

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Leticia Marcela Pinheiro Rodrigues

**DINÂMICAS URBANAS E ÁREAS VERDES: UMA
ABORDAGEM GEOESPACIAL E SOCIOECONÔMICA**

Trabalho de Graduação
2025

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Leticia Marcela Pinheiro Rodrigues

**DINÂMICAS URBANAS E ÁREAS VERDES: UMA
ABORDAGEM GEOESPACIAL E SOCIOECONÔMICA**

Orientador

Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut (ITA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Marcela Pinheiro Rodrigues, Leticia
Dinâmicas urbanas e áreas verdes: uma abordagem geoespacial e socioeconômica / Leticia Marcela Pinheiro Rodrigues.
São José dos Campos, 2025.
57f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2025. Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut.

1. Vegetação. 2. Geoprocessamento. 3. Efeitos ambientais. 4. Desenvolvimento ambiental. 5. São José dos Campos. 6. Gestão ambiental. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARCELA PINHEIRO RODRIGUES, Leticia. **Dinâmicas urbanas e áreas verdes: uma abordagem geoespacial e socioeconômica**. 2025. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Leticia Marcela Pinheiro Rodrigues

TÍTULO DO TRABALHO: Dinâmicas urbanas e áreas verdes: uma abordagem geoespacial e socioeconômica.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2025

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização da autora.

Leticia Marcela Pinheiro Rodrigues
Rua H8A, apto 105
12228-460 – São José dos Campos, SP

DINÂMICAS URBANAS E ÁREAS VERDES: UMA ABORDAGEM GEOESPACIAL E SOCIOECONÔMICA

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Leticia Marcela Pinheiro Rodrigues

Autora

Eduardo Moraes Arraut (ITA)

Orientador

São José dos Campos, 13 de outubro de 2025.

Aos meus pais e avós: Aldeni, Marcelo,
Maria e Geocleto. Obrigada por tanto e
tudo e muito e mais e muito mais do que eu
consigo agradecer. Esse diploma é nosso.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu avô Geocleto, meu fã número 1 que hoje assiste de camarote lá de cima o nosso sonho se realizar, obrigada vô Gel! O senhor faz muita falta aqui. Ainda aqui desse lado, felizmente, agradeço a minha vó Maria, que sempre foi meu suporte e minha guardadora em toda essa caminhada. Meus pais, que atravessaram 700 KM pra fazer esse projeto dar certo. Obrigada mãe, pela confiança, pelos empurrões e por ser exemplo de força e resistência. Obrigada pai pelo apoio e pela inspiração em resiliência e calma. Por Araçatuba ficaram pessoas muito importantes e que também fizeram parte dessa travessia: Vó Regina, Vô Jura, Tia Adriana, Tia Néia e Tia Vilma obrigada por tanto. As minhas amigas que nunca desistiram de mim: Taisa, Maryele, Jac - obrigada por caminharem e evoluírem comigo. As amigadas que fiz durante o caminho das pedras do cursinho: Iany e Maryelen (Xê) obrigada pelos dias de choro e todo o caminho que estamos contruindo juntas. A todos os outros amigos e parceiros que fiz pelo cursinho, incluindo os que por acaso do destino ou da vida - e não por falta de muito esforço ou querência - não completaram essa jornada comigo, minha profunda gratidão, terão sempre um bom lugar na minha memória. Obrigada aos meus amigos de São Carlos pela experiência incrível e os melhores 6 meses sabáticos que uma pré-vestibulanda poderia ter - Gump, Carioca e muitos outros, valeu demais galera. Aos melhores amigos que fiz nesse Instituto e que me aguentaram reclamar por 6 anos do maior sonho da minha vida - Belinha, Kena, Angel e Phellype - Obrigada por serem e estarem sempre e sempre aqui dispostos a fofocar meia horinha ou andar até a lojinha pra respirar - ninguém forma sozinho (e com sanidade mental) nesse lugar. A todos os professores que acreditaram em mim e me deram parte deles para que pudesse chegar aqui - Vandilze, Walter Biolcati e Guilherme Bastos - obrigada não só pelo conteúdo lecionado, como pelos exemplos de vida e profissional. Ao meu mentor de vida e carreira Fabiano Rocha, obrigada pela inspiração e conselhos sinceros. Obrigada João Pedro (Xu), por me mostrar que isso tudo pode ser leve e divertido e por me fazer reaprender todos os dias a sorrir. Agradeço a Deus, em primeiro plano, por essa oportunidade e pelo milagre da ligação que recebi em 24 de dezembro de 2019 - sem Ele nada seria possível. Por fim agradeço a mim mesma, por ter sentado na mesma cadeira por quase 6 anos e focado em adentrar nesse sonho. E em seguida, ter batalhado por não deixar nenhuma asa - que não te protege - revoar injustamente com essa conquista. Valeu todas as penas, canetas, lapiseiras, sono perdido, coração curto-circuitado. Obrigada Leticia, você conseguiu.

*“Quem inventou a fome
são os que comem.”*
CAROLINA MARIA DE JESUS

Resumo

O presente trabalho analisa a relação entre a cobertura vegetal urbana e os indicadores socioeconômicos no município de São José dos Campos (SP), buscando compreender se a distribuição das áreas verdes reflete desigualdades socioambientais. Parte-se da hipótese de que o acesso à vegetação urbana pode variar conforme a renda e a escolaridade da população, configurando situações de injustiça ambiental. O estudo teve como objetivo geral avaliar a distribuição espacial da vegetação e sua correlação com variáveis de renda média domiciliar e taxa de alfabetização, a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial. As imagens do satélite CBERS-4A foram processadas no software QGIS, utilizando classificação supervisionada com o algoritmo *Random Forest*, a fim de mapear as classes de uso e cobertura da terra. Em seguida, os índices de Moran Global e Local foram aplicados para investigar padrões de autocorrelação espacial, complementados por correlação de Pearson entre as variáveis. Os resultados mostraram que a vegetação apresenta distribuição relativamente homogênea, mas fragmentada, sem correlação espacial significativa com renda e alfabetização. Apesar disso, identificaram-se áreas periféricas com baixos índices simultâneos de vegetação e condições socioeconômicas, concentradas em seis bairros abaixo da mediana, entre os quais o subdistrito Eugênio de Melo se destaca como caso emblemático de vulnerabilidade socioambiental. Conclui-se que, embora São José dos Campos apresente avanços em equidade ambiental, ainda persiste o desafio de transformar essa distribuição em equidade territorial efetiva.

Palavras-chave: cobertura vegetal, desigualdade ambiental, geoprocessamento, análise espacial, São José dos Campos.

Abstract

This study examines the relationship between urban vegetation cover and socioeconomic indicators in the municipality of São José dos Campos, Brazil, aiming to determine whether the distribution of green areas reflects patterns of environmental inequality. The research assumes that access to urban vegetation may vary according to income and education levels, generating potential cases of environmental injustice. The main objective was to evaluate the spatial distribution of vegetation and its correlation with household income and literacy rate through geospatial and spatial-statistical methods. CBERS-4A satellite images were processed in QGIS using supervised classification with the *Random Forest* algorithm to map land use and cover classes. Spatial dependence was analyzed using Global and Local Moran's I indices, complemented by Pearson's correlation between variables. The results indicate that vegetation is relatively homogeneous but spatially fragmented, showing no significant spatial correlation with income or literacy. Nevertheless, the study identified peripheral areas with simultaneously low levels of vegetation and socioeconomic conditions, concentrated in six neighborhoods below the municipal median, with the subdistrict of Eugênio de Melo standing out as a representative case of socio-environmental vulnerability. The findings suggest that, although São José dos Campos shows progress toward environmental equity, the challenge remains to translate this distribution into effective territorial equity.

Keywords: vegetation cover, environmental inequality, geoprocessing, spatial analysis, São José dos Campos.

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 – Dados obtidos, unidades e respectivas fontes.	19
TABELA 2.2 – Indicadores socioeconômicos dos bairros urbanos de São José dos Campos (SP).	20
TABELA 2.3 – Estatísticas descritivas dos índices de confiança da classificação.	28
TABELA 2.4 – Percentual médio de vegetação por bairro em São José dos Campos (SP).	30
TABELA 2.5 – Ordem dos bairros representados nos gráficos comparativos das variáveis analisadas.	44
TABELA 2.6 – Diferença percentual relativa em relação à mediana municipal para as três variáveis analisadas.	45

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Problema de pesquisa e justificativa	14
1.3	Objetivos	15
2	METODOLOGIA E RESULTADOS	17
2.1	Área de estudo: São José dos Campos - SP	17
2.2	Coleta e organização de dados	18
2.3	Processamento de imagens	21
2.4	Classificação supervisionada	24
2.5	Pós-processamento e cálculo da cobertura vegetal	28
2.6	Integração de dados	31
2.7	Análises Espaciais e Estatísticas	32
2.7.1	Análise de autocorrelação espacial local (Moran Local – LISA)	32
2.7.2	Análise de autocorrelação espacial bivariada (Moran Bivariado Local)	38
2.8	Análise dos bairros abaixo da mediana socioambiental	42
2.9	Estudo de caso: subdistrito Eugênio de Melo	46
3	LIMITAÇÕES E PRÓXIMOS PASSOS	49
3.1	Limitações no mapeamento da vegetação	49
3.2	Segmentação e unidade espacial de análise	50
3.3	Limitação relacionada ao trabalho de campo	51
3.4	Inclusão de novos indicadores socioespaciais - próximos passos	51
4	CONCLUSÃO	53

REFERÊNCIAS	55
ANEXO A – DECLARAÇÃO DO USO DE IA GENERATIVA E TECNOLOGIAS ASSISTIDAS POR IA NO PROCESSO DE ESCRITA	57

1 Introdução

1.1 Contextualização

Nas últimas décadas, o processo de urbanização brasileiro tem se intensificado de forma expressiva, promovendo transformações profundas na configuração territorial e na dinâmica dos ecossistemas urbanos. A expansão das cidades, muitas vezes conduzida de maneira desordenada, tem resultado em alterações significativas na cobertura da terra, caracterizadas pela fragmentação de habitats, pela redução das áreas verdes e pela consequente perda de qualidade ambiental. Tais mudanças repercutem diretamente sobre o microclima urbano, a qualidade do ar e o bem-estar da população, evidenciando os impactos do crescimento urbano sobre os sistemas naturais e a vida nas cidades (SOUZA, 2019; BARGOS; MATIAS, 2011; GÓMEZ-BAGGETHUN; BARTON, 2013).

Nesse contexto, as áreas verdes urbanas assumem papel estratégico na manutenção da sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida, ao oferecerem serviços ecossistêmicos essenciais, como regulação térmica, mitigação de ilhas de calor, suporte à biodiversidade e oportunidades de lazer e convívio social. A literatura especializada reconhece que a vegetação urbana constitui um componente estruturante do planejamento urbano contemporâneo, não apenas pelo seu valor ecológico, mas também por seu potencial de promover coesão social e bem-estar coletivo (GÓMEZ-BAGGETHUN; BARTON, 2013; BARGOS; MATIAS, 2011).

Entretanto, tais benefícios não são distribuídos de maneira equitativa entre os diferentes grupos e territórios urbanos. Diversos estudos nacionais e internacionais evidenciam que bairros com maior renda e infraestrutura consolidada tendem a concentrar maior cobertura vegetal e acesso a espaços verdes, enquanto regiões socialmente vulneráveis apresentam déficits ambientais e carência de infraestrutura ecológica (FERREIRA; OUTROS, 2020; ANGELIS *et al.*, 2021). Essa assimetria socioespacial está diretamente associada aos debates sobre desigualdade socioambiental e justiça ambiental, conceitos centrais para compreender a relação entre sociedade, território e meio ambiente. O primeiro refere-se à distribuição desigual dos riscos e benefícios ambientais, que tende a sobrecarregar os grupos de menor poder econômico; o segundo, à necessidade de garantir equidade na apropriação dos bens ambientais e na exposição aos ônus ecológicos do desenvolvimento urbano (ACSELRAD *et al.*, 2004).

No caso de São José dos Campos (SP), esse processo se manifesta de forma particularmente relevante. A cidade, embora amplamente reconhecida por seu planejamento urbano e elevado desenvolvimento tecnológico (CAMPOS, 2021a), reflete também as contradições típicas da urbanização brasileira contemporânea, nas quais coexistem avanços em infraestrutura e persistentes desigualdades territoriais (MARICATO, 2011; SILVA TIAGO F. E ALVES, 2020). A expansão urbana recente tem promovido a conversão de áreas naturais e agrícolas em zonas urbanizadas, alterando a paisagem e pressionando os remanescentes de vegetação nativa (ROSA MARIA DE FÁTIMA E COSTA, 2021; SANTOS; LIMA, 2022). Ao mesmo tempo, o município abriga áreas de preservação ambiental e corredores verdes que desempenham papel fundamental na regulação ecológica local, mas cuja distribuição espacial não é necessariamente homogênea entre os diferentes bairros (CAMPOS, 2021b; CORRÊA, 2020). Esse contexto torna São José dos Campos um exemplo emblemático da tensão entre desenvolvimento urbano e equilíbrio ambiental, e um território oportuno para refletir sobre os desafios da justiça socioambiental em cidades médias brasileiras (ACSELRAD *et al.*, 2004; HERCULANO, 2002).

1.2 Problema de pesquisa e justificativa

A desigualdade ambiental urbana constitui um dos principais desafios das cidades contemporâneas, manifestando-se não apenas na concentração de poluição, ausência de saneamento básico ou exposição a riscos naturais, mas também na distribuição desigual dos benefícios ambientais, como o acesso a parques, praças e cobertura vegetal. Diversos estudos indicam que o padrão de distribuição das áreas verdes é frequentemente marcado por *desigualdades socioespaciais*, nas quais populações de maior renda e melhor infraestrutura desfrutam de mais oportunidades de usufruir dos serviços ambientais e paisagísticos oferecidos pela vegetação urbana, enquanto comunidades mais vulneráveis sofrem com a escassez desses recursos (FERREIRA; OUTROS, 2020; ANGELIS *et al.*, 2021).

Essa problemática insere-se no debate mais amplo sobre *justiça ambiental*, entendida como o direito de todos os cidadãos a viverem em um ambiente ecologicamente equilibrado e saudável, sem que determinados grupos sejam desproporcionalmente afetados por riscos ambientais ou privados dos benefícios naturais e urbanos (ACSELRAD *et al.*, 2004; HERCULANO, 2002). Em um cenário de urbanização acelerada e transformação constante do espaço, a justiça ambiental assume importância crescente ao questionar modelos de desenvolvimento urbano que reproduzem desigualdades históricas e aprofundam a vulnerabilidade de certos territórios.

Compreender como as condições socioeconômicas se relacionam à distribuição da cobertura vegetal urbana é, portanto, essencial para identificar padrões de *desigualdade socioambiental* e subsidiar políticas públicas orientadas à equidade territorial. A presença e a qualidade das áreas verdes são indicadores relevantes de sustentabilidade urbana, pois refletem tanto a estrutura

ecológica das cidades quanto o grau de justiça distributiva em relação aos bens ambientais (TRATALOS *et al.*, 2007). Nesse sentido, busca-se compreender de que maneira a distribuição da vegetação em São José dos Campos (SP) se articula com os diferentes contextos sociais e econômicos de seus bairros, considerando a hipótese de que áreas com menores indicadores socioeconômicos tendem a apresentar menor cobertura vegetal, o que pode configurar situações de injustiça ambiental.

