos mostram que através do LCM “é possível espacializar as dinâmicas e as transformações ocorridas no período de análise. Esse método comprova a importância e eficácia das técnicas de geoprocessamento quando aplicadas em estudos ambientais” (Zanata, 2014). Com o auxílio do LCM, Zanata (2014), observou que a expansão agropecuária e o avanço de cultivos como

eucalipto, laranja e soja intensificaram problemas ambientais, como erosão e assoreamento na bacia do Ribeirão Bonito (Avaré e Itatinga-SP).

De acordo com Ribeiro (2010) estudos ambientais são desenvolvidos com base na tecnologia do Geoprocessamento, principalmente, entre outros, por meio do uso SIG. Segundo Reis (2019), o uso das geotecnologias permite que sejam realizadas análises complexas e concomitantes que dão suporte às tomadas de decisões de gestores e governantes, possibilitando a realização de diversas análises espaciais e temporais. O LCM se destaca como uma ferramenta de SIG com grande potencial para análise das mudanças no UCT, principalmente, em estudos ambientais porque possibilita a compreensão detalhada da dinâmica espacial ao longo de um período de tempo. Segundo Santos (2004), o UCT

É um tema básico para o planejamento ambiental, porque retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais. É uma ponte essencial para a análise de fontes de poluição e um elo importante de ligação entre informações dos meios biofísicos e socioeconômico. Em geral as formas de UCT são identificadas (tipos de uso) espacializadas (mapa de uso) caracterizadas (pela intensidade de uso e indícios de manejo) e quantificadas (percentual de área ocupada pelo tipo). As informações sobre esse tema devem descrever não só a situação atual, mas as mudanças recentes e o histórico de ocupação da área de estudo (Santos, 2004 p. 97).

A expansão da cidade do Rio de Janeiro, que atualmente avança sobre o entorno do Maciço da Pedra Branca, na zona oeste, contrasta com sua dinâmica histórica. Segundo Maurício de Abreu (1997), em períodos anteriores, a marcha da urbanização carioca se orientava para a orla oriental da Baía de Guanabara, especialmente em direção aos atuais municípios de São Gonçalo e Niterói. O contínuo processo de crescimento urbano lançou as bases da região metropolitana, que hoje se estende até o município de Maricá, limítrofe a Saquarema.

Essa transformação territorial reforça a relevância do UCT como categoria analítica essencial para compreender de que modo as atividades humanas pressionam os elementos naturais e reconfiguram as paisagens. A reflexão de Santos (2004) contribui para essa compreensão ao destacar que o UCT “é um tema básico para o planejamento ambiental”, por permitir a identificação de atividades capazes de gerar pressões e impactos sobre o meio natural.

Além disso, a autora ressalta que se trata de um instrumento fundamental para localizar e analisar fontes de poluição, funcionando como um elo importante entre informações dos meios biofísico e socioeconômico. Dessa forma, o UCT possibilita identificar, espacializar, caracterizar e quantificar as diferentes formas de uso da terra, permitindo analisar sua configuração atual, suas mudanças recentes e o histórico de ocupação, processo que é otimizado com o uso do LCM do TerrSet liberaGIS.

Nesse sentido, este trabalho apresenta a aplicação do modelo LCM em dois estudos de caso diretamente influenciados pelo avanço da urbanização sobre áreas naturais: a Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), no município do Rio de Janeiro, e a Microbacia do Rio Mato Grosso, em Saquarema. Esses territórios ilustram, de maneira distinta e complementar, como as dinâmicas de uso e cobertura da terra expressam as tensões entre conservação ambiental e expansão urbana. Assim, o objetivo desse trabalho é analisar o potencial do LCM-TerrSet liberaGIS para subsidiar o planejamento urbano e ambiental da ZA do PEPB (Rio de Janeiro-RJ) e da Microbacia do Rio Mato Grosso (Saquarema-RJ), com ênfase na identificação de áreas críticas de transformação territorial e na projeção de cenários de fragilidade ambiental.

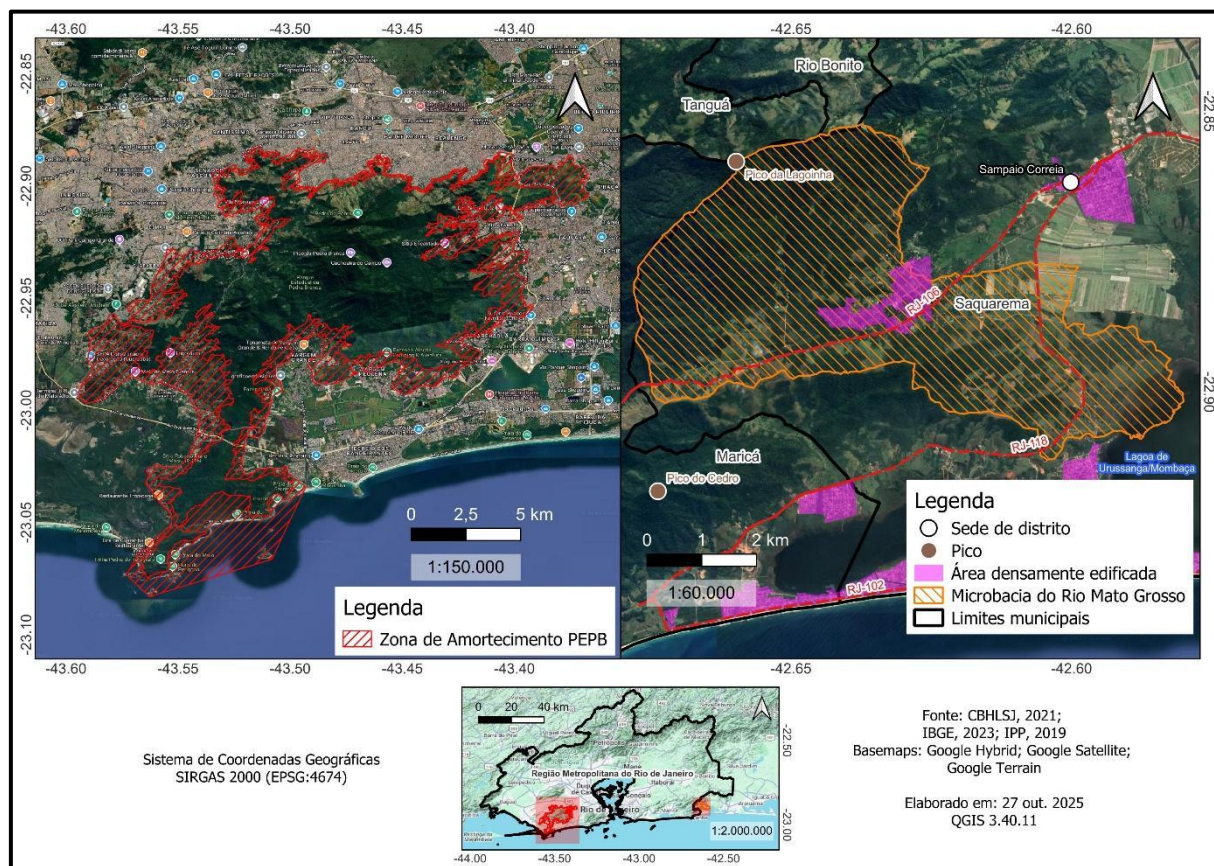
MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Este estudo apresenta o uso do LCM em duas áreas distintas que sofrem perdas ambientais devido às pressões antrópicas: ZA do PEPB e a Microbacia do Rio Mato Grosso. O PEPB é uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral, criado pela Lei Estadual nº 2.377/1974, durante o governo do então Estado da Guanabara. Localiza-se na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, circundando 17 bairros e apresentando forte vulnerabilidade decorrente da expansão urbana em seu entorno, especialmente em sua Zona de Amortecimento (ZA), marcada pela intensa dinâmica imobiliária que caracteriza essa região da metrópole.

A Microbacia do Rio Mato Grosso, por sua vez, situa-se no extremo Oeste do município de Saquarema. Embora não esteja inserida em área densamente urbanizada, a microbacia sofre pressões ambientais crescentes, resultantes sobretudo do aumento populacional recente e da proximidade territorial com o município de Maricá, que vem apresentando acelerado crescimento urbano e intensificação do UCT (Figura 1).

Figura 1 - Limites da ZA do PEPB e da Microbacia do Rio Mato Grosso, 2025



Fonte: IPP, 2019 e IBGE, 2023. Organização: Os autores, 2025.

A ZA do PEPB no município do Rio de Janeiro-RJ

A ZA do PEPB que circunda o Maciço da Pedra Branca, se insere em seis Regiões Administrativas (RA's): Bangu, Realengo, Campo Grande, Guaratiba, Barra da Tijuca e Jacarepaguá. No passado essa região era conhecida como Sertão Carioca, e era considerada a área rural da Cidade do Rio de Janeiro que, segundo Côrrea (1936), local onde se encontravam engenhos de cana-de-açúcar, carvoaria e agricultores. Conforme o INEA (2013), foi no final da década de 1930 que nessa região foi estabelecida uma zona industrial, estimulando o crescimento populacional.

A expansão urbana na cidade do Rio de Janeiro tem avançado sobre áreas que ainda concentram vegetação expressiva, como a Zona de Amortecimento (ZA) do PEPB. Entretanto, o crescimento da ocupação, principalmente do tipo residencial, não ocorre de forma homogênea. A ocupação humana mais expressiva está concentrada na vertente norte, área visivelmente ocupada de população com menor poder aquisitivo, principalmente, nas RA's de Realengo e de Bangu, onde na paisagem se destacam as residências com paredes sem emboço e amontoadas.

