



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**GEOINFORMAÇÃO PARA IDENTIFICAR A CONTRIBUIÇÃO DOS
FATORES AMBIENTAIS NA OCORRÊNCIA ORIGINAL E DE
REMANESCENTES ATUAIS DE CERRADO NO VALE DO PARAÍBA
PAULISTA**

Isabela Silva Cima

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pela
Dra. Silvana Amaral Kampel.

INPE

São José dos Campos

2021



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**GEOINFORMAÇÃO PARA IDENTIFICAR A CONTRIBUIÇÃO DOS
FATORES AMBIENTAIS NA OCORRÊNCIA ORIGINAL E DE
REMANESCENTES ATUAIS DE CERRADO NO VALE DO PARAÍBA
PAULISTA**

Isabela Silva Cima

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pela
Dra. Silvana Amaral Kampel.

INPE

São José dos Campos

2021

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| Figura 2.1 Mapa da Vegetação Pretérita no Vale do Paraíba Paulista. | 6 |
| Figura 4.1 Distribuição dos fatores ambientais favoráveis para ocorrência de Cerrado no VP | 12 |
| Figura 4.2 Transição Cerrado campestre, savânico e florestal | 14 |
| Figura 4.3 Espécies nativas de Cerrado observadas em campo: <i>Miconia albican</i> (A), <i>Stryphnodendron adstringens</i> (B), e <i>Aristida jubata</i> (C). | 15 |
| Figura 4.4. Variabilidade do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada para as classes de cobertura no Vale do Paraíba Paulista | 16 |
| Figura 4.5. Classes de índice de vegetação NDVI (Sentinel-2) em recorte do Vale do Paraíba Paulista. | 17 |
| Figura 4.7. Classificação Supervisionada Random Forest para identificação das diferentes estruturas de vegetação em recorte do Vale do Paraíba Paulista. | 19 |
| Figura 4.8. Remanescentes de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista (2010-2011) | 20 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|--------------------|
| Tabela 3.1 Dados geoespaciais e de sensoriamento remoto | 7 |
| Tabela 3.2 Elementos categóricos para a classificação das diferentes formações vegetacionais de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista..... | 11 |
| Tabela 4.1. Pontos de mapeamento de Cerrado verificados em Campo. | 13 |
| Tabela 4.2. Estatística dos remanescentes de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista | 21 |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. CONDICIONANTES AMBIENTAIS DO CERRADO | 4 |
| 3. METODOLOGIA | 7 |
| 3.1 Materiais | 7 |
| 3.2 Métodos | 8 |
| 4. RESULTADOS..... | 11 |
| 4.1. Identificação de áreas favoráveis e validação de Cerrado..... | 12 |
| 4.2. Caracterização espectral e mapeamento das fisionomias de Cerrado do Vale do Paraíba Paulista | 15 |
| 5. CONCLUSÃO | 22 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 23 |