A escolha de São José dos Campos como área de estudo justifica-se por sua relevância no contexto urbano paulista e nacional. Reconhecida por seu *planejamento urbano* e por seu papel estratégico no desenvolvimento tecnológico, a cidade apresenta, contudo, *contrastes marcantes entre áreas bem estruturadas e regiões com menor infraestrutura ambiental*. Essa dualidade torna o município um exemplo representativo dos desafios enfrentados por cidades médias brasileiras em conciliar expansão urbana e equilíbrio ambiental.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e de análise espacial reforça o caráter metodologicamente robusto e inovador desta pesquisa. O emprego de imagens CBERS-4A de alta resolução e a classificação supervisionada por meio do algoritmo *Random Forest*, Breiman (2001) implementada no QGIS com o plugin SCP, permite quantificar com precisão a cobertura vegetal urbana e integrar essas informações a dados socioeconômicos do Censo. Dessa forma, o estudo busca contribuir, de forma científica e aplicada, para o planejamento territorial e ambiental de São José dos Campos, oferecendo subsídios à formulação de políticas públicas de arborização, conservação e promoção da equidade ambiental.

1.3 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal no município de São José dos Campos (SP) e sua relação com indicadores socioeconômicos, a fim de compreender se a configuração do verde urbano reflete desigualdades socioambientais no território. O estudo busca, assim, contribuir para a discussão sobre o acesso equitativo aos bens ambientais e subsidiar estratégias de planejamento urbano e ambiental que promovam maior justiça territorial.

Para alcançar esse propósito, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Mapear a cobertura vegetal do município a partir de imagens do satélite CBERS-4A, utilizando a fusão pancromática para obtenção de resolução espacial de 2 metros.
2. Realizar a classificação supervisionada das imagens por meio do algoritmo *Random Forest*, implementado no QGIS com o plugin SCP, visando identificar as diferentes classes de cobertura da terra.

3. Calcular a proporção de vegetação por bairro e integrar esses dados aos indicadores socioeconômicos do Censo 2022, como renda média, taxa de alfabetização e densidade populacional.
4. Aplicar métodos de análise espacial, incluindo o *Moran Global* e *LISA* para identificar padrões de autocorrelação e zonas de concentração de vegetação e vulnerabilidade social.
5. Discutir os resultados à luz dos conceitos de *justiça ambiental* e *desigualdade socioambiental*, destacando áreas prioritárias para políticas públicas de arborização, conservação ambiental e redução de disparidades territoriais.

2 Metodologia e Resultados

2.1 Área de estudo: São José dos Campos - SP

O município de São José dos Campos situa-se no Vale do Paraíba Paulista, no estado de São Paulo, região Sudeste do Brasil, com marco zero na Igreja Matriz de São José (lat. 23°1047 S; long. 45°5314 W), e área territorial de aproximadamente 1.099,60 km² (CAMPOS, 2025b). De acordo com o perfil municipal do IBGE, a área oficial é de 1.099,409 km² e a população recenseada em 2022 é de 697.054 habitantes (IBGE, 2025).

O relevo municipal apresenta altitudes que variam de cerca de 500 m na planície aluvial do Rio Paraíba do Sul a 2.082 m no Pico do Selado (distrito de São Francisco Xavier), com altitude média entre 550 m e 690 m (CAMPOS, 2025b). O clima é descrito como mesotérmico úmido com estação seca no inverno, em consonância com a dinâmica regional do Vale do Paraíba (CAMPOS, 2025b).

Foram considerados neste estudo os 35 bairros que compõem a área urbana do município de São José dos Campos, delimitados conforme a divisão administrativa vigente. A Figura 2.2 apresenta a localização desses bairros, permitindo a visualização da malha urbana utilizada como base para as análises espaciais desenvolvidas neste trabalho.

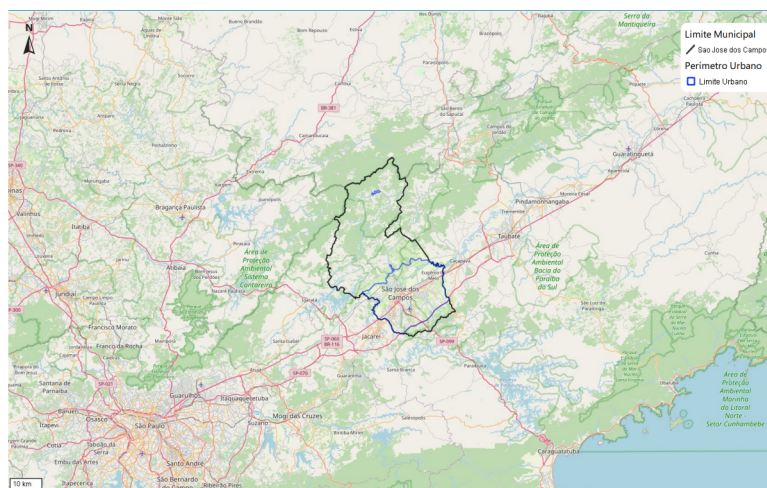


FIGURA 2.1 – Limites municipais e urbanos de São José dos Campos (SP) (CAMPOS, 2025a).

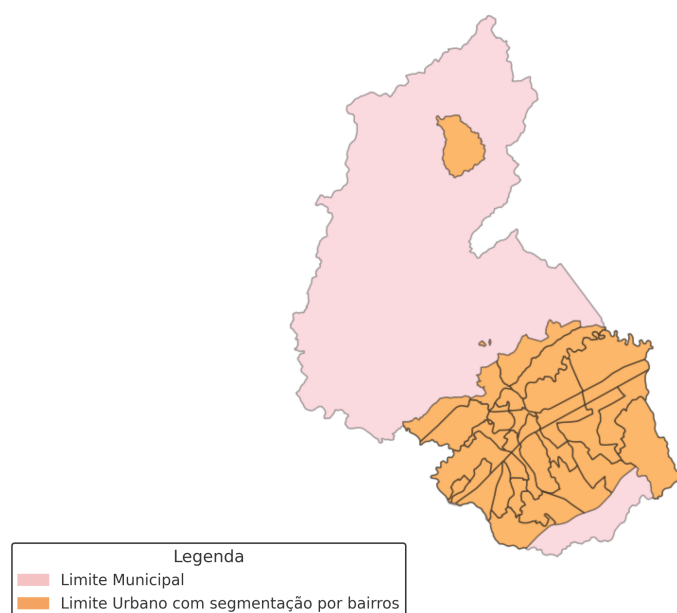


FIGURA 2.2 – Bairros da zona urbana de São José dos Campos - SP

2.2 Coleta e organização de dados

A etapa de coleta e organização de dados constitui a base metodológica deste trabalho, pois integra informações socioeconômicas, cartográficas e ambientais provenientes de diferentes instituições públicas. A consolidação desses dados permitiu articular dimensões sociais e ambientais em uma mesma estrutura espacial, viabilizando análises comparativas e estatísticas sobre a relação entre indicadores socioeconômicos e cobertura vegetal no território urbano de São José dos Campos (SP). Foram utilizadas três fontes principais de dados:

- As variáveis socioeconômicas de *renda média domiciliar* e *taxa de alfabetização* foram obtidas junto ao *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)*, a partir dos dados do Censo Demográfico de 2022, disponíveis na plataforma *Cidades@* (IBGE, 2025). Essa base foi selecionada por reunir informações oficiais, atualizadas e com cobertura nacional, garantindo a comparabilidade dos resultados e a confiabilidade estatística das análises subsequentes. Os dados obtidos estão na tabela 2.2;
- Os limites espaciais dos bairros foram obtidos a partir da integração de duas fontes distintas: os *shapefiles* disponibilizados pelo portal *GeoSanja*, da Prefeitura Municipal de São José dos Campos (CAMPOS, 2025a), e os arquivos vetoriais do IBGE referentes ao Censo 2022. A consolidação dessas bases assegurou maior precisão geométrica e coerência entre a divisão administrativa municipal e os limites utilizados para as análises socioeconômicas. O resultado dessa consolidação pode ser visto na figura 2.2

- As imagens de satélite utilizadas são provenientes do *China–Brazil Earth Resources Satellite 4A (CBERS-4A)*, disponibilizadas pelo *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)* por meio do catálogo online de imagens orbitais ((INPE), 2025). A escolha dessa base se deve à resolução espacial e temporal adequada para mapeamentos urbanos, além do acesso público e gratuito às cenas. A partir dessas imagens foi realizada a quantificação da cobertura vegetal, conforme metodologia detalhada posteriormente

A Tabela 2.1 apresenta o conjunto de dados empregados na análise, suas unidades de medida, fontes e anos de referência.

TABELA 2.1 – Dados obtidos, unidades e respectivas fontes.

Dado	Unidade	Fonte	Ano
Renda média domiciliar	R\$	IBGE	2022
Taxa de alfabetização	%	IBGE	2022
Limites administrativos (bairros)	—	GeoSanja / IBGE	2022 – 2025
Imagem de satélite CBERS-4A	2 m (pan-sharpened)	INPE	2023

TABELA 2.2 – Indicadores socioeconômicos dos bairros urbanos de São José dos Campos (SP).

Nome do Bairro	% de Alfabetizados (15+ anos)	Renda média mensal domiciliar (R\$)
Banhado Santana	100 %	2171,19
DCTA	100 %	9498,34
Esplanada	99,92 %	12435,59
Aquarius	99,87 %	14144,08
Vila Adyanna	99,77 %	9191,22
Urbanova	99,71 %	12963,74
Vista Verde	99,33 %	4438,67
Jardim Satélite	99,08 %	4939,33
Jardim das Indústrias	99 %	6142,06
Bosque dos Eucaliptos	98,97 %	4167,1
Morumbi	98,57 %	3915,45
Vila Industrial	98,54 %	3479,44
Parque Industrial	98,53 %	4027,09
Santana	98,5 %	3193,13
Centro	98,48 %	4031,1
Jardim Paulista	98,23 %	4023,37
Jardim da Granja	98,05 %	3467,76
Alto da Ponte	97,59 %	2491,79
Interlagos	97,42 %	2506,68
Eugênio de Melo	97,42 %	2650,78
Campos de São José	97,24 %	2462,79
Cajuru	96,98 %	1987,79
Novo Horizonte	96,65 %	2289,23
Putim	96,47 %	2461,43
Campo dos Alemães	96,45 %	2072,55
São Bento	96,02 %	2407,87
Bom Retiro	95,64 %	2072,03
Luso Brasileiro	94,95 %	2213,7
Banhado Jaguari	94,58 %	2348,92
Banhado Martins Guimarães	94,32 %	1684
Banhado Limoeiro	93,7 %	2470,27
Banhado Centro	93,02 %	1129,29
São Francisco Xavier	92,21 %	2745,66
Banhado Vargem Grande	91,72 %	1726,15
Banhado Eugênio de Melo	91,47 %	3179,59

A escolha do *bairro* como unidade espacial de análise fundamenta-se na disponibilidade dessa escala administrativa para o município e em sua relevância para o planejamento urbano local. Trata-se de uma unidade reconhecida oficialmente pela Prefeitura (CAMPOS, 2021a) e utilizada em políticas públicas, o que assegura a aplicabilidade prática dos resultados. Além disso, o nível de detalhe dos bairros permite observar variações socioeconômicas internas sem comprometer a consistência das informações censitárias.

O processo de preparação e padronização dos dados foi realizado no software *QGIS* (QGIS Development Team, 2025), versão 3.22, que permitiu integrar, editar e tratar as diferentes bases de informação geoespacial. Nessa etapa, efetuou-se a harmonização das nomenclaturas de bairros e a adequação dos sistemas de referência espacial, garantindo a compatibilidade entre as fontes de dados. Os arquivos vetoriais foram reprojatados para o sistema UTM (fuso 23S), compatível com as imagens CBERS-4A, assegurando precisão métrica nas análises subsequentes. Em seguida, foram verificadas e ajustadas as correspondências entre as denominações de bairros nas bases do IBGE e da Prefeitura, garantindo a consistência da identificação espacial em toda a base consolidada.

Como etapa de exploração e *data discovery*, também conduzida no ambiente do *QGIS*, foram produzidos dois mapas temáticos: (i) um mapa de distribuição da renda média domiciliar por bairro e (ii) outro representando a taxa de alfabetização. Em ambos, a gradação de cores foi utilizada para evidenciar as diferenças relativas entre os bairros, oferecendo uma visualização inicial dos padrões socioeconômicos urbanos e servindo de base para a investigação espacial detalhada nas etapas seguintes. A Figura 2.3 apresenta a distribuição da renda média domiciliar, enquanto a Figura 2.4 ilustra a variação da taxa de alfabetização.

Essas representações cumprem a função exploratória de caracterizar o contexto social da área de estudo, auxiliando na identificação preliminar de possíveis desigualdades territoriais a serem posteriormente relacionadas com a cobertura vegetal obtida por sensoriamento remoto.

2.3 Processamento de imagens

O processamento das imagens orbitais constituiu uma etapa fundamental para a geração dos produtos cartográficos utilizados nas análises de cobertura vegetal. Foram empregadas duas cenas do satélite *China–Brazil Earth Resources Satellite 4A (CBERS-4A)*, operado pelo *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)* ((INPE), 2025). As imagens correspondem às datas de 17 de março de 2022 e 23 de agosto de 2023, escolhidas por estarem temporalmente próximas ao Censo Demográfico de 2022 e, portanto, coerentes com o período de referência das variáveis socioeconômicas. Além disso, as duas datas representam estações distintas — verão e inverno — o que contribui para reduzir a influência de fatores sazonais, como variações de insolação e resposta espectral da vegetação, aumentando a robustez das comparações espaciais.

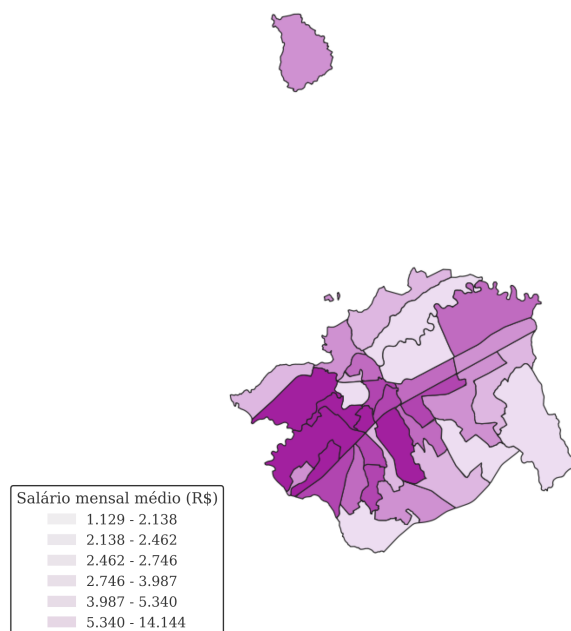


FIGURA 2.3 – Distribuição da renda média domiciliar por bairro em São José dos Campos (SP).