Segundo INEA (2013), as ocupações humanas nessa localidade são constituídas predominantemente de comunidades urbanas de baixa renda, que se localizam nos limites do PEPB e adentram em alguns pontos. Entretanto, na RA da Barra da Tijuca o acabamento externo das residências é de alto padrão (Figura 2).

Na RA de Campo Grande, observa-se uma dinâmica distinta, em que a vegetação nativa cede lugar, sobretudo, às áreas residenciais e agrícolas. Essa expansão urbana e rural pode ter sido estimulada pela Lei Complementar nº 72/2004, responsável por instituir o Plano de Estruturação Urbana (PEU) de Campo Grande, cujo zoneamento abrange, nas porções inseridas na Zona de Amortecimento do PEPB, as seguintes categorias: Zona Agrícola 2 (ZA2), Zona de Conservação Ambiental (ZCA), Zona Residencial 1 (ZR1) e Zona Residencial 3 (ZR3).

Figura 2 - Padrão construtivo das residências nas RAs de Realengo e Vargem Grande



Legenda: A divergência na paisagem do padrão de ocupação residencial 1. Realengo e 2. Padrão de Residência em Vargem Grande. Fonte: Pereira, 2023. Foto 1 - 2022 e Foto 2 – 2018.

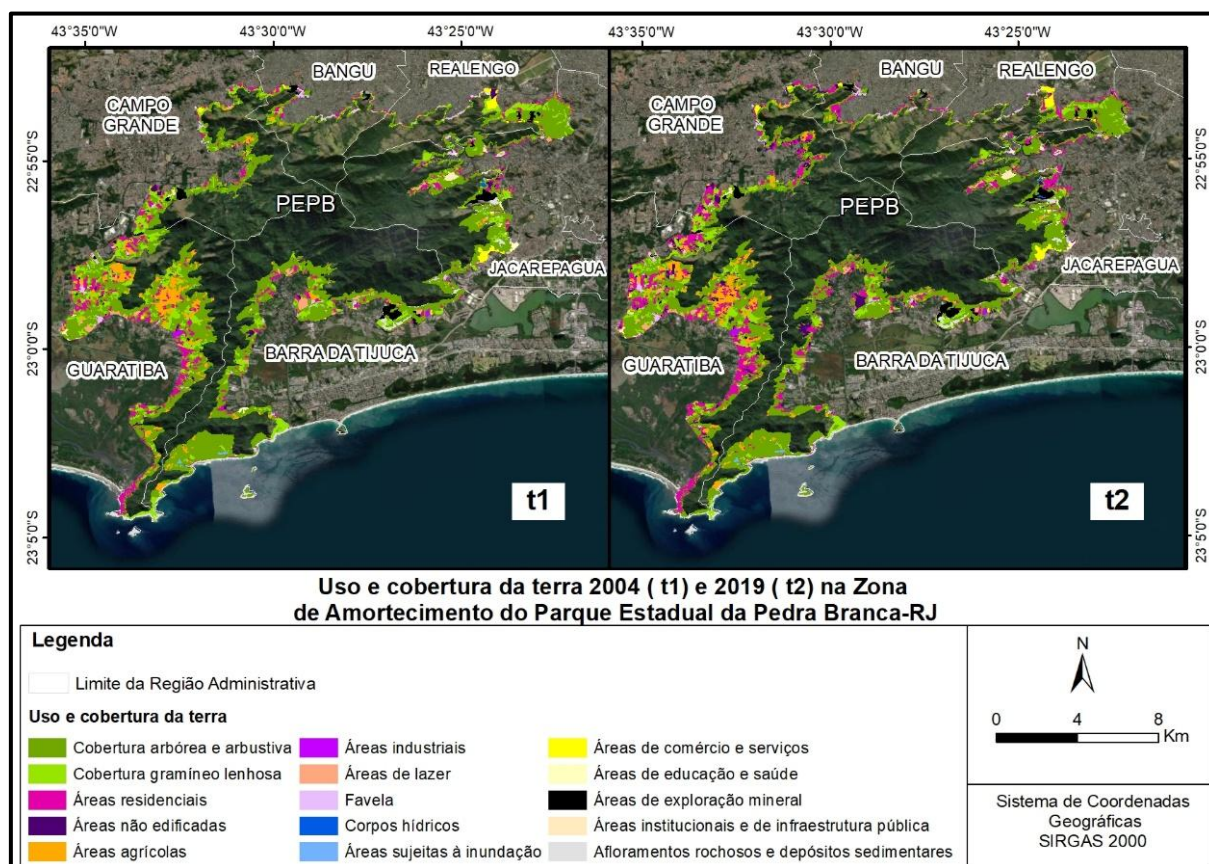
No caso da ZA2, permite-se a implantação do Grupamento Residencial 1, composto por edificações unifamiliares ou bifamiliares, com gabarito máximo de até três pavimentos, o que favorece a expansão de loteamentos e pequenos agrupamentos residenciais. De modo semelhante, nas Zonas Residenciais 1 e 3, também são admitidas construções com gabarito de até três pavimentos, reforçando a ocupação urbana contínua no entorno do parque e contribuindo para a pressão antrópica sobre seus limites.

Por isso, para a análise da dinâmica espacial na ZA do PEPB, foi elaborado um banco de dados contendo arquivos vetoriais (*shapefiles*) de uso e cobertura da terra (UCT) referentes aos anos de 2004 (t1) e 2019 (t2), obtidos no site do Instituto Pereira Passos (IPP, 2022). O ano de 2004 foi selecionado por anteceder transformações no UCT decorrentes, possivelmente, de legislações como o PEU de Campo Grande, enquanto 2019 corresponde ao mapeamento de UCT mais recente disponível no momento da realização do estudo.

Esses dados foram recortados com o *shapefile* da ZA fornecido pelo INEA (2013), utilizando o *software* comercial ArcGIS 10.4. As classes de UCT foram agrupadas com a ferramenta *Dissolve* e convertidas para o formato raster no *software* TerrSet liberaGIS, por meio da ferramenta *RasterVector*. Ambas as cenas (t1 e t2) cobrem exatamente a mesma área e compartilham características idênticas, como linhas, colunas e classes temáticas (Figura 3).

Os parâmetros espaciais foram definidos no sistema de coordenadas UTM, Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000, e as resoluções foram ajustadas para garantir a comparabilidade dos dados. Após o preparo das camadas raster para os anos t1 e t2, os dados foram analisados através do LCM, possibilitando identificar as classes de UCT que mais expandiram ou reduziram sua área, revelando as principais mudanças ocorridas na paisagem da ZA do PEPB entre 2004 e 2019, através de gráficos de perdas e ganhos e do mapa de transição entre classes.

Figura 3 - Uso e Cobertura da Terra em t1 e t2 na ZA do PEPB, 2025



Fonte: IPP, 2004 e 2019. Organização: Os autores, 2025.

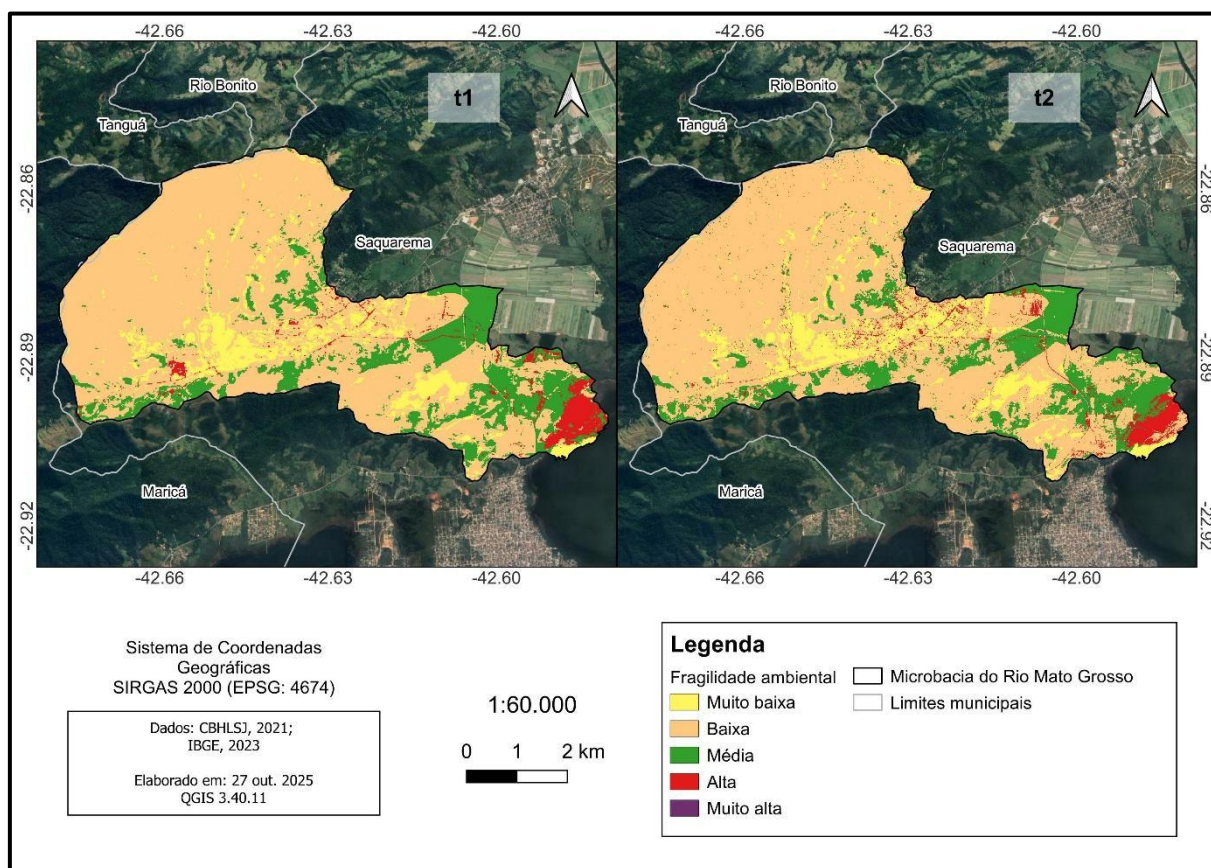
Microbacia do Rio Mato Grosso - município de Saquarema-RJ