RESUMO

O Cerrado é um complexo vegetacional equiparado ao conjunto das savanas, de ocorrência preponderante no Planalto Central Brasileiro. No estado de São Paulo, o Cerrado ocorre em enclaves no bioma Mata Atlântica, em pequenos remanescentes, como na mesorregião do Vale do Paraíba Paulista. Este estudo objetiva mapear os remanescentes de Cerrado para as três formações fisionômicas: campestres, savânicas e florestais, no domínio do Vale do Paraíba Paulista. Anteriormente, fatores ambientais identificaram as áreas mais adequadas à existência de Cerrado. Sua distribuição ocorre majoritariamente na calha aluvial do Rio Paraíba do Sul, local de intensa ocupação humana. Para reconhecer os padrões, procedeu-se um mapeamento preliminar de remanescentes de Cerrado para os municípios São José dos Campos de Caçapava, por interpretação visual de imagens de alta resolução, com verificação de campo. Na sequência, estudou-se formas de estender o mapeamento para o recorte do Vale do Paraíba Paulista, por classificação digital de imagens de média resolução, utilizando-se imagem Sentinel-2 (10m) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Amostras das classes de Cerrado campestres, savânicas e florestais foram selecionadas para se analisar estatisticamente as diferentes respostas espectrais e para testes de classificação digital supervisionada com o algoritmo Random Forest. Da validação de campo do mapeamento para São José dos Campos obteve-se o registro (fotos e coordenadas geográficas) de remanescentes com espécies típicas das formações de Cerrado campestres, savânicas e florestais. Da imagem NDVI observou-se que os valores de -1 a 0 compreendem corpos d'água; os valores de 0 a 0,2 às áreas construídas; de 0,2 a 0,45 às vegetações herbáceas; de 0,45 a 0,65 às vegetações herbáceas-arbustivas; e de 0,65 a 1 às vegetações florestais. Das respostas espectrais das amostras de campo, constatou-se que o Cerrado campestre obteve valores de NDVI muito similares à pastagem, assim como o Cerrado savânico assemelhou-se com valores de vegetações herbáceas-arbustivas e o Cerrado florestal com valores de outros tipos de floresta. Das análises realizadas observou-se a limitação de distinguir as formações fisionômicas de Cerrado no procedimento de classificação digital de imagem considerando-se apenas a resposta espectral das feições vegetais. Nesta resolução, a resposta da vegetação está relacionada à estrutura da vegetação, e não diretamente à composição de espécies, o que permitiria a distinção das fisionomias de Cerrado. Assim, o mapeamento de remanescentes foi finalizado por método da interpretação visual de imagem de alta resolução, para a região de interesse dentro do Vale do Paraíba Paulista. A partir da interpretação visual de imagem de alta resolução, foi calculado um total de 33,880 km² de Cerrado, representando 1,5% da vegetação original, em remanescentes concentrados principalmente nas planícies fluviais, de intensa ocupação humana. Os remanescentes de Cerrado encontram-se então susceptíveis a degradações, demandando políticas de proteção legal e conservação de sua vegetação.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é um complexo vegetacional disposto majoritariamente no domínio do Planalto Central, abrangendo cerca de dois milhões de quilômetros de extensão no Brasil. Suas características se assemelham a outras Savanas da América tropical e de continentes como a África, Sudeste da Ásia e Austrália. A existência do Cerrado é dada em diversas formas estruturais, que variam desde formações campestres a florestas densas e fechadas (EITEN, 1972). O termo Cerrado é utilizado em dois sentidos, amplo e estrito. No sentido amplo, corresponde ao complexo vegetacional em grande escala, que abrange todas as formações. O termo no sentido estrito representa um dos tipos fisionômicos, definido por uma composição florística singular, caracterizada por pequenas árvores, inclinadas, tortuosas e com ramificações irregulares e retorcidas (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A ocorrência de Cerrado é favorecida por condições ambientais, principalmente por fatores climáticos e edáficos, pela presença de focos de incêndio e profundidade do lençol freático (EITEN, 1972; COUTINHO, 1997; DURIGAN et al., 2011; RIBEIRO; WALTER, 2008; WALTER, 2006). Segundo Coutinho (1978) as formações campestres, savânicas e florestais do bioma Cerrado englobam as fisionomias conforme o perfil “floresta-ecótono-campo”. Esse perfil se apresenta como uma transição, variando de acordo com as condições ambientais da localidade em que está inserida, onde as coberturas das copas das árvores variam de 0% a 100% comparando as formações campestres mais abertas com as formações florestais de Cerradão densas e fechadas.

O Cerrado encontra-se entre os 25 hotspots mundiais devido ao alto grau de endemismo e biodiversidade, além de sua condição de fragilidade em razão da perda exponencial de seus habitats naturais observada nas últimas décadas (MYERS et al., 2000). Segundo Oliveira et al. (2008), no Cerrado há presença de mais de 10.000 espécies de plantas, sendo destas, 4.000 endêmicas. Essa quantidade é certamente dada pela variedade entre as espécies herbáceas, arbustivas, arbóreas e cipós. Tal heterogeneidade é um desafio na conservação do Cerrado, pois se faz necessário muitas áreas protegidas, em diversos padrões vegetacionais, a fim de preservar sua biodiversidade de forma adequada (RATTER et al., 1997).