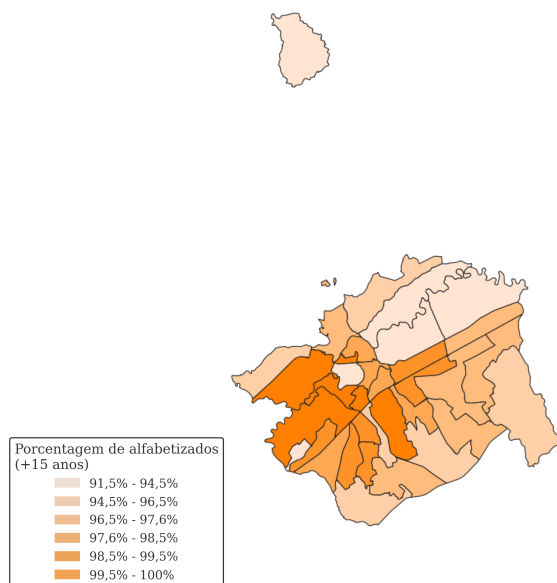


FIGURA 2.4 – Distribuição da taxa de alfabetização por bairro em São José dos Campos (SP).

O satélite CBERS-4A possui dois sensores principais: o *MUXCam* (Multispectral Camera) e o *PANCam* (Panchromatic Camera). O sensor WPM registra quatro bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) com resolução espacial de 8 m, enquanto o sensor PAN opera em faixa pancromática com resolução de 2 m. Essa configuração permite a realização do processo de fusão pancromática (*pan-sharpening*), combinando o conteúdo espectral das bandas multiespectrais com o detalhamento espacial da banda pancromática. O resultado é uma imagem multiespectral de alta resolução (2 m), adequada para análises ambientais em escala urbana.

As etapas de recorte, fusão e tratamento espacial foram conduzidas no *QGIS* (QGIS Development Team, 2025), versão 3.22, utilizando o *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)* e complementadas por ferramentas do *GRASS GIS* para operações de rasterização e reprojeção. Inicialmente, todas as bandas das duas datas foram recortadas (*clip*) com base no limite do shapefile correspondente à área urbana de São José dos Campos, de modo a restringir o processamento à região de interesse. Em seguida, procedeu-se à composição colorida das bandas multiespectrais (RGB/NIR) e, posteriormente, à aplicação do *pan-sharpening*, que integrou as imagens coloridas à banda pancromática do mesmo satélite, elevando a resolução espacial para 2 m e preservando as propriedades espectrais originais.

A Figura 2.5 apresenta a comparação entre a composição multiespectral original (à esquerda) e a imagem resultante após a fusão pancromática (à direita), para a data de 17 de março de 2022. A disposição lado a lado permite observar a melhoria na definição dos alvos urbanos e vegetados obtida após o processo de fusão, evidenciando a qualidade espacial das imagens empregadas como base para o mapeamento da cobertura vegetal.

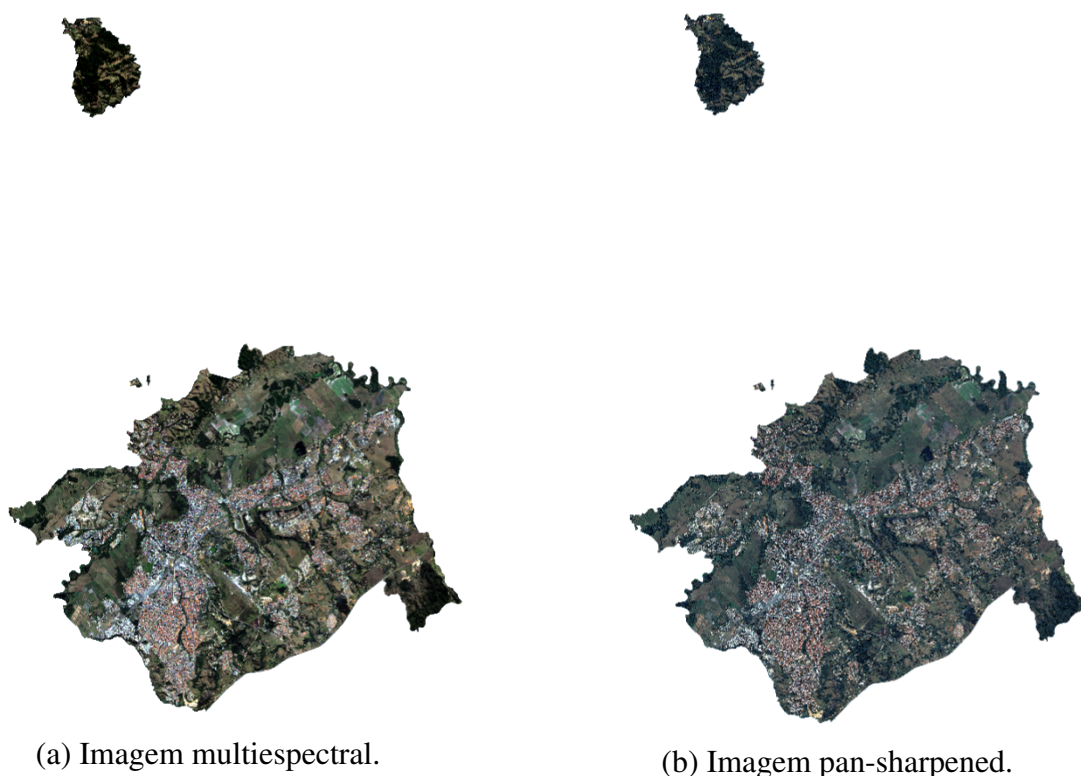


FIGURA 2.5 – Comparação entre imagens multiespectrais e pan-sharpened do satélite CBERS-4A - 17/03/2022

O resultado do processamento produziu duas composições coloridas fusionadas, com resolução final de 2 m e sistema de referência UTM, fuso 23S, datum SIRGAS 2000. Esses produtos raster serviram de insumo direto para a classificação supervisionada apresentada na subseção seguinte, garantindo precisão espacial compatível com a escala de análise adotada e homogeneidade espectral suficiente para a identificação das áreas de vegetação urbana.

2.4 Classificação supervisionada

A etapa de classificação supervisionada teve por objetivo distinguir as classes de uso e cobertura da terra a partir das imagens CBERS-4A processadas na etapa anterior. Para isso, foi utilizado o algoritmo *Random Forest* Breiman (2001), amplamente reconhecido por sua robustez, baixa sensibilidade a ruídos e elevada acurácia em mapeamentos urbanos (QGIS Development Team, 2025). Essa técnica, baseada em um conjunto de múltiplas árvores de decisão, reduz a variância dos resultados e minimiza o risco de sobreajuste, tornando-se particularmente adequada para áreas urbanas com heterogeneidade espectral elevada.

A coleta de amostras supervisionadas foi realizada no ambiente do *QGIS*, utilizando o *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*. Foram definidos 15 conjuntos de *Regions of Interest (ROIs)* para cada classe de cobertura, buscando abranger a diversidade de tons, texturas e variações espectrais existentes dentro de uma mesma categoria. O número de pixels por amostra não

foi rigidamente controlado, mas priorizou-se a representatividade visual de diferentes condições de iluminação, densidade e contexto espacial, a fim de melhorar o desempenho do classificador. A Figura 2.6 ilustra a distribuição espacial dessas amostras nas imagens utilizadas.



FIGURA 2.6 – Amostras de treinamento (*ROIs*) no QGIS para cada uma das classes de cobertura.

As classes de cobertura definidas para a classificação estão apresentadas a seguir. Cada categoria foi delimitada com base em suas características espectrais e em sua relevância para o estudo das áreas verdes urbanas:

- **Vegetação alta:** corresponde a árvores de médio e grande porte, incluindo parques, áreas arborizadas e vegetação densa. Esta classe representa o principal objeto de análise do estudo, por estar associada a benefícios ambientais como conforto térmico, melhoria da qualidade do ar e sombreamento urbano.
- **Vegetação rasteira:** composta predominantemente por gramíneas e pequenas plantas herbáceas. Apesar de serem elementos vegetais, apresentam baixa contribuição em termos de conforto ambiental e microclima urbano quando comparadas à vegetação arbórea.

- **Construção urbana:** inclui superfícies artificiais como edificações, vias pavimentadas, telhados e demais estruturas de concreto ou asfalto, representando o ambiente construído e impermeabilizado.
- **Água:** engloba corpos hídricos superficiais como rios, lagos, represas e também piscinas ou reservatórios visíveis nas imagens orbitais.

A Figura 2.7 apresenta exemplos visuais de cada uma das classes mapeadas, conforme identificadas nas imagens CBERS-4A utilizadas.

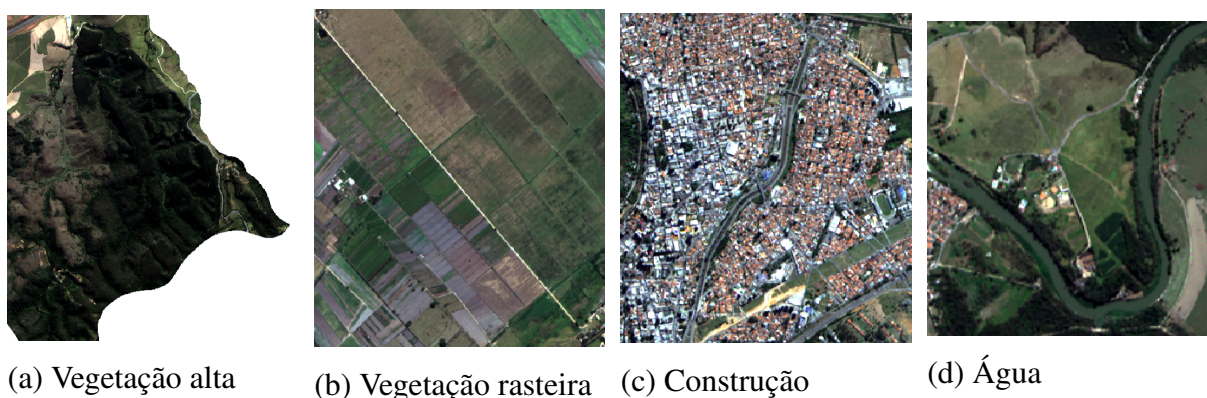


FIGURA 2.7 – Exemplos das classes de cobertura definidas para o processo de classificação supervisionada.

O algoritmo *Random Forest* foi configurado no *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*. Entre as alternativas disponíveis, o método foi definido com 200 árvores (*Number of trees*), parâmetro que controla o tamanho do conjunto de árvores de decisão utilizadas na classificação. Esse número foi escolhido por representar um equilíbrio entre desempenho computacional e estabilidade estatística, reduzindo a variância do modelo sem gerar sobrecarga excessiva na memória. O parâmetro *Minimum number to split* foi ajustado para 2, estabelecendo o número mínimo de amostras necessário para dividir um nó em uma árvore. Esse valor baixo favorece divisões mais detalhadas, permitindo capturar variações espectrais sutis em áreas urbanas heterogêneas, embora aumente o tempo de processamento.

A normalização de entrada foi realizada pelo método *Z-score*, que padroniza os valores de cada banda de acordo com sua média e desvio padrão, evitando o predomínio de bandas com maior amplitude numérica sobre as demais durante o processo de decisão. A opção de normalização linear (*Linear scaling*) não foi utilizada, pois esse método é mais sensível à presença de valores extremos. O campo *Max features*, que define o número máximo de variáveis consideradas em cada divisão, foi mantido vazio, permitindo que o algoritmo utilizasse todas as bandas disponíveis, prática recomendada quando o número de atributos é reduzido, como no caso das quatro bandas multiespectrais do sensor WPM.

Outros parâmetros foram deliberadamente não ativados: a opção *One-vs-Rest*, que separa classes binárias em múltiplos classificadores independentes, não se aplica à estrutura multi-

classe adotada; a *Cross Validation* não foi utilizada, pois o conjunto de amostras já havia sido previamente balanceado. O campo *Find best estimator with steps*, usado para otimização automática de hiperparâmetros, foi deixado inativo a fim de reduzir o custo computacional e preservar a reprodutibilidade do processo.

O parâmetro *Calculate classification confidence raster* foi mantido habilitado, resultando na criação de um raster adicional de confiança. Esse arquivo associa a cada pixel um valor entre 0 e 1, correspondente ao grau de confiança da classificação gerado a partir da concordância entre as árvores do modelo. Valores próximos de 1 indicam alta consistência entre as árvores, enquanto valores mais baixos sugerem incerteza quanto à classe atribuída. O uso dessa opção é relevante em ambientes urbanos, onde o sombreamento, o albedo e as transições abruptas entre superfícies vegetadas e construídas aumentam a variabilidade espectral.

Por fim, ressalta-se que o aumento no número de árvores, aliado à menor restrição de divisão dos nós, resultou em um processo computacional mais lento, mas com ganhos significativos em estabilidade e precisão. Essa configuração mostrou-se adequada ao objetivo do estudo, que prioriza a confiabilidade do mapeamento em detrimento da velocidade de execução.

Como resultado, foram gerados mapas classificados para as duas datas analisadas (2022 e 2023), diferenciando as quatro classes estabelecidas. As Figuras 2.8a e 2.8b apresentam, respectivamente, os produtos resultantes da classificação para cada período.

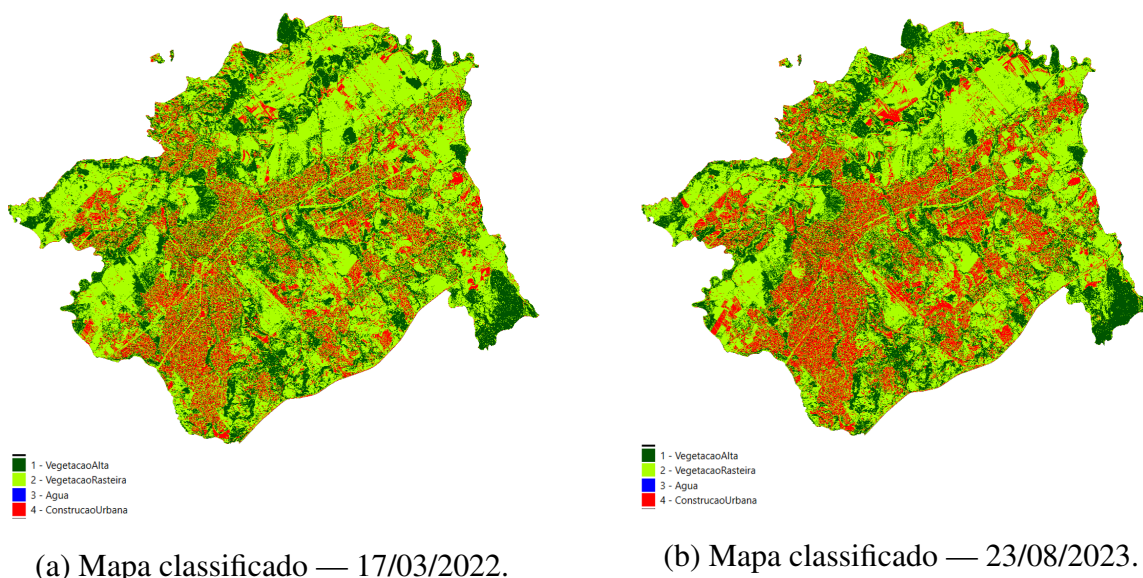


FIGURA 2.8 – Mapas resultantes da classificação supervisionada com o algoritmo *Random Forest*.