A intensificação do crescimento urbano na RMRJ, avançando em direção à Região dos Lagos, especialmente nos municípios de Maricá e Saquarema, tem provocado transformações significativas nas dinâmicas ambientais e no Uso e Cobertura da Terra (UCT). Nesse contexto regional de expansão urbana acelerada, destaca-se a Microbacia do Rio Mato Grosso, situada na divisa entre os dois municípios, onde a pressão antrópica tende a se intensificar diante do expressivo aumento populacional registrado na última década.

Maricá, por exemplo, passou de aproximadamente 127.461 habitantes em 2010 para 197.277 em 2022 — um crescimento superior a 50%. Já Saquarema aumentou de 74.293 para cerca de 89.559 habitantes no mesmo período, acréscimo superior a 15%. Esses dados reforçam a necessidade de avaliar como tais dinâmicas reverberam na fragilidade ambiental da microbacia.

Com esse objetivo, as imagens de fragilidade ambiental da Microbacia do Rio Mato Grosso, calculadas no QGIS 3.28.9 Firenze para os anos de 2010 (t1) e 2020 (t2) (Figura 4) foram incorporadas ao TerrSet liberaGIS como camadas RST, conforme metodologia de Folharini e Oliveira (2020), substituindo-se as camadas de UCT originais pelas camadas de fragilidade ambiental produzidas neste estudo. Em seguida, estimou-se um cenário quantitativo de evolução da fragilidade ambiental para o ano de 2030 (t3), por meio da aplicação de Cadeias de Markov e autômatos celulares no módulo LCM do TerrSet liberaGIS.

Figura 4 - Fragilidade ambiental em t1 e t2 na Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: IBGE, 2023. Organização: Os autores, 2025.

A estimativa de transição de classes de fragilidade ambiental em t3 foi realizada a partir da ferramenta “Markov – Markovian transition estimator” do módulo GIS Analysis, Change/Time Series do TerrSet liberaGIS, selecionando as fragilidades de t1 e t2 como camadas de entrada, atribuindo o valor 10, tanto para o período entre as imagens quanto para o período de projeção após t2, e o valor de 0.15 em erro proporcional, como indicado por Hussain Sabree Ali, Amany e Jalil (2020). Já a predição de mudanças para t3 foi estimada a partir da ferramenta “CA_Markov” do mesmo módulo do passo anterior.

Tanto a Microbacia do Rio Mato Grosso quanto a ZA do PEPB apresentam trechos expressivos de vegetação ainda preservada, porém sob crescente ameaça em função do avanço da urbanização. O uso do LCM possibilita identificar as áreas mais suscetíveis à perda de cobertura vegetal e aquelas que demandam maior prioridade de conservação, fornecendo subsídios técnicos essenciais para orientar ações de proteção ambiental e aprimorar as medidas de ordenamento territorial previstas nos Planos Diretores municipais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O avanço da urbanização sobre a floresta da ZA do PEPB

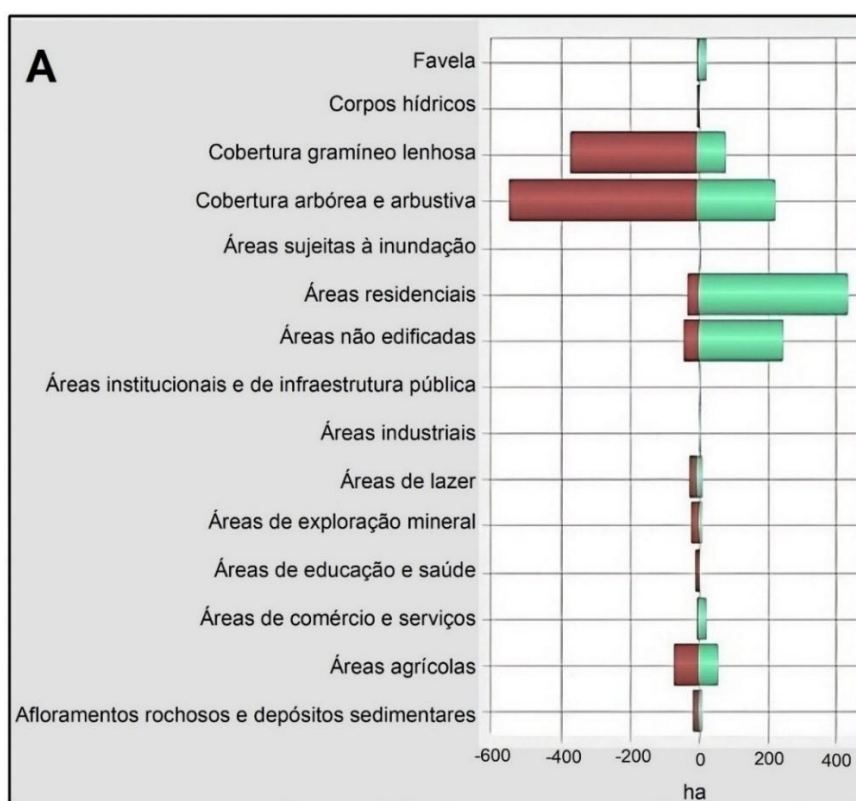
A compreensão das transformações ocorridas na ZA do PEPB exige a análise integrada entre os padrões de UCT e a dinâmica de expansão urbana que marca essa região da cidade do Rio de Janeiro. Nesse sentido, o mapeamento temporal do UCT permite identificar como diferentes classes têm sido pressionadas, substituídas ou fragmentadas ao longo dos anos, revelando tendências de ocupação que impactam diretamente a integridade ambiental do parque.

De acordo com o INEA (2013), a especulação imobiliária e o baixo controle sobre o uso e ocupação da terra configuram-se entre as principais pressões exercidas sobre a Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB). Os resultados obtidos pela ferramenta LCM *Change*

Analysis dão materialidade a esse diagnóstico ao quantificar as dinâmicas de perda e ganho das diferentes classes de Uso da Cobertura da Terra (UCT) no período analisado.

O módulo *Gains and Losses by Category* (Figura 5A) revelou que as classes mais dinâmicas foram: Cobertura arbórea e arbustiva, Cobertura gramíneo-lenhosa, Áreas residenciais, Áreas não edificadas e Áreas agrícolas. Esses padrões foram posteriormente confirmados pela análise de *Net Change by Category* (Figura 5B), que indica a mudança líquida resultante da soma dos ganhos e da subtração das perdas. Entre 2004 e 2019, verificou-se que as áreas de Cobertura arbórea e arbustiva apresentaram a maior taxa de perda líquida, cerca de 320 ha, seguidas pela classe Cobertura gramíneo-lenhosa, com aproximadamente 286 ha suprimidos. Em contrapartida, as Áreas residenciais apresentaram forte expansão, com aproximadamente 404 ha adicionados ao território, enquanto as Áreas não edificadas cresceram cerca de 200 ha, evidenciando a transição acelerada do uso rural e natural para tipologias urbanas.

Figura 5 - Gráficos de UCT da ZA do PEPB (2004-2019): A - perdas e ganhos; B - mudança líquida por categoria



A - Perdas e ganhos. Fonte: Adaptado de Pereira, (2023) e da interface gráfica do LCM TerrSet (2025), pelos Autores, (2025).