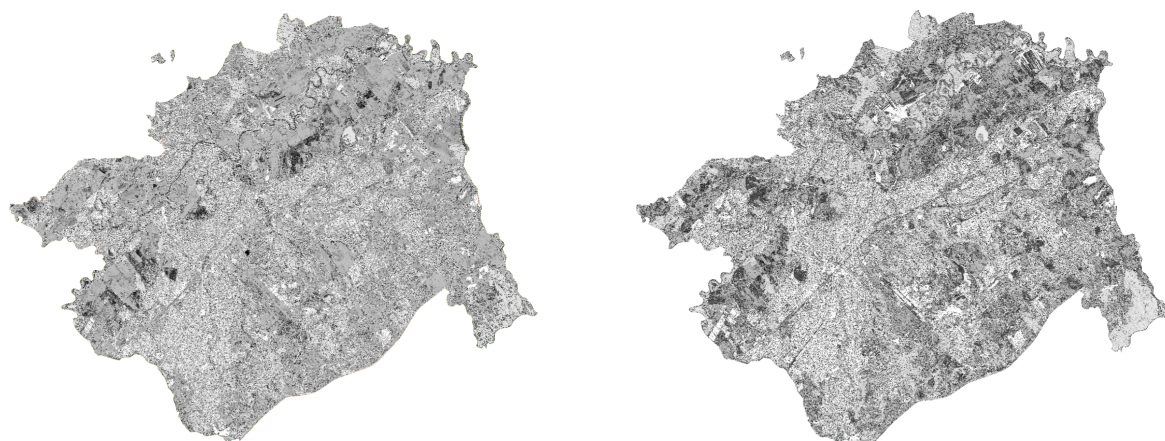
Além do mapa temático de classes, o plugin SCP gera um raster de confiança (*confidence raster*) que atribui a cada pixel um valor entre 0 e 1, correspondente ao nível de confiança do classificador. A análise estatística desses rasters foi realizada separadamente para as duas datas. Foram calculadas a média e o desvio padrão dos índices de confiança, conforme apresentado na Tabela 2.3. Para o mapa de 2022, obteve-se média de 0,85 e desvio padrão de 0,11; para 2023, a

média foi de 0,82 com desvio padrão de 0,12, indicando consistência e boa confiabilidade geral da classificação.

TABELA 2.3 – Estatísticas descritivas dos índices de confiança da classificação.

Ano	Média do índice de confiança	Desvio padrão
2022	0,85	0,11
2023	0,82	0,12

Os rasters de confiança para cada data são apresentados na Figura 2.9, onde as tonalidades mais claras indicam regiões de maior incerteza. As distribuições espaciais são semelhantes entre os dois períodos, com leve aumento da variabilidade em 2023, possivelmente associado à maior heterogeneidade espectral decorrente de condições atmosféricas distintas.



(a) Raster de confiança — 2022.

(b) Raster de confiança — 2023.

FIGURA 2.9 – Mapas dos índices de confiança da classificação supervisionada.

Fonte: elaboração própria (2025).

A análise dos índices médios e da coerência espacial entre os mapas permite concluir que a classificação supervisionada com o algoritmo *Random Forest* apresentou desempenho satisfatório, com resultados consistentes entre as duas datas. A utilização de parâmetros configurados para maximizar a acurácia, embora tenha aumentado o tempo de processamento, contribuiu para a obtenção de produtos cartográficos confiáveis e compatíveis com o nível de detalhamento requerido nas análises urbanas de São José dos Campos.

2.5 Pós-processamento e cálculo da cobertura vegetal

A etapa de pós-processamento teve como objetivo sintetizar os resultados das classificações supervisionadas de 2022 e 2023 em indicadores quantitativos de cobertura vegetal por bairro.

Todo o procedimento foi executado no ambiente do *QGIS* (QGIS Development Team, 2025), utilizando a ferramenta *Zonal Statistics*, que permite calcular estatísticas por zonas vetoriais a partir de valores de um raster. O shapefile de segmentação dos bairros, elaborado nas etapas anteriores, foi utilizado como camada vetorial de referência, servindo de base para a agregação dos valores de cada pixel classificado.

Inicialmente, foi realizada a reclassificação dos mapas temáticos gerados pelo algoritmo *Random Forest*, convertendo as quatro classes originais (vegetação alta, vegetação rasteira, construção urbana e água) em duas categorias binárias: *vegetação* e *não vegetação*. Nessa reclassificação, apenas a vegetação alta foi considerada como vegetação efetiva, uma vez que corresponde às áreas arborizadas e de médio a grande porte, foco principal deste estudo. Todas as demais classes foram agrupadas na categoria de não vegetação, englobando superfícies gramadas, construções e corpos d'água.

Após a reclassificação, a ferramenta *Zonal Statistics* foi aplicada separadamente para cada um dos mapas classificados — correspondentes às datas de 17 de março de 2022 e 23 de agosto de 2023. O cálculo consistiu em contabilizar o número total de pixels de vegetação e de não vegetação em cada bairro, considerando a segmentação espacial previamente definida. A proporção de pixels classificados como vegetação em relação ao total de pixels do bairro permitiu obter o percentual de cobertura vegetal para cada unidade territorial.

Durante esse processo, algumas limitações foram observadas. Em bairros de pequena área, pequenas variações na classificação podem gerar grandes oscilações percentuais, resultando em valores distorcidos. Além disso, efeitos de borda decorrentes do recorte das imagens e a presença pontual de sombras e nuvens finas — especialmente perceptíveis na imagem de 2023 — podem interferir na identificação precisa das áreas arborizadas. Esses fatores foram considerados na etapa seguinte, de integração e normalização dos resultados.

Com as porcentagens calculadas, foram criados campos específicos na tabela de atributos do shapefile de bairros no próprio ambiente do *QGIS*. Cada bairro passou a conter os valores de porcentagem de vegetação referentes a 2022 e 2023, permitindo uma análise comparativa direta entre os períodos. Para reduzir a influência das variações sazonais e de iluminação mencionadas anteriormente, optou-se por utilizar, como valor final, a média simples entre os percentuais obtidos para os dois anos. Essa abordagem permitiu atenuar os efeitos atmosféricos e temporais, proporcionando uma representação mais estável e consistente da cobertura vegetal no município.

A Tabela 2.4 apresenta o percentual médio de vegetação obtido para cada bairro, resultante da média aritmética dos valores de 2022 e 2023. Esses dados representam a base quantitativa das análises espaciais e estatísticas realizadas nas subseções seguintes, possibilitando a identificação inicial das zonas mais e menos arborizadas de São José dos Campos.

TABELA 2.4 – Percentual médio de vegetação por bairro em São José dos Campos (SP).

Bairro	Percentual médio de vegetação (%)
São Francisco Xavier	67,30 %
Luso Brasileiro	42,83 %
Banhado Santana	38,76 %
Banhado Centro	37,69 %
Interlagos	37,53 %
Santana	36,97 %
Bom Retiro	35,90 %
São Bento	33,08 %
Vista Verde	32,07 %
Banhado Jaguari	29,74 %
Alto da Ponte	28,38 %
Esplanada	26,84 %
Banhado Vargem Grande	26,78 %
DCTA	25,13 %
Campo dos Alemães	24,60 %
Aquarius	24,44 %
Vila Adyanna	24,26 %
Campos de São José	23,65 %
Urbanova	22,30 %
Banhado Martins Guimarães	21,95 %
Banhado Limoeiro	21,33 %
Cajuru	20,96 %
Bosque dos Eucaliptos	20,91 %
Putim	20,70 %
Banhado Eugênio de Melo	19,88 %
Parque Industrial	18,74 %
Eugênio de Melo	18,74 %
Vila Industrial	18,58 %
Novo Horizonte	18,11 %
Jardim das Indústrias	18,05 %
Centro	16,75 %
Jardim Satélite	16,32 %
Jardim da Granja	16,31 %
Jardim Paulista	13,86 %
Morumbi	11,83 %

2.6 Integração de dados

A etapa de integração de dados consistiu em reunir, em uma única estrutura geoespacial, as variáveis socioeconômicas e ambientais obtidas nas etapas anteriores, consolidando o conjunto de informações utilizado nas análises de correlação e estatística espacial. Todo o processo foi executado no ambiente do *QGIS* (QGIS Development Team, 2025), de forma a assegurar consistência topológica e compatibilidade entre os diferentes tipos de dados.

As bases empregadas nessa integração incluíram: (i) o shapefile contendo os limites oficiais dos bairros do município, derivado da consolidação entre as bases do IBGE e do portal GeoSanja; (ii) os atributos socioeconômicos — renda média domiciliar e taxa de alfabetização — incorporados à tabela de atributos; e (iii) o campo referente ao percentual médio de vegetação calculado na subseção anterior. O objetivo foi criar um único arquivo vetorial capaz de representar, simultaneamente, as dimensões sociais e ambientais de São José dos Campos (SP).

O procedimento iniciou-se com a conferência das projeções espaciais, garantindo que todas as camadas estivessem no mesmo sistema de coordenadas (UTM, fuso 23S, datum SIRGAS 2000). Em seguida, as tabelas de atributos provenientes das diferentes fontes foram unidas ao shapefile principal dos bairros, utilizando o campo de identificação único de cada unidade territorial como chave de associação. Essa chave, correspondente ao nome padronizado do bairro, foi previamente harmonizada na fase de preparação dos dados, o que garantiu a integridade relacional entre as tabelas e evitou perdas de registros durante a junção.

A operação de junção de atributos (*Join Attributes by Field Value*) foi realizada diretamente no *QGIS*, unindo as tabelas das variáveis de renda e alfabetização à camada vetorial de bairros. Posteriormente, o shapefile resultante foi enriquecido com os valores médios de cobertura vegetal calculados na subseção anterior. Após a fusão, procedeu-se à verificação da consistência interna da base, observando-se a correspondência espacial entre polígonos e registros tabulares, e à análise exploratória dos dados para assegurar a completude das colunas e a ausência de valores nulos.

O fluxo de integração dos dados, representado de forma esquemática na Figura 2.10, ilustra a sequência de operações realizadas, desde a coleta e padronização das bases originais até a consolidação do shapefile final utilizado nas análises espaciais. Esse procedimento garantiu que todas as informações fossem armazenadas em um único arquivo vetorial, o qual serviu como insumo central para as análises de correlação e dependência espacial desenvolvidas nos capítulos subsequentes.

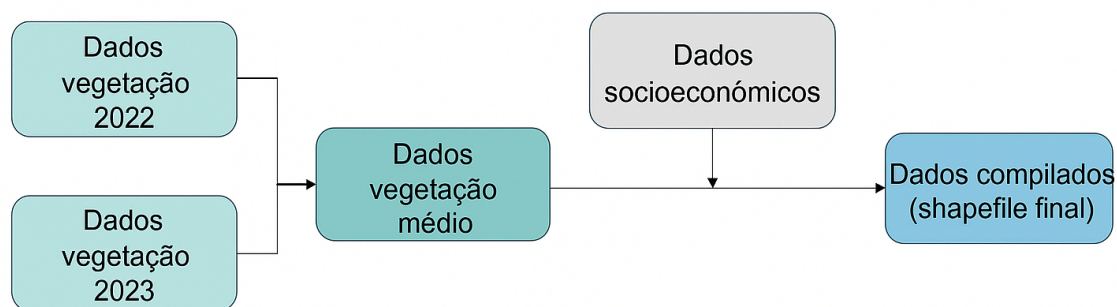


FIGURA 2.10 – Fluxograma do processo de integração das bases até o shapefile final.

O resultado desse processo foi a obtenção de uma base vetorial única, contendo para cada bairro os atributos de renda média domiciliar, taxa de alfabetização e percentual médio de vegetação. Essa integração assegurou a consistência espacial e relacional entre as variáveis, permitindo análises conjuntas entre dimensões socioeconômicas e ambientais com precisão métrica e coerência topológica. Além disso, a consolidação dos dados em um único shapefile simplificou o fluxo de trabalho, evitando a manipulação fragmentada de arquivos e garantindo rastreabilidade total das informações empregadas nas etapas posteriores do estudo.

2.7 Análises Espaciais e Estatísticas

2.7.1 Análise de autocorrelação espacial local (Moran Local – LISA)

A análise de autocorrelação espacial local (*Local Indicators of Spatial Association – LISA*) foi aplicada para avaliar a distribuição espacial das variáveis socioeconômicas e ambientais em nível de bairro no município de São José dos Campos (SP). O objetivo foi identificar a presença de agrupamentos territoriais (*clusters*) de valores altos e baixos e observar se há padrões de associação estatisticamente significativos entre bairros adjacentes.

O procedimento foi executado no software *GeoDa*, amplamente utilizado em estudos de

análise espacial por sua robustez estatística e integração direta com bases geográficas. Para cada variável — percentual de vegetação, taxa de alfabetização e renda média domiciliar — o índice LISA foi calculado com base em uma matriz de vizinhança do tipo *Queen*, na qual cada bairro é considerado vizinho de todos os que compartilham fronteira ou vértice. Essa configuração é adequada a estudos urbanos, pois captura as interações espaciais entre áreas contíguas e reduz distorções em polígonos de geometria irregular.

O cálculo do Moran Local foi realizado a partir da padronização das variáveis em escores z , resultando em um índice de autocorrelação para cada unidade espacial. Valores positivos indicam similaridade entre um bairro e seus vizinhos (agrupamentos Alto-Alto ou Baixo-Baixo), enquanto valores negativos indicam contraste (outliers do tipo Alto-Baixo ou Baixo-Alto). A significância estatística foi testada com 999 permutações aleatórias, assegurando confiabilidade nos resultados.

- **Variável vegetação**

Os resultados do Moran Local para o percentual de vegetação evidenciaram *baixa autocorrelação espacial* e poucos agrupamentos significativos. O mapa LISA da Figura 2.11 e o mapa de significância da Figura 2.12 indicam apenas quatro bairros com associações relevantes: um agrupamento Alto-Alto, um Baixo-Baixo e dois outliers espaciais (Baixo-Alto e Alto-Baixo).

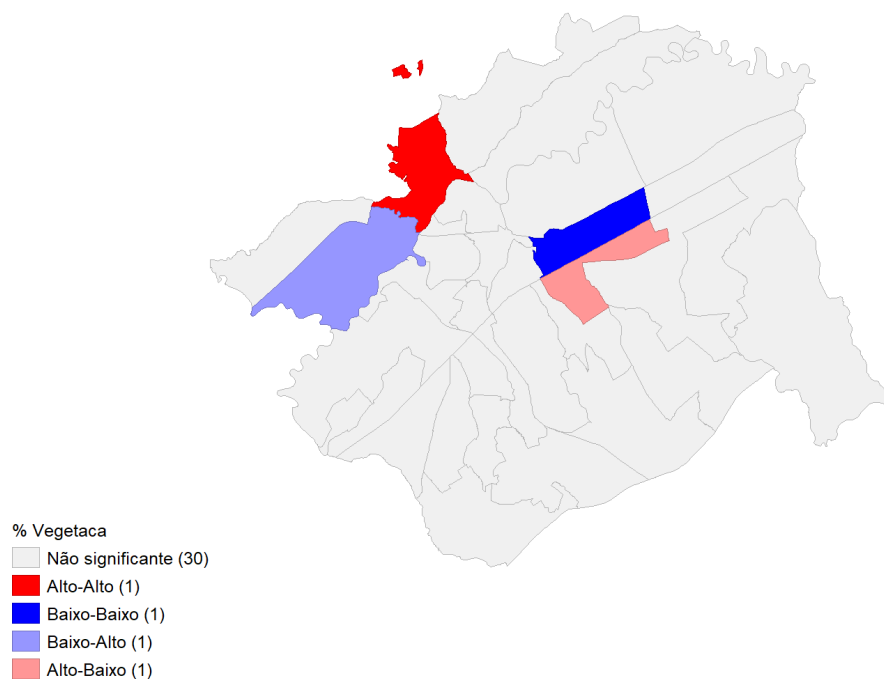


FIGURA 2.11 – Mapa LISA da variável percentual de vegetação em São José dos Campos (SP).