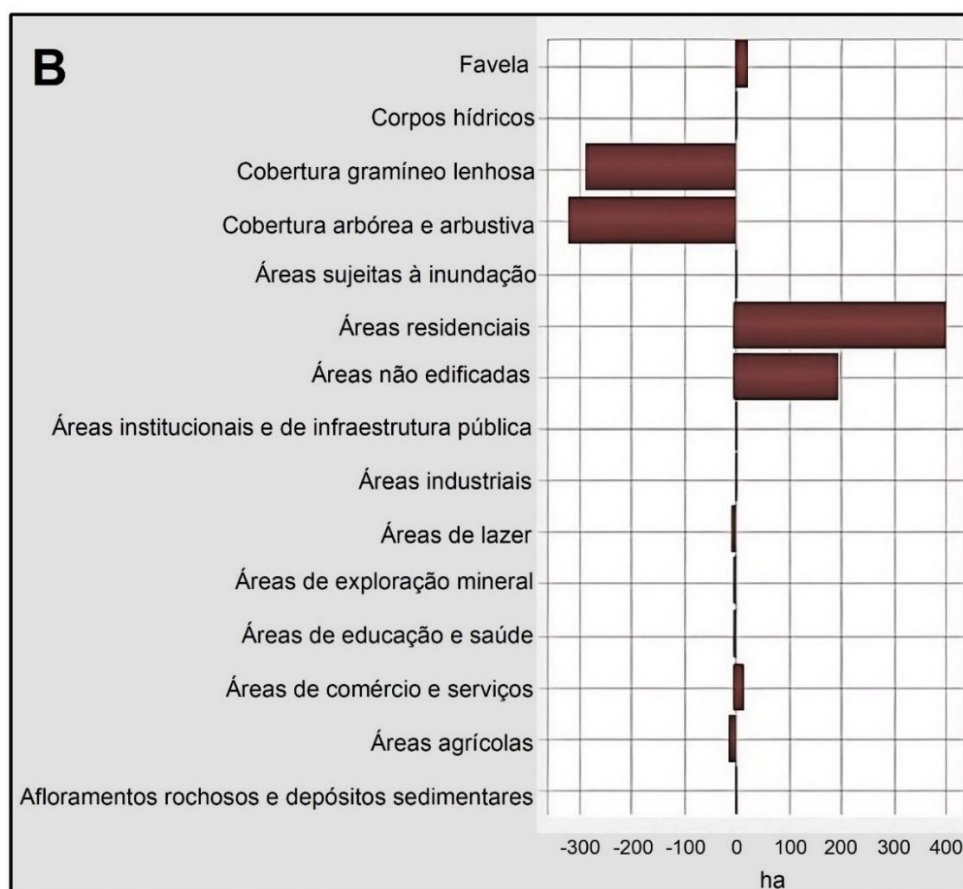
Esse conjunto de resultados ilustra um processo de conversão sistemática de áreas naturais e rurais em espaços urbanizados, refletindo a pressão crescente exercida pela dinâmica imobiliária nos limites do PEPB. Apesar de não figurar entre as classes de maior dinamismo, as áreas agrícolas mantiveram um comportamento relativamente estável, com perdas e ganhos equilibrados.

Essa estabilidade pode estar associada à resiliência das atividades agrícolas na região, que seguem desempenhando papel relevante na economia local e na sustentação de famílias agricultoras, mesmo sob forte pressão da expansão urbana, como já discutido por Prado, Mattos e Fernandez (2012). Além disso, parte dessas áreas foi reconhecida como zonas agrícolas no zoneamento vigente, o que reforça a permanência dessa prática produtiva na ZA.

Outro aspecto relevante é o comportamento das áreas não edificadas, consideradas por SMU (2017) como um indicador sensível do avanço urbano. Por representarem espaços em estágio intermediário — entre o vazio urbano e a consolidação residencial — seu crescimento indica a preparação do

território para ocupações futuras. Essas tendências são espacialmente evidenciadas no mapa de transição (Figura 6), que mostra as conversões da cobertura arbórea, áreas agrícolas, coberturas gramíneo-lenhosas e áreas não edificadas para a classe Áreas residenciais. Observa-se que a Cobertura arbórea e arbustiva foi a classe que mais perdeu área para a urbanização em todas as seis Regiões Administrativas (RAs) incluídas na análise, embora a intensidade desse processo seja menos acentuada em Jacarepaguá e Barra da Tijuca. Essa diferença possivelmente está relacionada ao grau mais elevado de consolidação urbana nessas RAs, ao maior valor imobiliário e à presença de áreas protegidas mais efetivamente fiscalizadas.

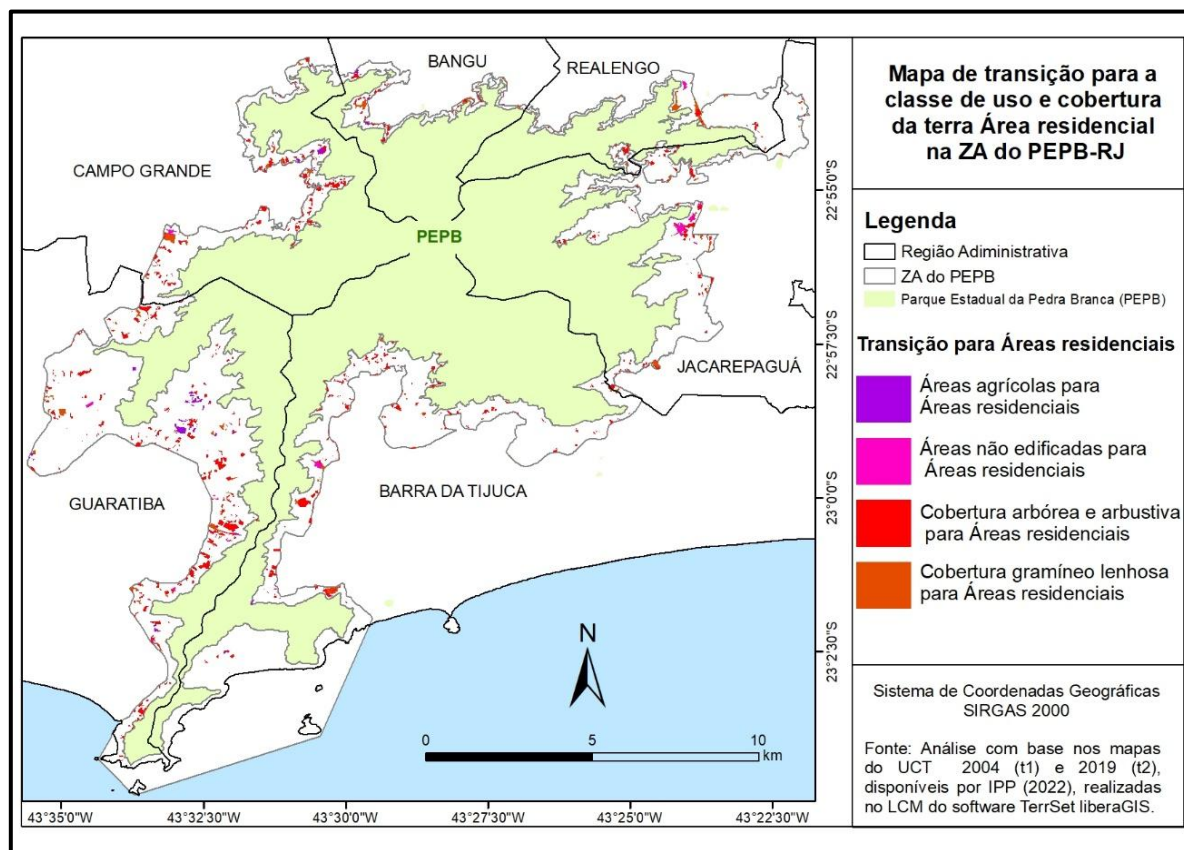
Figura 5 (continuação) - Gráficos de UCT da ZA do PEPB (2004-2019): A - perdas e ganhos; B - mudança líquida por categoria



B - Mudança líquida por categoria. Fonte: Adaptado de Pereira, (2023) e da interface gráfica do LCM TerrSet (2025), pelos Autores, (2025).

É importante ressaltar que, segundo o IPP (2022), a classe Cobertura arbórea e arbustiva abrange formações florestais (como a floresta ombrófila), áreas de restinga e mangue, além de vegetação secundária em diferentes estágios de regeneração. Assim, a perda dessa classe representa, na prática, a eliminação de remanescentes significativos da Mata Atlântica e de formações pioneiras, comprometendo serviços ecossistêmicos essenciais, tais como regulação microclimática, proteção de mananciais e manutenção da biodiversidade.

Figura 6 - Mapa de transição para classe Área residencial na ZA do PEPB



Fonte: Pereira, 2023. Adaptado pelos Autores, 2025.

Apesar disso, o atual Plano Diretor (PD) reconhece toda a ZA do PEPB como Área de Uso Sustentável, mas, paradoxalmente, seu zoneamento autoriza a construção de agrupamentos residenciais e comerciais em porções expressivas dessa zona. Essa permissividade normativa abre brechas para a continuidade da expansão urbana nos limites do parque, ampliando conflitos de uso e colocando em risco a integridade ecológica do maior fragmento florestal em área urbana do país. Esse conjunto de evidências reforça que o avanço da urbanização não ocorre de maneira espontânea, mas é mediado por regulamentações urbanísticas, interesses econômicos e fragilidades estruturais na fiscalização ambiental, configurando um processo de transformação territorial que demanda planejamento mais rigoroso e políticas integradas de conservação.

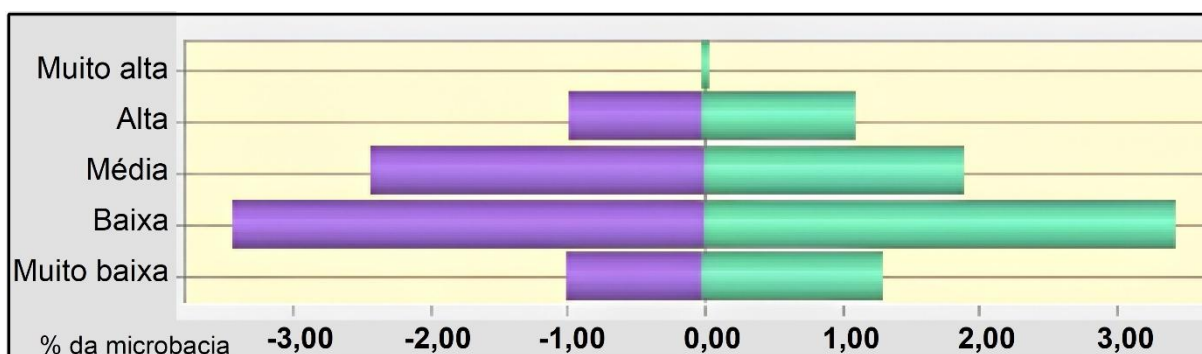
Cenário preditivo de fragilidade ambiental na microbacia do rio Mato Grosso

A análise temporal da fragilidade ambiental na microbacia do Rio Mato Grosso evidencia mudanças relevantes no comportamento das classes entre t1 e t2, refletindo tanto pressões antrópicas quanto processos naturais de recomposição da paisagem. A partir dos procedimentos realizados no TerrSet liberaGIS de análises de mudanças e geração de cenário preditivo para 2030 (t3), foram gerados gráficos de ganhos e perdas de classes entre t1 e t2 (Figura 7), variação líquida de classes entre t1 e t2 (Figura 8), principais classes de t1 e t2 potencialmente alteradas para a classe muito alta em t3 (Figura 9) e probabilidade de transição de classes de fragilidade ambiental para t3 (Figura 10).