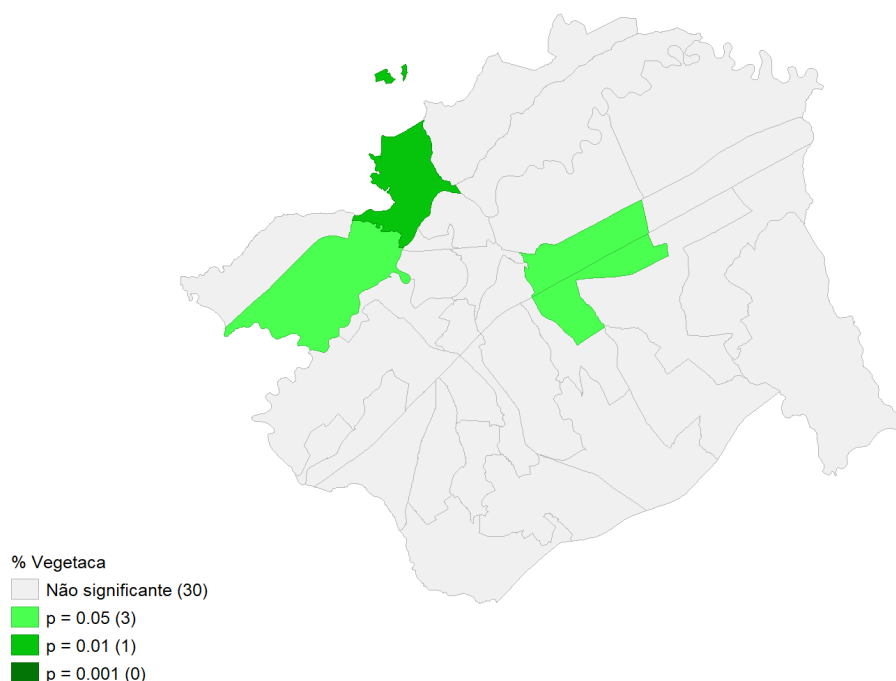


FIGURA 2.12 – Mapa de significância local (p -value) da variável percentual de vegetação.

A predominância de áreas classificadas como não significativas demonstra que a vegetação urbana apresenta *distribuição fragmentada e heterogênea*, sem a formação de blocos territoriais extensos. Esse padrão sugere que a presença de áreas verdes é fortemente influenciada por restrições físicas e morfológicas — como topografia, hidrografia e zoneamento — mais do que por fatores socioeconômicos. Assim, conclui-se que a vegetação em São José dos Campos possui *baixo grau de dependência espacial* e um *padrão disperso*, reforçando a ideia de fragmentação ambiental e ausência de continuidade ecológica significativa.

- **Variável alfabetização**

A análise da taxa de alfabetização revelou *autocorrelação espacial positiva moderada*, com formação de agrupamentos mais estruturados. O mapa LISA apresentado na Figura 2.13 e o mapa de significância na Figura 2.14 mostram três *clusters* Alto-Alto e dois Baixo-Baixo, representando zonas de homogeneidade educacional.

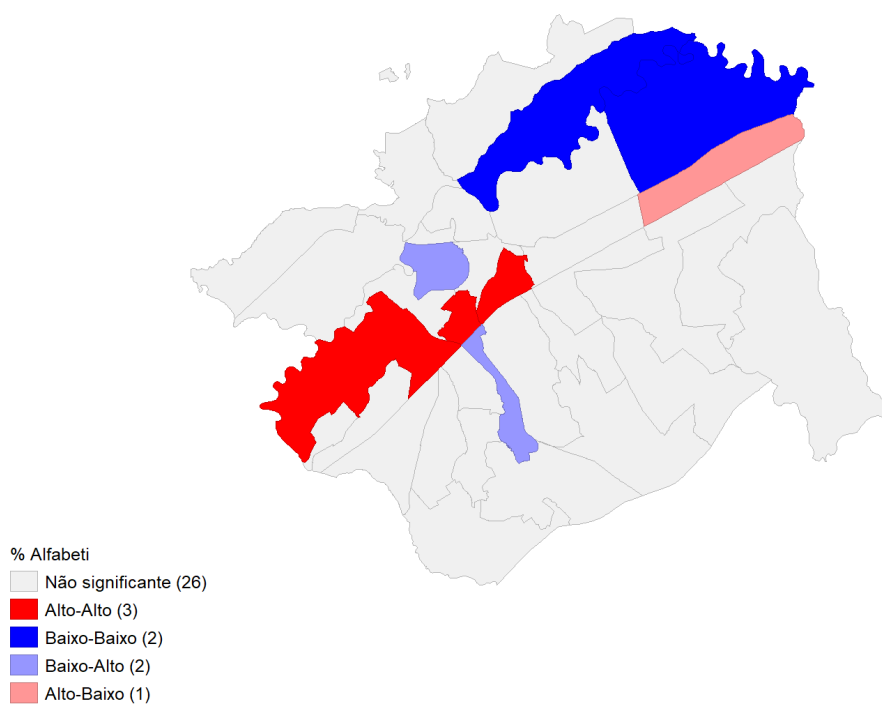


FIGURA 2.13 – Mapa LISA da variável taxa de alfabetização em São José dos Campos (SP).

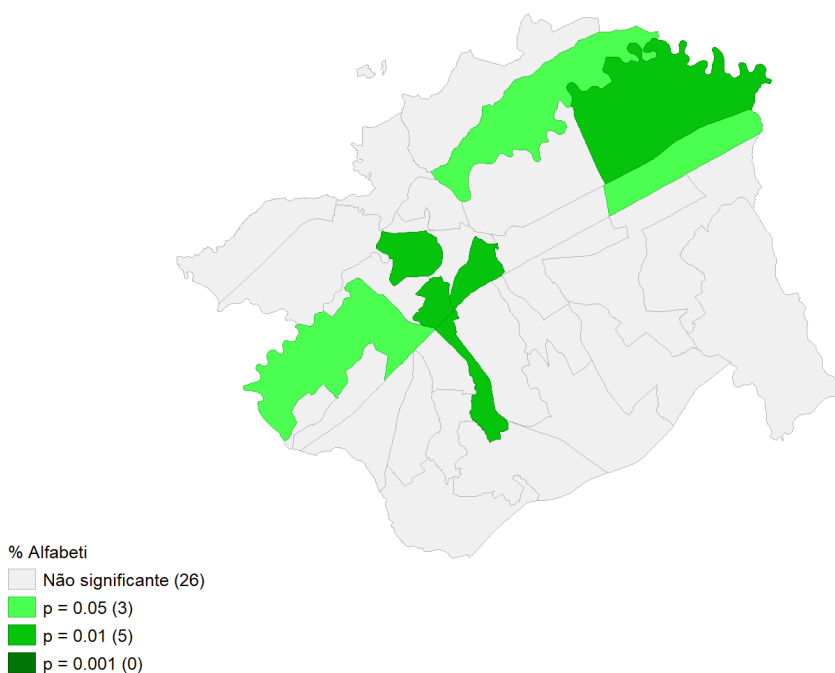


FIGURA 2.14 – Mapa de significância local (p -value) da variável taxa de alfabetização.

Esse comportamento indica que bairros com altas taxas de alfabetização tendem a se lo-

calizar próximos a outros bairros com perfil semelhante, enquanto as áreas com menores índices também se associam espacialmente. A continuidade desses padrões reflete o processo histórico de consolidação urbana e educacional do município, em que as regiões centrais concentram melhores indicadores sociais. Em termos espaciais, a alfabetização se mostra uma variável estável e representativa da estrutura socioeconômica local, reproduzindo o gradiente territorial de desenvolvimento.

- **Variável renda média domiciliar**

A variável renda média apresentou o padrão espacial mais intenso entre as três analisadas. O mapa LISA exibido na Figura 2.15 e o mapa de significância da Figura 2.16 revelam agrupamentos significativos do tipo Alto-Alto em áreas específicas e concentradas, enquanto agrupamentos Baixo-Baixo predominam nas bordas do perímetro urbano.

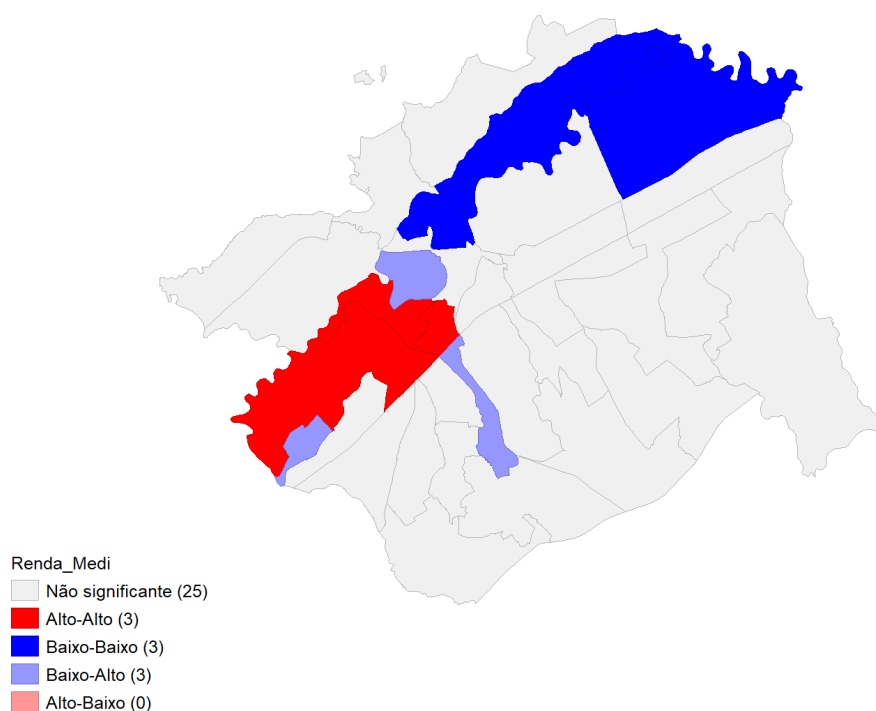


FIGURA 2.15 – Mapa LISA da variável renda média domiciliar em São José dos Campos (SP).

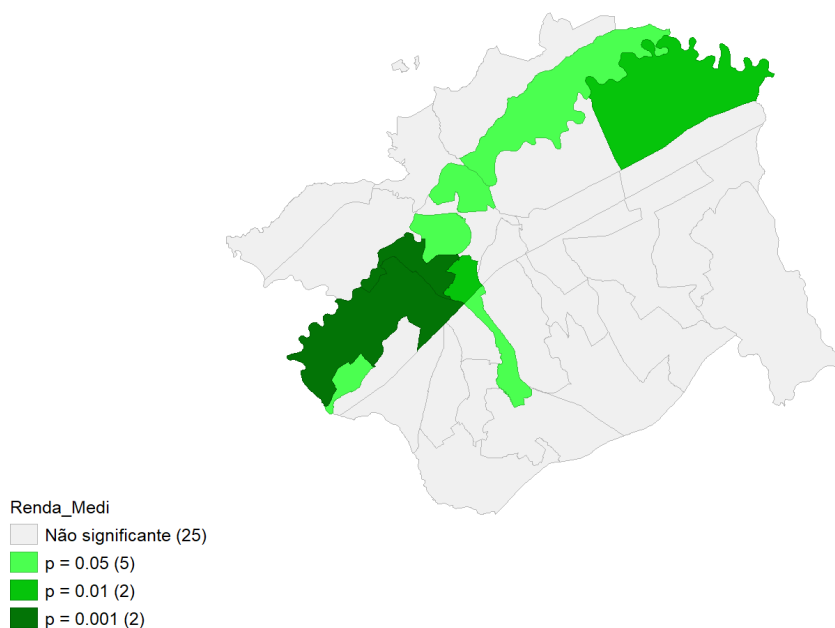


FIGURA 2.16 – Mapa de significância local (p -value) da variável renda média domiciliar.

Esse resultado confirma a existência de *autocorrelação espacial positiva elevada*, típica de cidades com polarização socioeconômica consolidada. Os bairros de alta renda se organizam em blocos contíguos, refletindo o acúmulo histórico de infraestrutura e investimentos, enquanto as áreas de baixa renda se agrupam nas periferias urbanas, caracterizando um padrão de segregação espacial. Essa estrutura evidencia que, embora o município apresente bons indicadores médios, a distribuição da renda ainda é territorialmente desigual, mantendo fronteiras espaciais bem definidas entre zonas de prosperidade e vulnerabilidade.

A comparação entre as três variáveis analisadas demonstra que São José dos Campos apresenta *padrões espaciais distintos para dimensões ambientais e socioeconômicas*. Enquanto a renda e a alfabetização exibem autocorrelação espacial positiva, com continuidade e agrupamentos de bairros semelhantes, a vegetação apresenta *baixa dependência espacial* e distribuição mais dispersa.

Esse resultado indica que, embora o município possua boa distribuição geral de áreas verdes, o verde urbano não se organiza de forma espacialmente estruturada, ao passo que as variáveis socioeconômicas formam blocos de homogeneidade claramente definidos. Em síntese, o Moran Local revela uma cidade *socialmente polarizada, mas ambientalmente difusa*: a renda e a alfabetização mantêm padrões de agrupamento espacial coeso, enquanto a vegetação, distribuída de modo mais aleatório, não reproduz diretamente as fronteiras da desigualdade socioeconômica.

2.7.2 Análise de autocorrelação espacial bivariada (Moran Bivariado Local)

Com o intuito de compreender as relações espaciais entre variáveis de diferentes naturezas — ambientais e socioeconômicas —, foi aplicado o índice de Moran Bivariado Local (*Local Bivariate Moran's I*). Essa técnica permite avaliar se bairros com altos ou baixos valores de uma variável (por exemplo, vegetação) estão espacialmente associados a bairros com altos ou baixos valores de outra variável (como renda ou alfabetização).

O procedimento foi executado no software *GeoDa*, a partir da mesma matriz de vizinhança do tipo *Queen* utilizada no cálculo univariado. Nesse método, o valor de uma variável x_i em um bairro é comparado à média dos valores de uma segunda variável y_j em seus vizinhos, de forma que o índice resultante representa a correlação espacial cruzada entre as duas dimensões. Foram consideradas duas combinações principais: *vegetação × renda média domiciliar* e *vegetação × taxa de alfabetização*.

—

- **Relação entre vegetação e renda média domiciliar**

O índice global de Moran Bivariado para a combinação *vegetação × renda* apresentou valor de $-0,067$, indicando *correlação espacial negativa fraca*. Em termos gerais, esse resultado sugere que bairros com maior percentual de vegetação não estão necessariamente próximos de bairros com maior renda média, e vice-versa.