A análise comparativa entre t1 (2010) e t2 (2020) revela padrões distintos de variação entre as classes de fragilidade ambiental da microbacia. A classe de fragilidade ambiental muito alta apresentou a menor variação entre t1 e t2, enquanto a classe de baixa fragilidade ambiental apresentou tanto ganho de áreas de t1 para t2 quanto perda, em porcentagens semelhantes da área total. Nessa comparação, a classe de muito baixa fragilidade ambiental foi a que apresentou maior diferença de ganhos e perdas, sendo mais representativa em t2 em comparação com t1.

Cabe ressaltar que o ganho de áreas de alta e muito alta fragilidade ambiental pode afetar diversos aspectos ecológicos e de sustentabilidade, tais como: erosão do solo e perda de fertilidade, pois a remoção ou degradação dessas áreas aumenta a erosão laminar e a perda do horizonte superficial do solo, reduzindo seu potencial físico e químico para sustentação da vegetação e atividades agrícolas (Nörnberg; Rehbein, 2021); impactos socioeconômicos, pois pode comprometer a produção agrícola, aumentar custos com tratamento de água e infraestrutura, além de afetar a qualidade de vida das populações que dependem dos recursos da bacia hidrográfica (Nörnberg; Rehbein, 2021); assoreamento dos corpos hídricos, pois o solo erodido pode ser transportado para rios e reservatórios, causando assoreamento, que reduz a capacidade hídrica, altera a qualidade da água e prejudica a fauna aquática (Bastos, 2006).

Figura 7 - Ganhos e perdas de classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2



Legenda: verde = ganho; lilás = perda. Fonte: Adaptado de Pastore, (2023) e da interface gráfica do LCM TerrSet (2025), pelos Autores, (2025).

Além de diversos outros fatores relacionados à sustentabilidade ambiental na bacia hidrográfica, pois o uso e ocupação inadequados nas áreas frágeis comprometem a capacidade de suporte da bacia, dificultando a manutenção dos processos naturais essenciais para a renovação dos recursos hídricos e a estabilidade ambiental (Lira; Francisco; Feiden, 2022), essas áreas ficam mais suscetíveis a desastres ambientais, como deslizamentos de encosta e inundações.

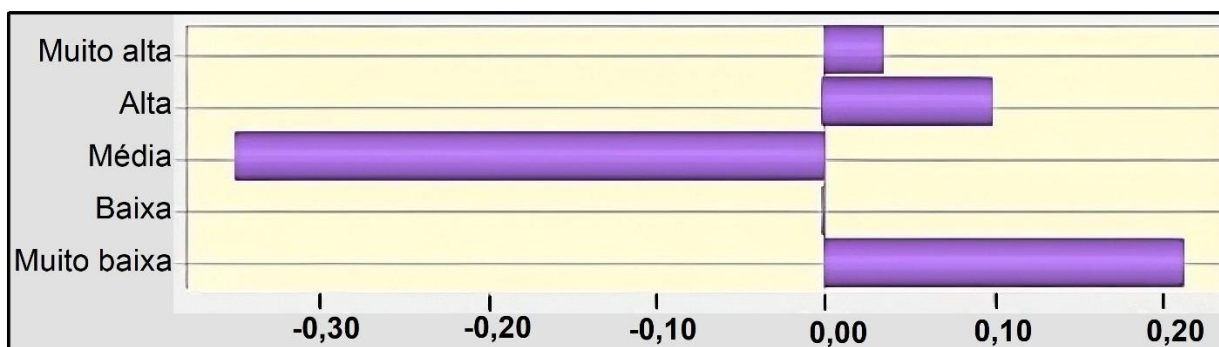
Já a alteração da fragilidade ambiental de nível superior para inferior em algumas áreas pode trazer benefícios no sentido contrário ao citado para o aumento de áreas de alta e muito alta fragilidade ambiental. Em contextos onde a ocupação avança sobre setores frágeis, aumenta-se ainda a suscetibilidade a desastres ambientais, como deslizamentos de encosta e inundações, sobretudo em microbacias caracterizadas por urbanização acelerada e planejamento territorial fragmentado.

Por outro lado, a redução da fragilidade ambiental de algumas áreas, que passam de classes superiores para inferiores, pode indicar efeitos positivos associados à estabilização do uso do solo, práticas de manejo mais adequadas ou recomposição da cobertura vegetal. Essas mudanças tendem a atuar na direção oposta aos impactos negativos mencionados, favorecendo o equilíbrio hidrológico, a proteção dos solos e a mitigação de riscos ambientais. Assim, a dinâmica observada entre t1 e t2 revela não apenas os processos de transformação territorial em curso, mas também suas potenciais consequências para a sustentabilidade da microbacia, reforçando a importância de estratégias integradas de gestão ambiental e planejamento do uso do solo.

De acordo com a variação líquida das classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2 foi possível verificar que houve maior aumento da classe de muito baixa fragilidade comparado aos acréscimos de áreas de fragilidade alta e muito alta. Já a classe de média fragilidade ambiental teve maior mudança entre as classes, sendo mais representativa em t1 comparado à t2. Assim, nas áreas em que ocorreu redução da fragilidade ambiental espera-se por melhores condições quanto aos aspectos ecológicos e de sustentabilidade citados anteriormente.

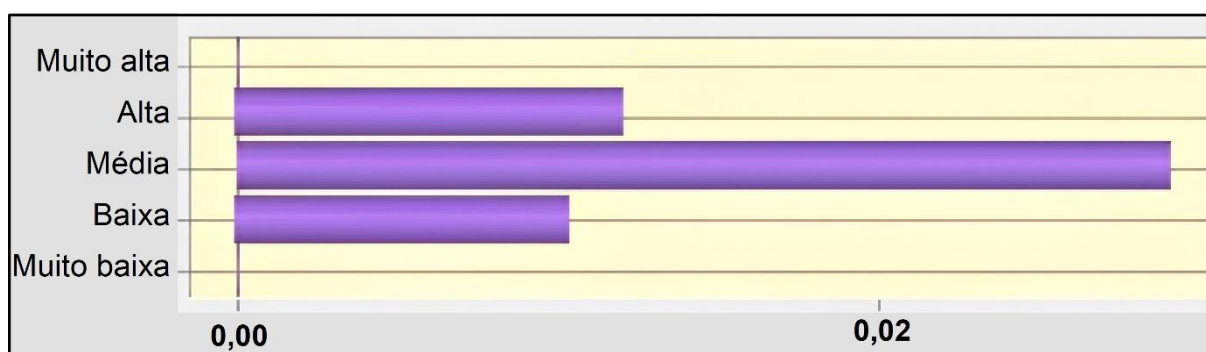
A classe de muito alta fragilidade ambiental em t2 teve aumento a partir das classes alta, média e baixa de t1. Isso destaca a importância da identificação dessas áreas, a fim de indicá-las como prioritárias para o desenvolvimento de práticas ecológicas mitigadoras da fragilidade ambiental, pois podem apresentar-se mais frágeis em períodos futuros, caso não seja realizada intervenção adequada.

Figura 8 - Variação líquida de classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2



Fonte: Adaptado de Pastore, (2023) e da interface gráfica do LCM TerrSet (2025), pelos Autores, (2025).

Figura 9 - Classes de fragilidade ambiental de t1 que migraram para muito alta em t2



Fonte: Adaptado de Pastore, (2023) e da interface gráfica do LCM TerrSet (2025), pelos Autores, (2025).

Já a probabilidade de mudanças de classes do intervalo 2010-2020 para o cenário preditivo de 2030 (t3) indicou que a classe de muito baixa fragilidade ambiental deve permanecer em 67,18% ou alterar para baixa em 29,97% da sua ocorrência. A classe de baixa fragilidade ambiental deverá permanecer em 76,41%, enquanto poderá ser alterada para classe muito baixa em 8,86%, média em 9,67% e alta em 4,99%.