O gráfico de dispersão e os mapas LISA Bivariados (Figuras 2.17 e 2.18) reforçam esse comportamento. O mapa LISA identifica poucos agrupamentos significativos, sendo possível observar pequenas concentrações do tipo Alto-Alto — correspondentes a áreas de alta renda cercadas de bairros com maior cobertura vegetal — e agrupamentos Baixo-Baixo, nos quais bairros de baixa renda estão próximos de regiões com pouca vegetação. Além desses, verificam-se alguns outliers espaciais (Alto-Baixo e Baixo-Alto), indicando contrastes localizados entre áreas centrais mais densas e zonas periféricas com remanescentes de vegetação.

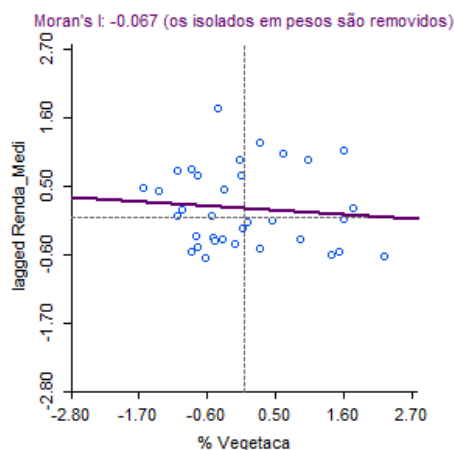


FIGURA 2.17 – Gráfico de dispersão Bivariado: relação entre vegetação e renda média domiciliar.

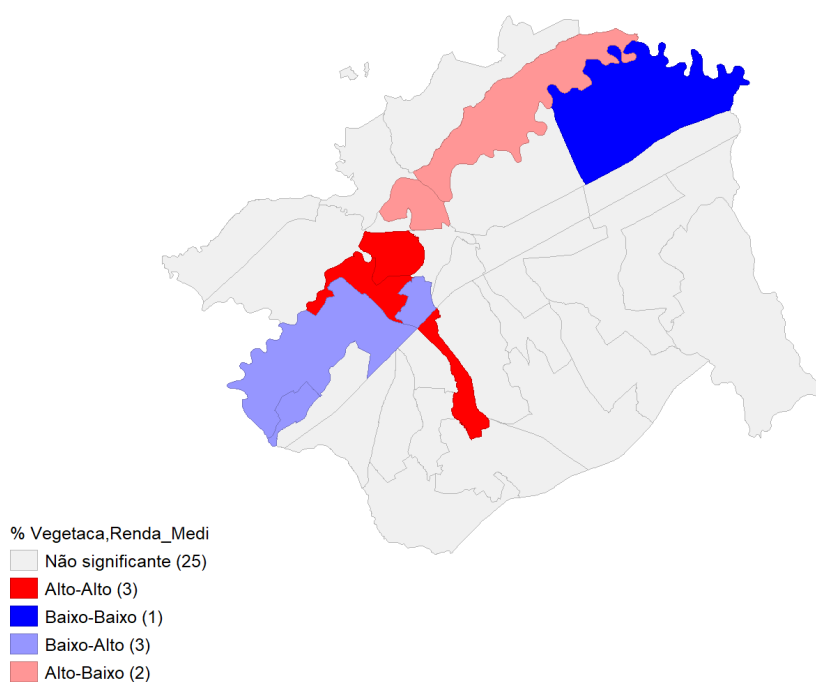


FIGURA 2.18 – Mapa LISA Bivariado: associação espacial entre vegetação e renda média domiciliar.

O padrão espacial identificado indica ausência de relação direta entre a distribuição da vegetação e a renda média dos bairros. A vegetação se apresenta de forma dispersa e pontual, enquanto os agrupamentos de renda mantêm uma configuração espacial mais coesa. Essa dissociação evidencia que o acesso ao verde urbano em São José dos Campos não é determinado exclusivamente pela renda, mas por fatores físicos e de planejamento urbano, como a presença de parques, topografia e restrições de uso do solo.

- **Relação entre vegetação e taxa de alfabetização**

Para a combinação *vegetação* \times *alfabetização*, o índice global de Moran Bivariado foi de $-0,092$, também indicando *correlação espacial negativa fraca*. Isso significa que bairros com maiores percentuais de vegetação não estão espacialmente próximos dos bairros com maiores taxas de alfabetização, e que não há tendência de associação consistente entre as duas variáveis.

O gráfico de dispersão e o mapa LISA Bivariado (Figuras 2.19 e 2.20) evidenciam poucos agrupamentos significativos. Observa-se a presença de pequenos *clusters* Alto-Alto e Baixo-Baixo, distribuídos de forma isolada, indicando associações locais pontuais. O padrão espacial é heterogêneo e sem predominância clara de regiões fortemente correlacionadas.

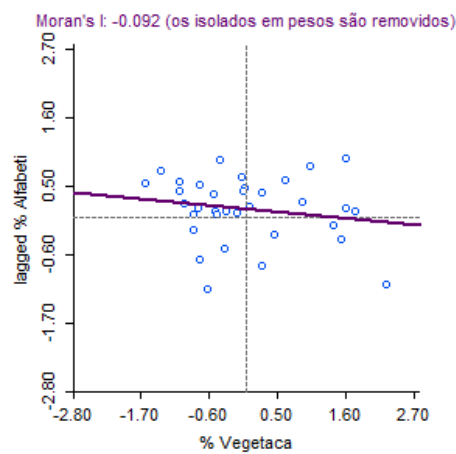


FIGURA 2.19 – Gráfico de dispersão Bivariado: relação entre vegetação e taxa de alfabetização.

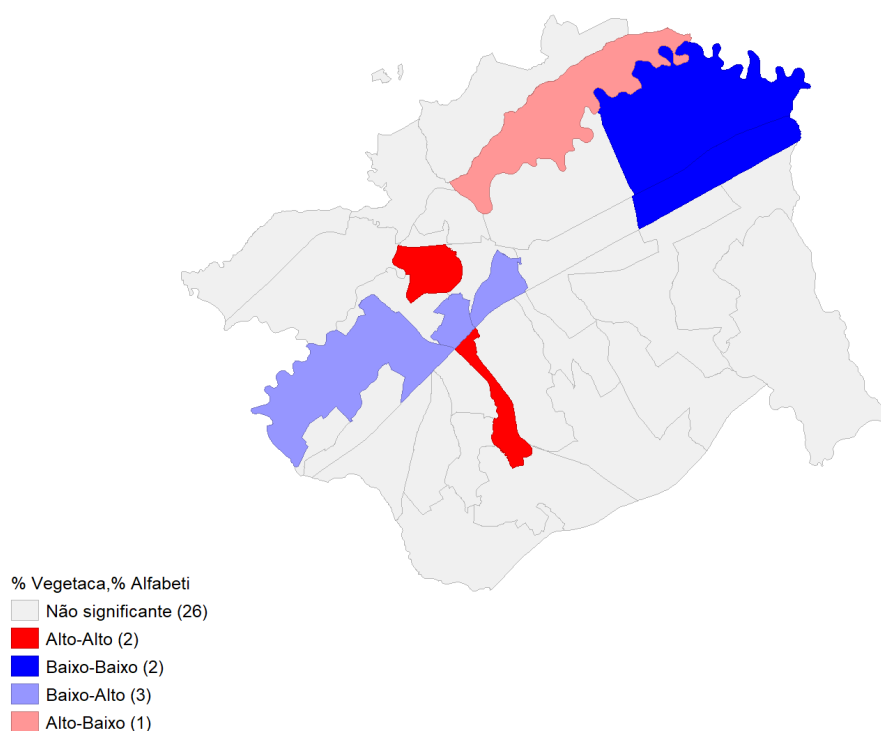


FIGURA 2.20 – Mapa LISA Bivariado: associação espacial entre vegetação e taxa de alfabetização.

O resultado reforça que a vegetação urbana e a alfabetização apresentam independência espacial mútua. Embora áreas centrais com maiores níveis educacionais possuam boas condições urbanas, a cobertura verde está distribuída de modo relativamente equilibrado, abrangendo também bairros de renda e escolaridade médias. Assim, não se observa sobreposição sistemática entre alta vegetação e alto capital educacional.

Os resultados obtidos nas duas análises bivariadas indicam a inexistência de correlação espacial significativa entre a vegetação e os indicadores socioeconômicos avaliados. Enquanto a renda e a alfabetização mantêm padrões espaciais estruturados e autocorrelacionados entre si, a vegetação apresenta distribuição mais difusa, sem seguir o mesmo gradiente de concentração socioeconômica.

Essa dissociação evidencia que, em São José dos Campos, o acesso às áreas verdes não é determinado apenas pela condição social, mas também por fatores físicos, históricos e de planejamento territorial. O município demonstra um padrão ambiental relativamente equitativo — no qual o verde não está concentrado em setores específicos —, ainda que a fragmentação espacial limite sua efetividade ecológica e sua integração funcional no tecido urbano. Esses achados reforçam a importância de políticas públicas voltadas à conectividade da vegetação e à consolidação de uma infraestrutura verde contínua, capaz de garantir benefícios ambientais e sociais de forma equilibrada.

Segmentação de padrões socioambientais: relação entre renda e cobertura vegetal

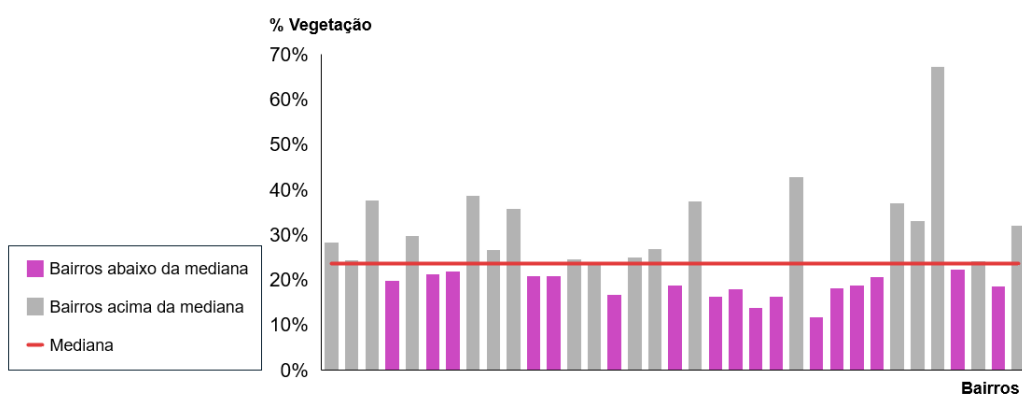
As análises espaciais apresentadas nos subcapítulos anteriores — tanto as univariadas quanto as bivariadas — permitiram compreender o comportamento geral das variáveis socioeconômicas e ambientais no território de São José dos Campos (SP). De modo geral, observou-se que a *renda* e a *alfabetização* possuem autocorrelação espacial positiva, indicando a existência de agrupamentos de bairros com condições socioeconômicas semelhantes. Já a variável *vegetação* apresentou padrão mais fragmentado e difuso, sem formação de grandes blocos de alta ou baixa cobertura verde.

Esses resultados oferecem uma leitura panorâmica do município: revelam uma cidade socioeconomicamente polarizada, mas ambientalmente relativamente homogênea, com vegetação distribuída de forma dispersa, sem clara associação à renda ou escolaridade. No entanto, análises dessa natureza, ainda que úteis para identificar padrões estruturais, podem ocultar dinâmicas locais e contrastes internos que não se expressam nas estatísticas globais. É justamente nessa escala mais detalhada — a do comportamento dos bairros — que surgem os indícios mais significativos de desigualdade socioambiental.

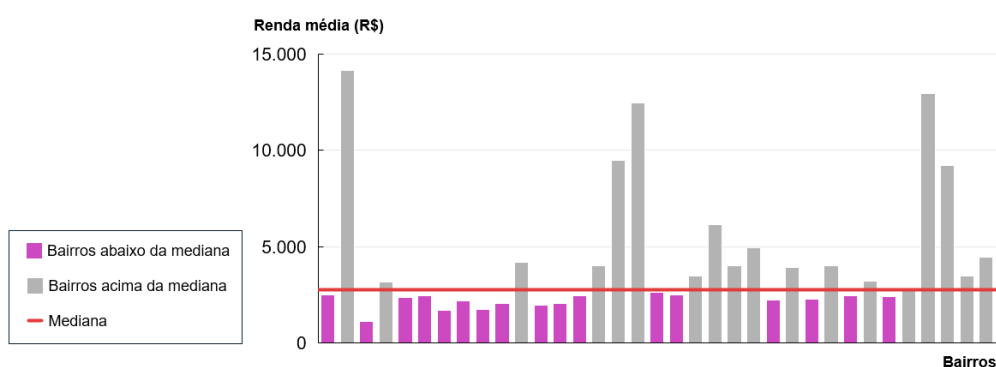
2.8 Análise dos bairros abaixo da mediana socioambiental

A partir de uma análise mais detalhada de cada um dos bairros, realizou-se um recorte específico voltado aos territórios com *vulnerabilidade socioambiental simultânea*. Foram considerados os bairros que se situaram abaixo da mediana municipal em três indicadores: percentual de vegetação, taxa de alfabetização e renda média domiciliar. O objetivo foi aprofundar a análise sobre os espaços urbanos que concentram baixos valores nas dimensões ambiental e social, compondo o *cluster* identificado como *baixa renda – baixa vegetação*.

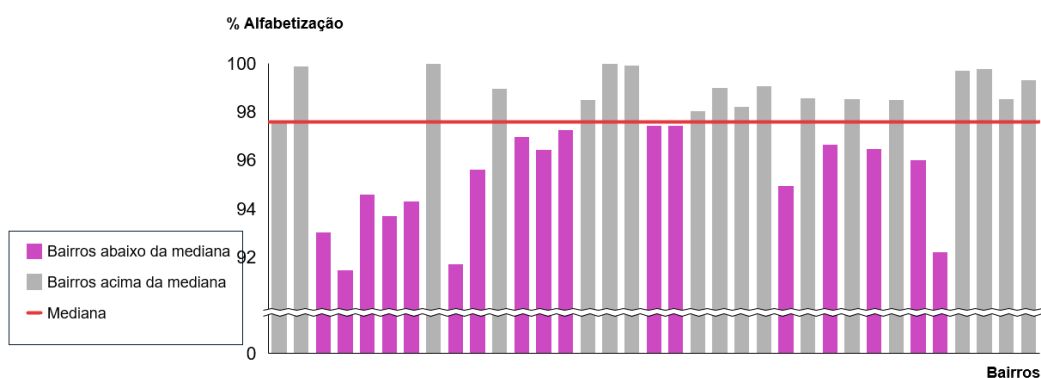
Para essa etapa, as 35 unidades de análise foram comparadas em relação à mediana de cada variável, conforme apresentado na Figura 2.21. Os bairros abaixo da mediana aparecem destacados em coloração diferenciada, o que permite observar de forma imediata a sobreposição entre carências sociais e ambientais.



(a) Percentual de vegetação por bairro em relação à mediana municipal.



(b) Renda média domiciliar por bairro em relação à mediana municipal.



(c) Taxa de alfabetização por bairro em relação à mediana municipal.

FIGURA 2.21 – Comparação entre bairros em relação à mediana municipal das variáveis analisadas: (a) vegetação, (b) renda média e (c) alfabetização.

Os gráficos apresentados anteriormente (Figura 2.21) representam, da esquerda para a direita, os 35 bairros analisados do município. Para facilitar a leitura e a identificação dos valores nos eixos, a Tabela 2.5 apresenta a sequência de bairros na mesma ordem em que aparecem nas barras dos gráficos, da esquerda para a direita no eixo x.