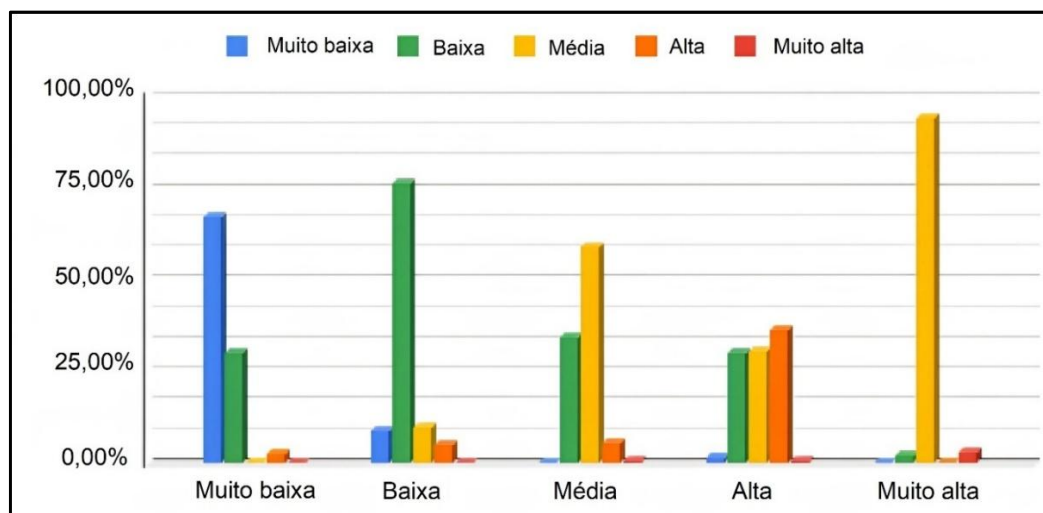
Quanto às classes de maior fragilidade ambiental, a alta foi a que apresentou a mais variada probabilidade de mudanças para outras classes, de 30,08% para baixa, principalmente em áreas próximas da Lagoa de Urussanga/Mombaça (poção Sudeste da microbacia), na porção Oeste próxima da rodovia RJ-106, e na área mais ocupada por edificações da microbacia (porção Centro-Leste); de 30,62% para média, em áreas próximas às observadas na probabilidade de mudanças da classe alta para baixa; e 36,64% de permanência como alta fragilidade em t3, em áreas próximas às citadas anteriormente e a montante da RJ-106, no sentido para o Pico da Lagoinha.

Já na classe de muito alta fragilidade ambiental, há uma probabilidade de 94,5% de se tornar média fragilidade, que apesar de ocorrer em pequena área, esta probabilidade de mudança foi indicada para áreas agrícolas à Leste da rodovia RJ-118; enquanto apresentou 3,18% de probabilidade de mudar para baixa, à Leste da rodovia RJ-118 e a montante da área mais edificada da microbacia; e o restante (2,32%) de permanência como muito alta, exclusiva para pequenas áreas suscetíveis a inundação próxima da lagoa o que aponta para a existência de zonas críticas estruturalmente frágeis, cuja mitigação depende de intervenções técnicas e de gestão territorial específicas.

A fragilidade ambiental estimada para t3 é mostrada na Figura 11 a qual apresenta um padrão espacial que combina estabilidade em setores consolidados, dinamismo em áreas de transição e persistência de vulnerabilidades em regiões estruturalmente frágeis. Esse quadro reforça que a fragilidade ambiental da microbacia não é apenas resultado de características naturais da paisagem, mas também da velocidade e do tipo de ocupação que avança sobre setores sensíveis.

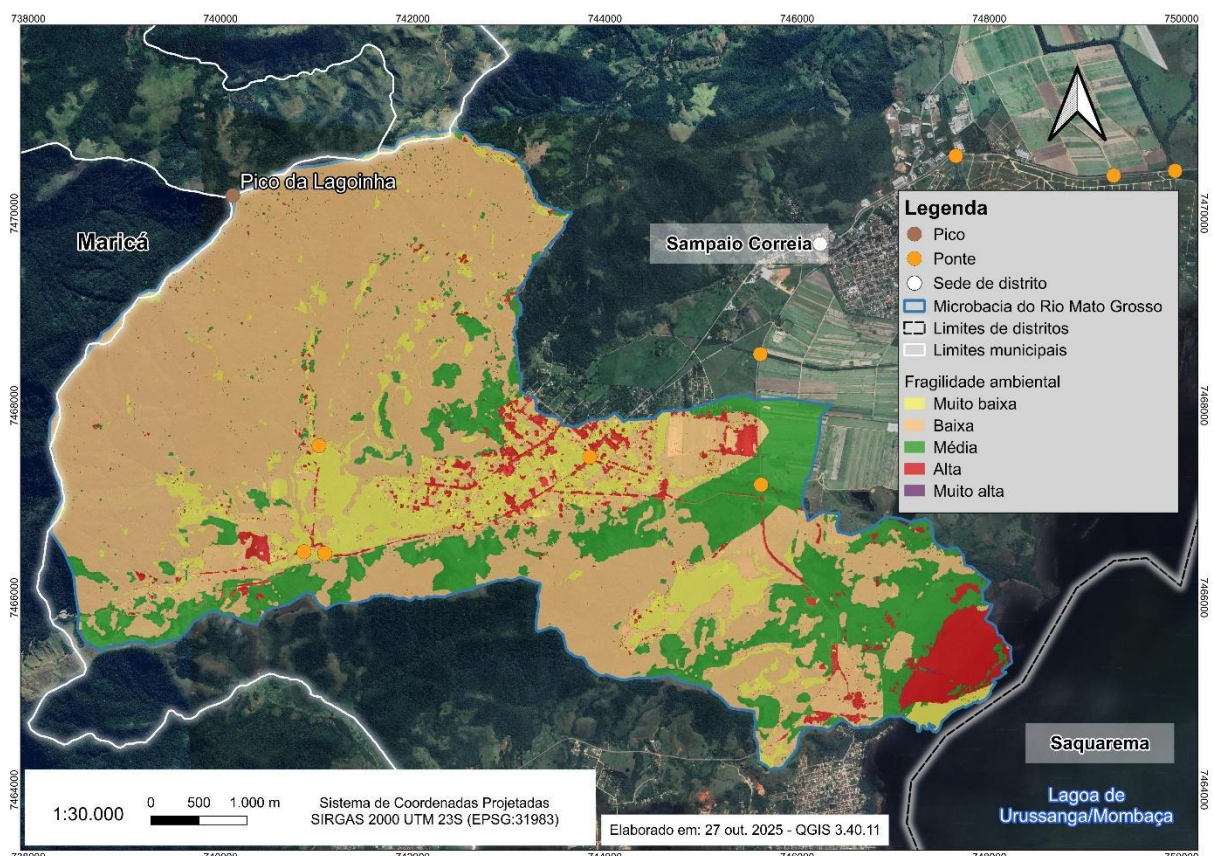
Assim, os resultados demonstram que o planejamento ambiental da Microbacia do Rio Mato Grosso deve considerar estratégias específicas para suas áreas críticas, aliando controle da expansão urbana, práticas sustentáveis de uso do solo, proteção de áreas úmidas e conservação da vegetação remanescente. Somente por meio dessa abordagem multiescalar será possível reduzir a fragilidade ambiental projetada e assegurar a sustentabilidade ecológica e hidrológica da região nas próximas décadas.

Figura 10 - Probabilidade de transição de classes de fragilidade ambiental em t3



Fonte: Adaptado de Pastore, (2023) e da interface gráfica do LCM TerrSet (2025), pelos Autores, (2025).

Figura 11 - Mapa de fragilidade ambiental da microbacia estimada para t3



Fonte: Pastore, 2023. Adaptado pelos Autores, (2025).

Análise da fragilidade ambiental em t1, t2 e t3 por zonas do Plano Diretor de Saquarema

A avaliação comparativa da fragilidade ambiental ao longo do tempo deve considerar não apenas a distribuição espacial das classes na microbacia como um todo, mas também as especificidades das diferentes zonas estabelecidas pelo Plano Diretor Municipal de Saquarema. Cada macrozona apresenta características próprias de uso e ocupação do solo, padrões de densidade urbana e distintas condições físico-ambientais, que influenciam diretamente os níveis de fragilidade observados e suas tendências de mudança entre t1, t2 e o cenário preditivo para t3.

Assim, a análise zonal permite identificar quais porções do território estão mais sujeitas a processos de degradação ambiental e como essas áreas respondem às pressões antrópicas recentes e projetadas. Nesse sentido, as estatísticas zonais da fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 por zonas do Plano Diretor Municipal de Saquarema indicaram que todas as macrozonas apresentam a classe de baixa fragilidade ambiental (valor 2) como a mais representativa. Com menor representatividade, foram encontradas áreas com muito alta fragilidade ambiental em todas as macrozonas nas estimativas de t1 e t2 e no cenário de t3 (Tabela 1).

A análise integrada dos resultados de fragilidade ambiental da Microbacia do Rio Mato Grosso revela um padrão espacial complexo, marcado por forte influência da expansão urbana recente e pela ocupação de áreas naturalmente suscetíveis à degradação. Entre as macrozonas definidas pelo Plano Diretor de Saquarema, a Macrozona Urbana de Jaconé (MUJ) destacou-se por apresentar os maiores valores médios de fragilidade ambiental em t1, t2 e no cenário preditivo t3.

Esse comportamento está diretamente relacionado às características físico-ambientais locais, pois grande parte da expansão urbana ocorreu sobre áreas de brejo, como demonstrado por Capetti *et al.* (2021), que registram processos de ocupação sem infraestrutura adequada, ausência de saneamento básico e abastecimento irregular de água. Tais condições intensificam a saturação hídrica, a compactação do solo, o escoamento superficial e a instabilidade ambiental, contribuindo para a manutenção de níveis elevados de fragilidade nos três momentos analisados.

Tabela 1 - Valores estatísticos de fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 por macrozona do Plano Diretor na Microbacia do Rio Mato Grosso

Zona PDS / Fragilidade ambiental	t1			t2			t3		
	média	máx	maioria	média	máx	maioria	média	máx	maioria
MZRSC	2,1	5	2	2,0	5	2	2,4	5	2
MZRUJ	2,0	5	2	2,0	5	2	2,1	5	2
MZASC	2,1	5	2	2,1	5	2	2,2	5	2
MZUJ	2,2	5	2	2,3	5	2	2,6	5	2

Fonte: Pastore, 2023. Adaptado pelos Autores, (2025).

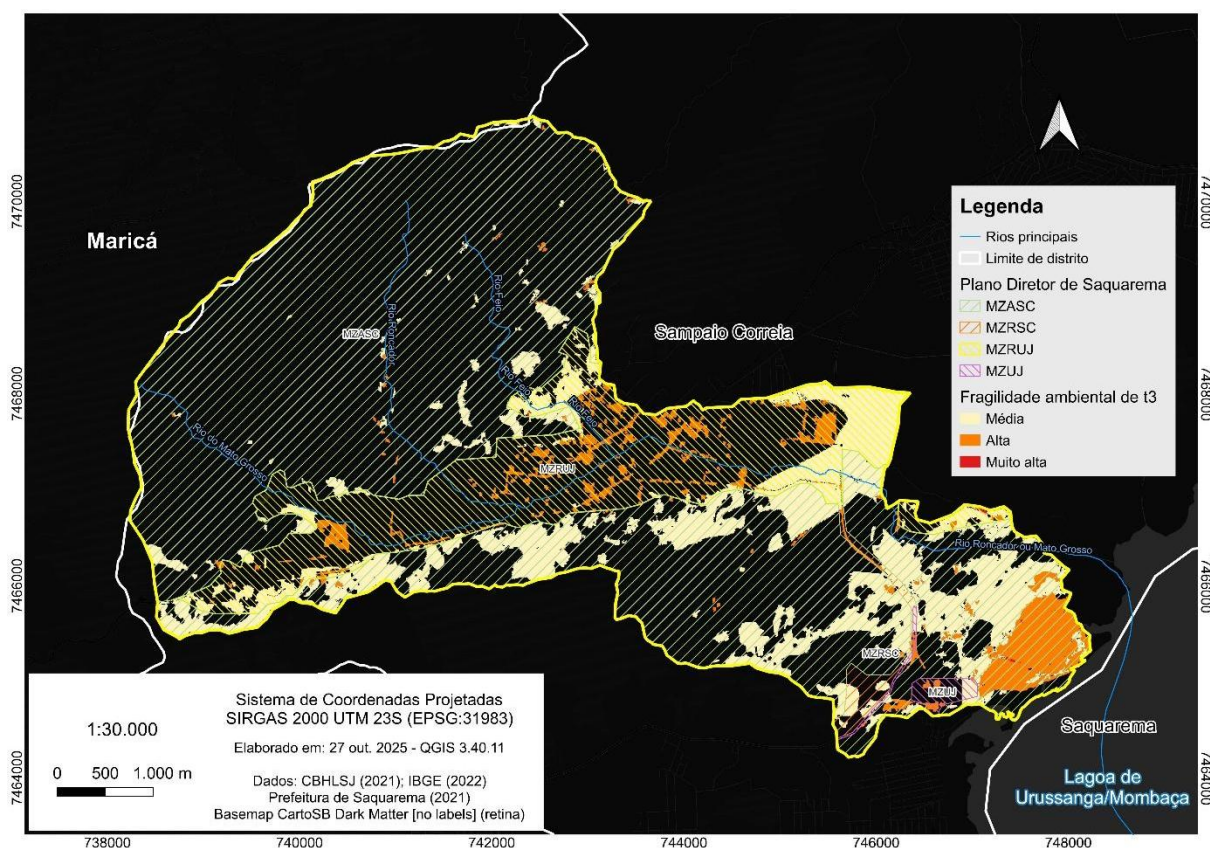
Em contraste, a Macrozona Rururbana de Jaconé (MRRJ) apresentou os menores valores médios de fragilidade nos três períodos, seguida de perto pela Macrozona Rural de Sampaio Corrêa (MRSC). A menor densidade de ocupação, a maior presença de vegetação e a menor impermeabilização favorecem maior estabilidade ambiental nessas zonas; contudo, observa-se uma tendência de aumento gradual da fragilidade na MRSC, especialmente no cenário de 2030, indicando que as pressões antrópicas começam a afetar áreas rurais, possivelmente relacionadas ao avanço de práticas agropecuárias, conversão de terras e abertura de novos loteamentos. O valor médio estimado de 2,4 para a MRSC em t3, próximo ao registrado para a MUJ, sugere que a fragmentação e a reconfiguração do uso do solo estão ampliando a vulnerabilidade mesmo em áreas menos urbanizadas.

A análise por setores censitários reforça essa tendência de intensificação das fragilidades. O setor localizado na porção mais próxima da lagoa apresentou os maiores valores médios, máximos e majoritários de fragilidade em todos os períodos, confirmando a vulnerabilidade estrutural de áreas associadas à saturação hídrica, solos hidromórficos e baixa declividade. Esses fatores, combinados à urbanização crescente, agravam riscos ambientais como enchentes, erosão acelerada e assoreamento de corpos hídricos. De forma mais ampla, constatou-se que 11 dos 15 setores censitários inseridos na microbacia apresentaram áreas de muito alta fragilidade ambiental em pelo menos um dos períodos analisados, evidenciando que a vulnerabilidade não é restrita a pontos isolados, mas disseminada ao longo do território da microbacia.

O cenário projetado para 2030, representado na Figura 12, demonstra que a distribuição das áreas frágeis tende a se consolidar e, em alguns casos, a se intensificar. Observa-se a convergência de áreas de média a muito alta fragilidade em zonas próximas aos corpos hídricos, ao longo das rodovias RJ-106 e RJ-118 e nas bordas urbanas em processo de expansão. Esses padrões espaciais revelam a sobreposição de pressões ambientais relacionadas ao uso do solo, à ocupação irregular, à ausência de drenagem adequada e ao manejo inadequado de áreas agrícolas. Além disso, a tendência de expansão de fragilidades ao longo das vias estruturantes indica que novos vetores de urbanização podem acentuar processos erosivos e intensificar o escoamento superficial, contribuindo para ciclos de retroalimentação da degradação ambiental.

De modo geral, os resultados demonstram que a fragilidade ambiental da Microbacia do Rio Mato Grosso é resultado de processos estruturais associados à dinâmica territorial recente, à insuficiência de infraestrutura urbana e à ocupação em áreas hidrologicamente sensíveis. A persistência e, em alguns casos, a ampliação das áreas mais vulneráveis no cenário preditivo reforçam a necessidade de estratégias de planejamento ambiental que integrem controle da expansão urbana, proteção das zonas ripárias, recuperação de áreas úmidas, manejo adequado do solo nas zonas rurais e articulação entre planejamento urbano, zoneamento ambiental e gestão dos recursos hídricos. Esse conjunto de medidas é fundamental para mitigar os impactos observados e assegurar a capacidade de suporte ambiental da microbacia nas próximas décadas.

Figura 12 - Áreas frágeis na Microbacia do Rio Mato Grosso, estimadas para 2030



Fonte: Pastore, 2023. Adaptado pelos Autores, 2025.

Assim, podemos perceber que os resultados obtidos nas duas áreas analisadas — a Zona de Amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca e a Microbacia do Rio Mato Grosso — evidenciam padrões distintos, mas convergentes em relação ao papel central das pressões antrópicas na reconfiguração do UCT. No PEPB, a persistência da expansão urbana, orientada por desigualdades socioespaciais e por um arcabouço normativo permissivo, demonstra que o avanço da ocupação não se dá de maneira espontânea, mas é mediado por interesses econômicos, fragilidades na fiscalização e omissões no zoneamento municipal. Já na microbacia, a intensificação das áreas de fragilidade ambiental entre t1 e t2, assim como sua projeção para 2030, reforça que o processo de urbanização crescente no entorno, especialmente associado ao crescimento populacional de Maricá, tende a ampliar riscos ambientais caso não sejam implementadas ações preventivas articuladas entre planejamento urbano, proteção de zonas sensíveis e manejo adequado dos recursos naturais.

Nesse cenário, o LCM-TerrSet liberaGIS mostrou-se fundamental não apenas para identificar padrões de transição e quantificar perdas e ganhos de classes, mas também para fornecer suporte técnico robusto que permita compreender a complexidade das dinâmicas territoriais em áreas sujeitas a pressões intensas. Ao integrar Cadeias de Markov, autômatos celulares e ferramentas de análise espacial, o LCM oferece um conjunto de procedimentos capazes de identificar tendências, mapear áreas críticas e subsidiar projeções confiáveis, elementos indispensáveis para o planejamento territorial contemporâneo. Sua aplicação neste estudo evidenciou excelente desempenho tanto na delimitação de zonas prioritárias para conservação quanto na identificação de setores sujeitos ao avanço da ocupação, confirmando que modelos preditivos são ferramentas estratégicas para antecipar cenários e orientar a tomada de decisão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do LCM-TerrSet LiberaGIS demonstrou elevada eficácia na definição de critérios para identificar o avanço da ocupação na zona de amortecimento e na detecção de tendências espaciais a partir das Cadeias de Markov, o que permitiu gerar diagnósticos e prognósticos em diferentes recortes, como bacias hidrográficas. Considerando os desafios impostos pela Agenda 2030 para conter a perda da biodiversidade, o uso de métodos analíticos em SIG que capturem a complexidade territorial torna-se indispensável para orientar estratégias robustas de tomada de decisão e enfrentar os múltiplos obstáculos que comprometem a conservação ambiental.