TABELA 2.5 – Ordem dos bairros representados nos gráficos comparativos das variáveis analisadas.

Ordem	Bairro
1	Alto da Ponte
2	Aquarius
3	Banhado Centro
4	Banhado Eugênio de Melo
5	Banhado Jaguari
6	Banhado Limoeiro
7	Banhado Martins Guimarães
8	Banhado Santana
9	Banhado Vargem Grande
10	Bom Retiro
11	Bosque dos Eucaliptos
12	Cajuru
13	Campos dos Alemães
14	Campos de São José
15	Centro
16	DCTA
17	Esplanada
18	Eugênio de Melo
19	Interlagos
20	Jardim da Granja
21	Jardim das Indústrias
22	Jardim Paulista
23	Jardim Satélite
24	Luso Brasileiro
25	Morumbi
26	Novo Horizonte
27	Parque Industrial
28	Putim
29	Santana
30	São Bento
31	São Francisco Xavier
32	Urbanova
33	Vila Adyanna
34	Vila Industrial
35	Vista Verde

A disposição das barras segue a mesma sequência nesta tabela, mantendo coerência entre as representações gráficas e a listagem textual. Dessa forma, é possível relacionar diretamente os valores observados nos gráficos de vegetação, renda média e alfabetização com os respectivos bairros analisados, garantindo transparência na leitura dos resultados e reprodutibilidade das comparações.

Com base nessa comparação, seis bairros apresentaram valores inferiores à mediana em todas as variáveis: **Novo Horizonte, Eugênio de Melo, Putim, Cajuru, Banhado Limoeiro e Banhado Martins Guimarães**. A Tabela 2.6 sintetiza a diferença percentual desses bairros em relação à mediana municipal, evidenciando a magnitude dos déficits socioambientais.

TABELA 2.6 – Diferença percentual relativa em relação à mediana municipal para as três variáveis analisadas.

Bairro	Vegetação (%)	Alfabetização (%)	Renda (%)
Novo Horizonte	23%	1%	17%
Eugênio de Melo	21%	-1%	4%
Putim	12%	1%	10%
Cajuru	11%	1%	28%
Banhado Limoeiro	10%	4%	10%
Banhado Martins Guimarães	7%	3%	38%

Os resultados evidenciam que esses bairros compartilham características comuns: localização periférica, urbanização recente, baixa oferta de áreas verdes estruturadas e índices sociais abaixo da média municipal. Novo Horizonte, Putim e Cajuru configuram bairros em consolidação, marcados por adensamento rápido e carência de infraestrutura ambiental; os bairros de banhado (Limoeiro e Martins Guimarães) apresentam predominância de vegetação herbácea e áreas alagáveis, não contabilizadas como “vegetação alta”, o que resulta em subestimação do indicador ambiental. Já Eugênio de Melo reúne, de forma mais completa, as dimensões social e ecológica da vulnerabilidade, apresentando baixos valores em todos os indicadores e isolamento espacial em relação às áreas de maior desenvolvimento.

Sob a ótica da justiça ambiental, conforme Acsehrad (2004) e Herculano (2002), esses territórios materializam o que se denomina *injustiça ambiental*: a concentração de ônus ecológicos — ausência de arborização, menor conforto térmico e restrição de acesso a espaços verdes — sobre populações de menor renda e escolaridade. Essa sobreposição confirma o argumento de que desigualdade ambiental e desigualdade social são expressões complementares de um mesmo processo de exclusão urbana.

Em complemento, Beatley (2016) e Benedict & McMahon (2006) defendem que a infraestrutura verde urbana deve ser planejada como rede integrada de serviços ambientais, garantindo distribuição equitativa dos benefícios ecológicos. A situação observada nesses cinco bairros demonstra a ausência dessa integração sistêmica: enquanto o centro e os eixos de desenvolvi-

mento tecnológico de São José dos Campos concentram infraestrutura verde consolidada, as bordas da cidade permanecem ambientalmente deficitárias.

Em síntese, o conjunto dos seis bairros analisados representa o núcleo espacial da *vulnerabilidade socioambiental* joseense. As evidências empíricas confirmam que, embora o município apresente distribuição global de vegetação equilibrada, a equidade ambiental ainda não se traduz em equidade territorial. Esse diagnóstico reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à descentralização da infraestrutura verde e à integração entre planejamento ambiental e inclusão social. O aprofundamento dessa análise conduz à escolha do subdistrito Eugênio de Melo como estudo de caso principal, apresentado no tópico seguinte.

2.9 Estudo de caso: subdistrito Eugênio de Melo

Os resultados espaciais deste trabalho apontaram o subdistrito de Eugênio de Melo como uma das áreas mais vulneráveis do município de São José dos Campos. Nas análises de autocorrelação local (LISA) alfabetização e renda e Correlação Bivariada Vegetação vs Renda, essa unidade territorial apresentou associações do tipo *Baixo-Baixo*, isto é, baixos valores da variável e vizinhança com igualmente baixos valores. O mesmo comportamento se reproduziu nas análises bivariadas, nas quais a vegetação esteve espacialmente associada a baixos níveis de renda e escolaridade. Essa consistência estatística reforça que Eugênio de Melo constitui um *núcleo persistente de vulnerabilidade socioambiental*, um caso emblemático de correlação entre desigualdade social e déficit ambiental.

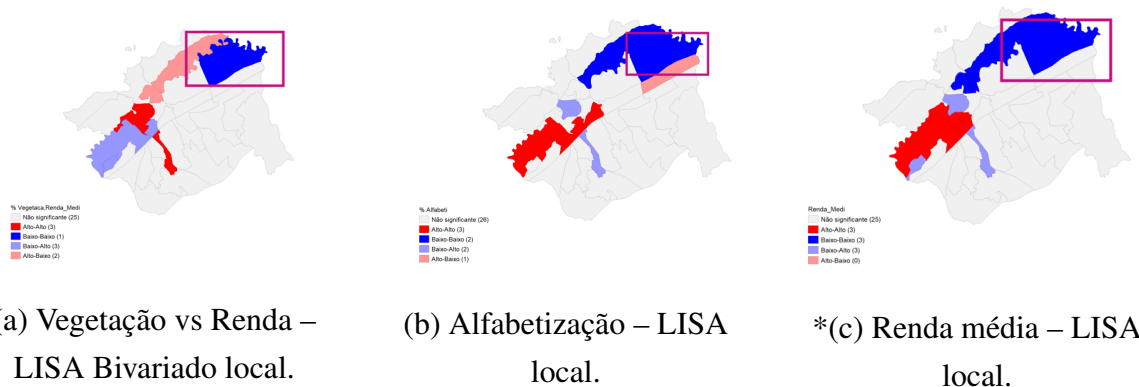


FIGURA 2.22 – Mapas LISA destacando o subdistrito Eugênio de Melo em São José dos Campos (SP).

Do ponto de vista urbano, Eugênio de Melo é um subdistrito periférico situado na porção leste do município, marcado historicamente por ocupação de caráter industrial e ferroviário. A presença de antigas indústrias, áreas logísticas e glebas ainda não consolidadas urbanisticamente contribuiu para a configuração de um espaço de transição entre zona urbana e rural. Esse histórico explica parte da fragmentação da vegetação observada nos mapas LISA, uma vez que

a urbanização se deu de forma descontínua, sem incorporação de corredores verdes nem planos locais de arborização.

Adicionalmente, a densidade construtiva média de Eugênio de Melo é inferior à das áreas centrais, mas as condições socioeconômicas são mais precárias, e o poder público historicamente priorizou investimentos em infraestrutura nas áreas centrais e tecnológicas da cidade. Essa combinação de fatores — urbanização periférica, ausência de planejamento verde e vulnerabilidade social — reforça o padrão *Baixo–Baixo* observado em todos os indicadores.

A situação de Eugênio de Melo pode ser interpretada à luz do conceito de *justiça ambiental*, conforme definido por Acselrad (2004) e Herculano (2002), que associa injustiça ambiental à concentração de ônus ecológicos e à privação de benefícios ambientais por grupos sociais vulneráveis. No caso em análise, o subdistrito ilustra com clareza esse fenômeno: trata-se de uma comunidade que, além de possuir menor renda e escolaridade, também tem acesso restrito aos serviços ecossistêmicos urbanos — como sombreamento, regulação térmica e lazer em áreas verdes.

Essa configuração não é resultado apenas de fatores naturais ou geomorfológicos, mas reflete uma estrutura de planejamento territorial que reproduz desigualdades históricas. Em São José dos Campos, a política urbana — fortemente influenciada pelo setor tecnológico e industrial — priorizou eixos de desenvolvimento vinculados à economia formal, relegando a áreas periféricas, como Eugênio de Melo, um papel secundário no planejamento ambiental. Assim, o déficit de vegetação observado não é apenas um indicador ecológico: é também um marcador de exclusão territorial.

Do ponto de vista técnico, os resultados obtidos a partir dos índices de Moran Local e Bivariado indicam que Eugênio de Melo apresenta:

1. baixa cobertura vegetal total (menor que 20%), distribuída de forma esparsa e sem conectividade funcional com os fragmentos vegetados das regiões vizinhas;
2. baixa renda média domiciliar e reduzida taxa de alfabetização, configurando baixa capacidade adaptativa e social;
3. ausência de correlação espacial positiva com bairros de melhor desempenho, o que reforça seu isolamento físico e social dentro da estrutura urbana joseense.

Esses elementos revelam que o subdistrito se encontra em uma situação de *dupla marginalidade*: vulnerável tanto em termos socioeconômicos quanto ambientais. Essa dualidade se traduz em baixa resiliência urbana, isto é, menor capacidade de reagir a estresses ambientais, como ondas de calor ou enchentes, já que há carência simultânea de vegetação e infraestrutura básica.

Sob a perspectiva da governança ambiental, o caso de Eugênio de Melo evidencia o desafio

de conciliar desenvolvimento industrial com qualidade ambiental. A ausência de planejamento arbóreo local e a fragmentação dos espaços livres resultam em um território ambientalmente empobrecido, cuja recuperação depende de políticas intersetoriais. A literatura de planejamento urbano (Beatley, 2016; Benedict e McMahon, 2006) destaca que a infraestrutura verde deve ser planejada como sistema — integrando parques, corredores e arborização viária — e não como somatório de áreas isoladas.

Nesse sentido, políticas públicas voltadas a bairros como Eugênio de Melo precisam transcender ações pontuais de arborização e priorizar estratégias estruturais:

- criação de corredores ecológicos conectando os fragmentos existentes às margens da Rodovia Presidente Dutra e aos bairros vizinhos;
- implantação de microflorestas urbanas em terrenos subutilizados ou industriais desativados;
- uso de instrumentos urbanísticos (como a Outorga Onerosa e o IPTU Verde) para incentivar o plantio e manutenção do verde privado;
- inserção da variável “infraestrutura verde” no planejamento participativo e nos planos diretores de bairro.

Eugênio de Melo representa, portanto, uma síntese espacial das contradições de São José dos Campos: uma cidade de alto desempenho econômico e tecnológico que convive com zonas de invisibilidade ambiental e social. Os indicadores espaciais apontam que o subdistrito não é um *outlier* estatístico, mas um símbolo das fronteiras de exclusão produzidas pelo modelo urbano vigente.

Sob a ótica da justiça ambiental, a análise reforça que a desigualdade ambiental não se manifesta apenas na escassez de recursos naturais, mas também na forma como o poder público distribui benefícios ecológicos e define prioridades territoriais. No caso joseense, a distribuição equitativa da vegetação não garante equidade territorial, pois a infraestrutura verde — onde existe — não está conectada às áreas mais carentes.

Assim, o estudo de Eugênio de Melo evidencia a necessidade de políticas públicas integradas, que articulem planejamento urbano, equidade social e infraestrutura ambiental. O subdistrito, mais do que uma unidade estatística, configura um espaço de oportunidade para a aplicação prática dos resultados desta pesquisa: um território prioritário para a materialização da justiça ambiental e da sustentabilidade urbana em São José dos Campos.

3 Limitações e Próximos Passos

O desenvolvimento deste estudo baseou-se em uma metodologia de mapeamento e análise espacial voltada à identificação de padrões de cobertura vegetal e sua relação com variáveis socioeconômicas no município de São José dos Campos (SP). Embora os resultados tenham se mostrado consistentes e coerentes com a literatura, algumas limitações metodológicas e oportunidades de aprofundamento foram identificadas durante a avaliação do trabalho. Essas questões são detalhadas a seguir, acompanhadas de considerações sobre possíveis aprimoramentos futuros.

3.1 Limitações no mapeamento da vegetação

O processo de mapeamento da vegetação, realizado por meio de classificação supervisionada com o algoritmo *Random Forest* (RF) implementado no plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) do QGIS, apresenta limitações inerentes à qualidade dos dados de entrada e às condições de imageamento. Ainda que o RF seja amplamente reconhecido por sua robustez e desempenho em classificações multiespectrais, a acurácia final do produto depende diretamente da qualidade e representatividade das amostras de treinamento (ROIs) e da resolução espacial das imagens utilizadas.

No caso das imagens CBERS-4A, com resolução pancromática de 2 metros, efeitos como sombreamento — proveniente de nuvens, edificações e copas de árvores —, relevo acentuado e variações de iluminação solar podem ter influenciado negativamente o processo de classificação. Tais interferências espectrais tendem a confundir o algoritmo, levando à subestimação de áreas de vegetação, especialmente em zonas densamente urbanizadas. É possível que parte das áreas de sombra tenha sido erroneamente interpretada como superfícies não vegetadas.

Outro ponto de atenção refere-se à escala de mapeamento, que privilegiou os maciços arbóreos e não capturou de maneira satisfatória áreas de vegetação esparsa, como arborização viária e pequenos parques urbanos. Essa característica foi observada, por exemplo, na região do DCTA e em bairros centrais, onde o mapeamento apresentou lacunas na representação do verde urbano.

Apesar dessas limitações, o modelo apresentou resultados robustos de classificação interna. O *confidence raster* gerado pelo RF no SCP fornece uma estimativa probabilística da confiabilidade de cada pixel classificado, permitindo identificar regiões com maior incerteza. Essa medida é reconhecida na literatura como uma forma estatisticamente válida de avaliação interna de desempenho (BREIMAN, 2001). Entretanto, reconhece-se que a validação externa — baseada em amostras de referência independentes — é uma etapa essencial para consolidar a credibilidade científica do mapeamento. Estudos como o de Fernandes e Arraut (2024) demonstram a importância de avaliações de acurácia realizadas com dados de campo e métodos probabilísticos (ver também Stehman e Foody (2019)). Assim, a realização de uma avaliação de acurácia externa deve ser considerada uma etapa complementar futura, consolidando o desempenho observado internamente.

Em síntese, o mapeamento alcançado representa de forma satisfatória os padrões gerais de vegetação do município, mas possui limitações de detalhamento em áreas urbanas complexas e sombreadas. A inclusão de procedimentos de correção topográfica, filtragem de sombras e validação amostral externa tende a aprimorar a precisão temática do produto final.