Os resultados obtidos reforçam o papel central das geotecnologias no planejamento urbano e ambiental, especialmente em contextos marcados por forte pressão antrópica. Nesse panorama, o LCM destaca-se como uma ferramenta metodológica robusta, capaz de apoiar a gestão territorial por meio de análises espacializadas, multitemporais e preditivas. Sua aplicação contribuiu de maneira significativa para o monitoramento das transformações paisagísticas e para o possível embasamento técnico de políticas públicas.

A análise integrada do UCT nas duas áreas estudadas evidencia que as transformações identificadas não são aleatórias, mas refletem a intensificação de pressões antrópicas associadas às dinâmicas urbanas regionais. Tanto na Zona de Amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB) quanto na Microbacia do Rio Mato Grosso, observaram-se padrões consistentes de expansão urbana, substituição de coberturas naturais e aumento das áreas classificadas com elevada fragilidade ambiental, um quadro que demanda respostas urgentes e estruturadas.

No caso da ZA do PEPB, a continuidade da urbanização desordenada revela a vulnerabilidade da Unidade de Conservação diante de um modelo de desenvolvimento que privilegia a expansão imobiliária e negligencia sua função ecológica. A ausência de controle efetivo sobre UCT, aliada ao descumprimento sistemático de diretrizes ambientais, contribui diretamente para o avanço de pressões sobre os ecossistemas essenciais à paisagem carioca.

Já na Microbacia do Rio Mato Grosso, no município de Saquarema, o aumento projetado das áreas frágeis até 2030 evidencia os efeitos cumulativos da expansão urbana de municípios vizinhos, como Maricá, indicando riscos crescentes de intensificação de processos erosivos, degradação de habitats e alterações hidrológicas caso medidas de manejo não sejam implementadas. Nesse contexto, o LCM mostrou-se decisivo para compreender a lógica territorial dessas transformações. A integração de Cadeias de Markov, autômatos celulares e análises espaciais multitemporais tornou possível quantificar mudanças passadas e construir cenários futuros com elevado grau de confiabilidade. A robustez da modelagem permitiu identificar padrões espaciais, delimitar áreas críticas e antecipar tendências, fornecendo subsídios essenciais para o planejamento territorial baseado em evidências.

De forma mais ampla, os resultados reforçam o papel estratégico das geotecnologias no enfrentamento dos desafios ambientais contemporâneos. A convergência entre essas ferramentas e as metas da Agenda 2030 — especialmente aquelas relacionadas à conservação da biodiversidade, ao ordenamento territorial e à mitigação de impactos — evidencia a necessidade de integrar análises geoespaciais aos instrumentos de gestão municipal e estadual.

Conclui-se que o conhecimento produzido por meio de Sistemas de Informação Geográfica, utilizando ferramentas potentes como o LCM, é indispensável para elaborar diagnósticos precisos e prognósticos consistentes. Os cenários futuros gerados neste estudo apontam para a urgência de intervenções planejadas, reforçando que a sustentabilidade territorial depende da capacidade institucional de monitorar, compreender e antecipar transformações da paisagem. Portanto, a aplicação do LCM revelou não apenas sua utilidade técnica, mas sua relevância como instrumento essencial para a tomada de decisão e para a construção de territórios mais resilientes, ambientalmente equilibrados e socialmente justos.

Adicionalmente, destaca-se que o TerrSet LiberaGIS, por ser gratuito, democratiza o acesso ao LCM e a outras ferramentas do programa, facilitando a utilização de séries temporais e de projeções futuras. Essa acessibilidade, tanto a softwares livres quanto a bases cartográficas georreferenciadas, apresenta grande potencial para subsidiar instrumentos de gestão, como Planos Diretores Municipais, planos de manejo, Planos de Bacias Hidrográficas e ações promovidas no âmbito de comitês de bacias, especialmente em cidades litorâneas e com forte atividade turística, como demonstrado nas áreas analisadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. de A. **Evolução Urbana do Rio de Janeiro**. 4^a ed. Rio de Janeiro: IPP, 2013. 156p.
- ASSALVE, L. C. de F.; FUZZO, D. F. da S. **Utilização da ferramenta LCM do Idrisi/Taiga para análise de perdas e ganhos no uso da terra na zona de amortecimento da Estação Ecológica de Assis (SP)**. *Holos Environment*, v. 21, n. 2, p. 249-263, 2021. DOI: [10.14295/holos.v21i2.12439](https://doi.org/10.14295/holos.v21i2.12439).
- AZEVEDO, R. M. de. Uma Ideia de Metrópole no Século XIX. *Revista Brasileira de História, Dossiê: Arte e Linguagens*, São Paulo, v.18 n.35, p. 165-183, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-01881998000100007>.
- BASTOS, R. A. B. **Áreas de fragilidade ambiental: uma abordagem metodológica para áreas de expansão urbana com risco potencial à erosão**. Estudo de caso: Bairro Urbanova – São José dos Campos/SP. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Territorial) – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, UNIVAP, São José dos Campos, 2006.
- BESER DE DEUS, L. A. Espaço e tempo como subsídios à construção de cenários de uso e cobertura da terra para o planejamento ambiental na Amazônia: o caso da Bacia do Rio Acre. 2013. 384 f. **Tese** (Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- CAPETTI, P. CAETANO, G. MOTA, A. VERAS, D. 'Cidades do petróleo' enfrentam o desafio da expansão desordenada. **O Globo Economia**, 01/2021. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/cidades-do-petroleo-enfrentam-desafio-da-expansao-desordenada-24676497>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva: tutorial version 17**. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University, 2012.
- FOLHARINI, S.; OLIVEIRA, R. Utilização do Land Change Modeler na modelação prospectiva do uso e cobertura do solo na microrregião de Santos, Brasil para o ano de 2022. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 19, p. 57-73, 2020. <http://dx.doi.org/10.17127/got/2020.19.003>.
- GOVERNO DO ESTADO DA GUANABARA. **Lei nº 2.377, de 28 de junho de 1974**. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Lei/1974/lei_2377_1974_criaparqueestadualpedrabranca_guanabara_rj.pdf. Acesso em: 13 abr. 2025.
- HUSSAIN, S. A. A.; AMANY, A. K.; JALIL, M. A. Previsão do crescimento futuro dependendo do programa GIS e IDRISI, cidade de Najaf-Iraque. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 881, n. 1, p. 12-31, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/881/1/012031>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital do Brasil: divisão político-administrativa 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/malhas-digitais>. Acesso em: 12 jan. 2025.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, RJ, 2013.

IPP – Instituto Pereira Passos. **DATA.RIO**. 2022. Disponível em: <https://www.data.rio>. Acesso em: 13 abr. 2025.

LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.14393/sn-v34-2022-62872>.

NÖRNBERG, S. O; REHBEIN, M. O. Fragilidade ambiental do município de Pelotas/RS: aplicação e comparação de dois modelos. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 81, p. 42-59, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG228155365>.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. ONU. Nova York, 2015.

PASTORE, V. O. Análise de cenário de fragilidade ambiental e indicação de áreas mitigadoras na Microbacia Hidrográfica do Rio Mato Grosso, município de Saquarema, RJ. 2023. 333 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

PAVÃO, M. Modelagem e análise de mudanças do uso e cobertura da terra no entorno de áreas protegidas: o caso do Parque Estadual da Cantareira - São Paulo. 2017. 125 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. <https://doi.org/10.11606/T.8.2017.tde-03022017-140151>.

PEREIRA, E. da S. Análise espacial da zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca-Rio de Janeiro (RJ), baseada no uso de geoindicadores. 2023. 231 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

PIROLI, E. L.; ISHIKAWA, D. T. K.; DEMARCHI, J. C. Análise das mudanças no uso do solo da microbacia do córrego das Furnas, município de Ourinhos - SP, entre os anos de 1972 e 2007, e dos impactos sobre suas áreas de preservação permanente, apoiada em geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 6333-6340. Disponível em: <http://urlib.net/3ERPFQRTW/3A6J57P>. Acesso em: 17 abr. 2025.

PRADO, A. P.; MATTOS, C.; FERNANDEZ, C. F. Agricultores do Maciço da Pedra Branca (RJ): em busca de reconhecimento de seus espaços de vida. **Agriculturas**, v. 9, n. 2, 2012.

REIS, T. E. dos. Análise de geoindicadores como subsídio para a delimitação de zona de amortecimento: o caso do Parque Estadual do Ibitipoca, MG. 2019. 147 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

RIBEIRO, M. F. O desafio da gestão ambiental de zonas de amortecimento de unidades de conservação. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, **Anais...**, Universidade de Coimbra, 2010.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo, Oficina de Textos, 2004.

SMU – Secretaria Municipal de Urbanismo do Rio de Janeiro. **Evolução da Ocupação e Uso do Solo 2014-2015-2016**. Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Urbanismo/Prefeitura de Cidade do Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smu/informacoes-urbanisticas>. Acesso em: 25 mar. 2022.

ZANATA, J. M. **Mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito, municípios de Avaré e Itatinga-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2014. 122 f. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/61055b07-3737-49aa-8d7f-79ff8ac4b9b9/content> Acesso em: 19 abr. 2026.

Recebido em: 24/02/2026

Aceito para publicação em: 26/05/2026