3.2 Segmentação e unidade espacial de análise

A divisão espacial adotada no estudo baseou-se na segmentação de bairros conforme as bases vetoriais disponibilizadas pelo portal GeoSanja e pelo IBGE, harmonizadas por meio de chaves únicas de integração. Essa estrutura de dados foi a mais completa e consistente disponível para o município, permitindo a junção de informações socioeconômicas e ambientais em um mesmo nível de análise.

Contudo, reconhece-se que as unidades denominadas “bairros” neste trabalho correspondem, em alguns casos, a setores socioeconômicos agregados, e não necessariamente aos limites administrativos tradicionais da prefeitura. Essa diferença pode gerar certa discrepância na percepção nominal dos bairros por parte do leitor, sobretudo quando se compara o mapa final a divisões oficiais mais detalhadas. Em alguns casos, conjuntos de bairros menores foram englobados em uma única unidade de análise, o que explica a ausência de nomes específicos no mapa final.

Ainda assim, a adoção dessa base se justifica por sua coerência metodológica e compatibilidade entre fontes, garantindo a consistência estatística necessária para os cálculos de autocorrelação espacial e análise comparativa entre variáveis. Futuras pesquisas podem buscar aperfeiçoar essa segmentação mediante o uso de unidades menores, como setores censitários, ou por delimitações funcionais que representem de forma mais fiel os contrastes socioespaciais internos ao município.

3.3 Limitação relacionada ao trabalho de campo

O estudo foi concebido com foco em técnicas de sensoriamento remoto e análise geoespacial, não contemplando a etapa de validação de campo. Essa decisão metodológica se justifica pelo caráter exploratório e remoto da pesquisa, voltado a testar a viabilidade de uma análise socioambiental baseada exclusivamente em dados secundários.

Ainda assim, reconhece-se que a ausência de observações em campo limita a capacidade de identificar erros de classificação e compreender nuances locais da realidade socioambiental. A coleta de dados primários *in situ* — seja por observação direta, registro fotográfico ou entrevistas — poderia ter permitido calibrar melhor as amostras de treinamento e verificar inconsistências nas áreas classificadas como vegetação ou urbano.

Portanto, a inclusão de uma etapa de campo é considerada uma extensão natural e necessária deste trabalho. A observação direta permitiria validar empiricamente os resultados do mapeamento, aperfeiçoar o modelo de classificação e enriquecer a interpretação social dos resultados. Essa abordagem também contribuiria para uma leitura mais qualitativa da relação entre cobertura vegetal, renda e condições de vida da população.

3.4 Inclusão de novos indicadores socioespaciais - próximos passos

Outro aspecto identificado pela banca refere-se à necessidade de ampliar o escopo analítico do estudo, incorporando indicadores complementares às variáveis de renda e alfabetização. A integração de dados referentes à presença e distribuição de equipamentos públicos — como escolas, unidades de saúde e áreas de lazer — pode enriquecer a interpretação da desigualdade territorial e da justiça socioambiental.

Além desses, outros indicadores de caráter demográfico e infraestrutural, como densidade populacional, cobertura de saneamento e acessibilidade urbana, poderiam ser integrados à base analítica. A inclusão dessas variáveis permitiria avaliar de forma mais abrangente a estrutura socioespacial do município e identificar com maior precisão as zonas de vulnerabilidade. Nesse contexto, a aplicação de análises de correlação espacial multivariada, como o Local Bivariate Moran's I e o Spatial Lag Model, seria adequada para investigar a coocorrência espacial entre fatores sociais, ambientais e estruturais, fornecendo uma leitura estatisticamente robusta das interações territoriais.

A combinação entre indicadores ecológicos (cobertura vegetal) e estruturais (infraestrutura pública) permitiria construir um índice de bem-estar territorial, capaz de capturar de forma mais completa a qualidade de vida urbana. Além disso, a aplicação de métodos de correlação espacial

bivariada com essas novas variáveis contribuiria para uma compreensão mais aprofundada da relação entre fatores ambientais e sociais no município.

Esse aprimoramento depende, contudo, da disponibilidade e compatibilidade das bases de dados, reforçando a importância de parcerias institucionais com órgãos públicos e centros de pesquisa para acesso a informações geoespaciais atualizadas e confiáveis.

4 Conclusão

O presente estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal em São José dos Campos (SP) e sua relação com variáveis socioeconômicas — renda média domiciliar e taxa de alfabetização — a fim de avaliar se a configuração do verde urbano reflete desigualdades socioambientais no município. A metodologia, baseada em sensoriamento remoto, classificação supervisionada e análises espaciais no *GeoDa*, permitiu atender aos objetivos propostos, produzindo uma leitura quantitativa e espacialmente explícita do território.

Os resultados apontaram que a cobertura vegetal urbana apresenta *distribuição relativamente homogênea*, ainda que estruturalmente fragmentada. O índice de Moran Local (LISA) revelou que a vegetação não forma grandes blocos de concentração espacial, exibindo padrão difuso e dependência espacial fraca, enquanto renda e alfabetização mostraram *autocorrelação positiva* e zonas de homogeneidade bem definidas. As análises bivariadas reforçaram essa dissociação: não há correlação espacial significativa entre vegetação e indicadores socioeconômicos, o que sugere que o acesso às áreas verdes não depende diretamente da renda ou do nível educacional. Ainda assim, a avaliação segmentada evidenciou a existência de bairros periféricos que acumulam déficits simultâneos de vegetação e condições sociais, configurando *núcleos de vulnerabilidade socioambiental*.

Algumas limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Apesar do bom desempenho do algoritmo Random Forest, a ausência de uma validação externa restringe a comprovação empírica da acurácia temática do mapeamento. Nesse contexto, a qualidade e representatividade das amostras de treinamento (ROIs) influenciaram diretamente o desempenho do classificador, podendo gerar pequenas imprecisões nas fronteiras entre classes espectralmente semelhantes. Essa limitação é potencializada em áreas urbanas densas e sombreadas, nas quais a variabilidade espectral tende a confundir o algoritmo e a subestimar porções de vegetação. A escala adotada também privilegiou os maciços arbóreos, resultando na subestimação de vegetação de pequeno porte e arborização viária. Ademais, a segmentação espacial baseada em bairros mostrou-se metodologicamente consistente, ainda que a agregação de unidades heterogêneas possa suavizar contrastes socioambientais internos ao município, e a inexistência de verificação em campo tenha limitado a calibração das amostras e a compreensão detalhada das condições locais.

Apesar dessas limitações, os resultados oferecem subsídios valiosos para o planejamento urbano e ambiental. A constatação de que o verde urbano não se concentra apenas em áreas de alta renda revela certo grau de *equidade ambiental*, possivelmente resultado de políticas municipais de arborização e preservação de áreas verdes. Contudo, a fragmentação da vegetação reduz sua eficiência ecológica, destacando a necessidade de consolidar uma rede contínua de infraestrutura verde. Nesse sentido, a metodologia aplicada mostrou-se útil para identificar padrões de cobertura vegetal e pode ser replicada para monitoramento periódico ou ampliação da base analítica com novas variáveis socioeconômicas e ambientais.

Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a dimensão temporal da análise, incorporando séries históricas de imagens orbitais (CBERS, Landsat ou Sentinel) para avaliar a evolução da vegetação e das desigualdades socioespaciais. A integração de novas variáveis, como densidade populacional, mobilidade e indicadores de acesso a equipamentos públicos, permitiria modelagens espaciais mais complexas — por exemplo, regressões do tipo *Spatial Lag* e *Spatial Error*. Além disso, investigações voltadas à conectividade dos fragmentos verdes e ao mapeamento de corredores ecológicos poderiam subsidiar estratégias de mitigação de ilhas de calor e de promoção de microflorestas urbanas.

Os achados referentes aos seis bairros que permaneceram abaixo da mediana nos três indicadores analisados — vegetação, renda e alfabetização — reforçam esse diagnóstico ao revelar que a vulnerabilidade socioambiental de São José dos Campos se concentra espacialmente nas bordas do tecido urbano. Nessas áreas, observa-se a sobreposição entre desigualdade social e déficit ambiental, configurando o que a literatura descreve como “dupla penalização” (ACSEL-RAD, 2004; HERCULANO, 2002). O estudo de caso do subdistrito Eugênio de Melo exemplifica de forma emblemática esse fenômeno: um território periférico, industrializado e ambientalmente fragmentado que sintetiza as contradições entre crescimento econômico e equidade ambiental. A identificação desses núcleos de vulnerabilidade confirma a importância de políticas públicas territorializadas, capazes de integrar planejamento urbano, infraestrutura verde e justiça socioambiental, de modo a reduzir as fronteiras de exclusão e ampliar o acesso equitativo aos benefícios ecológicos do espaço urbano.

Em síntese, São José dos Campos apresenta um quadro intermediário no contexto das desigualdades ambientais urbanas: socialmente polarizado, porém ambientalmente distribuído de modo relativamente equilibrado. A cidade demonstra avanços em justiça ambiental, mas ainda enfrenta o desafio de transformar a distribuição estatística da vegetação em *equidade territorial efetiva*. Assim, a análise desenvolvida contribui para o entendimento da relação entre fatores sociais e ambientais no espaço urbano.

Referências

ACSELRAD, H.; HERCULANO, S.; PÁDUA, J. A. (Ed.). **Justiça ambiental e cidadania**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.

ANGELIS, B.; MORAES, A.; LIMA, L. Desigualdade ambiental nas cidades brasileiras. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 83, n. 2, 2021.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: um estudo de caso no município de são carlos (sp). **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 1, p. 191–209, 2011.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, acesso em: 12 nov. 2025, 2001. Available at: <https://www.stat.berkeley.edu/%7Ebreiman/randomforest2001.pdf>.

CAMPOS, P. de São José dos. **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI**. 2021. <https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/urbanismo-e-sustentabilidade/planejamento-urbano/plano-diretor/plano-diretor-de-desenvolvimento-integrado/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

CAMPOS, P. de São José dos. **Plano Diretor Participativo – Diagnóstico Ambiental e Zoneamento**. 2021. https://www.sjc.sp.gov.br/media/2hqcjibh/22_sintese_diagnostico_tecnico.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025.

CAMPOS, P. de São José dos. **GeoSanja — Portal de Dados Geoespaciais de São José dos Campos**. 2025. Portal institucional. Acesso em: 2 nov. 2025. Available at: <https://geosanja.sjc.sp.gov.br/>.

CAMPOS, P. de São José dos. **São José em Dados — Localização**. 2025. Página institucional. Acesso em: 2 nov. 2025. Available at: <https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/governanca/sao-jose-em-dados/localizacao/>.

CORRÊA, G. N. **Deteccção de áreas de vegetação urbana por classificação supervisionada de imagens orbitais**. 2020. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Disponível em: http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/06.03.21.29/doc/correa_deteccao.pdf. Acesso em: 18 nov. 2025.

FERNANDES, N.; ARRAUT, E. M. Acurácia das coleções mapbiomas no estado de são paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, versão usada neste trabalho conforme arquivo fornecido pela autora, 2024.

- FERREIRA, M. P.; OUTROS. Desigualdade socioambiental e acesso a áreas verdes no Brasil urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 22, n. 2, p. 310–329, 2020.
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; BARTON, D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. **Ecological Economics**, v. 86, p. 235–245, 2013.
- HERCULANO, S. A justiça ambiental e o direito ao meio ambiente equilibrado. **Revista de Direito Ambiental**, v. 28, p. 7–20, 2002.
- IBGE. **Cidades e Estados: São José dos Campos (SP)**. 2025. Portal Cidades@ IBGE. Acesso em: 2 nov. 2025. Available at: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-jose-dos-campos.html>.
- (INPE), I. N. de P. E. **Catálogo de Imagens — Satélite CBERS-4A**. 2025. Catálogo de Imagens INPE. Acesso em: 3 nov. 2025. Available at: <https://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.
- MARICATO, E. **O impasse da política urbana no Brasil**. Petrópolis: Vozes, 2011.
- QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System. Versão 3.22**. 2025. Open Source Geospatial Foundation Project. Acesso em: 3 nov. 2025. Available at: <https://qgis.org>.
- ROSA MARIA DE FÁTIMA E COSTA, E. Expansão urbana e perda de vegetação nativa em São José dos Campos (SP). **Revista Geonorte**, v. 12, n. 1, p. 150–168, 2021.
- SANTOS, A. L. d.; LIMA, F. R. Transformações territoriais e uso do solo em cidades médias paulistas: o caso de São José dos Campos. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 43, p. 65–84, 2022.
- SILVA TIAGO F. E ALVES, C. R. Urbanização e desigualdade socioespacial em cidades médias do interior paulista. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 22, p. 1–18, 2020.
- SOUZA, M. L. de. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2019.
- STEHMAN, S. V.; FOODY, G. M. Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products. **Remote Sensing of Environment**, v. 231, p. 111199, 2019.
- TRATALOS, J.; FULLER, R. A.; WARREN, P. H.; DAVIES, Z. G.; GASTON, K. J. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. **Landscape and Urban Planning**, v. 83, n. 4, p. 308–317, 2007.

Anexo A - Declaração do Uso de IA Generativa e Tecnologias Assistidas por IA no Processo de Escrita

A autora utilizou as versões 5 e 5 Pro do ChatGPT para aprimorar a gramática e melhorar a legibilidade geral do texto. Após o uso dessas ferramentas de IA, a autora revisou e editou o conteúdo conforme necessário para manter o controle total autoral sobre a substância do trabalho.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">17 de Novembro de 2025</p>	3. DOCUMENTO Nº <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-080/2025</p>	4. Nº DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">57</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Dinâmicas urbanas e áreas verdes: uma abordagem geoespacial e socioeconômica			
6. AUTORA(ES): Leticia Marcela Pinheiro Rodrigues			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELA AUTORA: Cobertura vegetal, Desigualdade ambiental, Geoprocessamento, Análise Espacial, São José dos Campos			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Vegetação; Geoprocessamento; Efeitos ambientais; Desenvolvimento ambiental; São José dos Campos; Gestão ambiental			
10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut. Publicada em 2025			
11. RESUMO: <p>O presente trabalho analisa a relação entre a cobertura vegetal urbana e os indicadores socioeconômicos no município de São José dos Campos (SP), buscando compreender se a distribuição das áreas verdes reflete desigualdades socioambientais. Parte-se da hipótese de que o acesso à vegetação urbana pode variar conforme a renda e a escolaridade da população, configurando situações de injustiça ambiental. O estudo teve como objetivo geral avaliar a distribuição espacial da vegetação e sua correlação com variáveis de renda média domiciliar e taxa de alfabetização, a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial. As imagens do satélite CBERS-4A foram processadas no software QGIS, utilizando classificação supervisionada com o algoritmo <i>Random Forest</i>, a fim de mapear as classes de uso e cobertura da terra. Em seguida, os índices de Moran Global e Local foram aplicados para investigar padrões de autocorrelação espacial, complementados por correlação de Pearson entre as variáveis. Os resultados mostraram que a vegetação apresenta distribuição relativamente homogênea, mas fragmentada, sem correlação espacial significativa com renda e alfabetização. Apesar disso, identificaram-se áreas periféricas com baixos índices simultâneos de vegetação e condições socioeconômicas, concentradas em seis bairros abaixo da mediana, entre os quais o subdistrito Eugênio de Melo se destaca como caso emblemático de vulnerabilidade socioambiental. Conclui-se que, embora São José dos Campos apresente avanços em equidade ambiental, ainda persiste o desafio de transformar essa distribuição em equidade territorial efetiva.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO</p>			