Primordialmente, o Cerrado cobria uma extensão de terras correspondente a 23% do Brasil. Em São Paulo, o bioma ocupava originalmente 15,4% do estado (EITEN, 1972). Por consequência da vasta ocupação humana em áreas de Cerrado, restam apenas cerca de 1% da vegetação original paulista (KRONKA et al., 1998). A devastação do Cerrado atingiu taxas altíssimas devido à pouca proteção legal. Enquanto que para a Amazônia é exigido um resguardo de 80% de sua reserva legal, o percentual para o Cerrado é de 20% segundo o Código Florestal. Suas áreas foram intensamente ocupadas pela agricultura e pecuária. Ainda que os solos do Cerrado não sejam um dos substratos mais favoráveis à agricultura, o problema que apresentam de acidez é facilmente corrigido por calagem, tornando-se cultiváveis. Assim, muitas de suas vegetações são queimadas para abrir novas áreas agrícolas (KLINK; MACHADO, 2005).

Na porção leste do estado de São Paulo, a presença de Cerrado situa-se no Vale do Paraíba Paulista. Esta vegetação, em forma de enclaves no bioma Mata Atlântica, se propagava pelas planícies do Rio Paraíba do Sul (MATSUMOTO; BITTENCOURT, 2001). A vegetação original de Cerrado presente na calha aluvial do Vale foi queimada e derrubada em consequência do ciclo do café. Posteriormente a região tornou-se um corredor de urbanização por interligar as duas grandes metrópoles Rio de Janeiro e São Paulo, o que também agravou o desmatamento deste Cerrado (DEVIDE, 2013). Nos dias atuais, os fragmentos de Cerrado restantes no Vale do Paraíba ocupam pouco mais de 1% da área original. Destes fragmentos, a maioria encontra-se sem proteção legal e situada em propriedades particulares (JÚNIOR, 2015).

Os estudos para monitorar a vegetação de Cerrado através de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas se concentram principalmente no Planalto Central, região de maior ocupação do bioma. Para o estado de São Paulo, o Instituto Florestal produziu um diagnóstico da cobertura vegetal levando em consideração a fisionomia de Savana conhecida internacionalmente. Entretanto, as versões apresentadas do Instituto Florestal trazem metodologias diferentes, e os conceitos fitofisionômicos da Savana variam ao longo do tempo. A última versão foi no ano de 2010, o que torna relevante novos estudos sobre o tema no estado (KRONKA et al., 2011). No Vale do Paraíba Paulista, há poucos estudos de mapeamento de remanescentes de Cerrado. Anõn (2019) analisou a distribuição espacial de Cerrado florestal em seis municípios do Vale do Paraíba Paulista, trazendo 14,63 km² de remanescentes mapeados desta fisionomia.

Tendo em vista a escassez de mapeamentos de remanescentes na região do Vale do Paraíba Paulista, bem como a importância de se preservar a vegetação do Cerrado por sua alta biodiversidade e endemismo, este trabalho propôs mapear as áreas de remanescentes de Cerrado nesta região, considerando as três formações fisionômicas floresta, savana e campo, segundo o conceito “floresta-ecótono-campo” de Coutinho (1978). Foram também considerados os dados ambientais climáticos e edáficos obtidos em primeira instância deste projeto, relacionando-os conforme a distribuição espacial da vegetação de Cerrado identificada.

2. CONDICIONANTES AMBIENTAIS DO CERRADO

Estudos florísticos e fitossociológicos sobre a vegetação de Cerrado no estado de São Paulo relatam as fisionomias campestres, savânicas e florestais em toda região, tendo considerável predominância das florestais (GIBBS ET AL., 1983; SILBERBAUER-GOTTSBERGER; EITEN, 1983; MANTOVANI; MARTINS, 1993; LINDOSO; FELFILI, 2007; SIQUEIRA; DURIGAN, 2007, KRONKA ET AL. 1998). No Vale do Paraíba Paulista, Júnior (2015), Nunes e Souza (2016), Guimarães (2017) e Rocha (2017) encontraram a presença de savana arbórea aberta e savana gramíneo-lenhosa em alguns fragmentos. Durigan e colaboradores (2003) indicaram a área de Cerrado ocorrente no Centro Técnico Aeroespacial (CTA), município de São José dos Campos, como uma das áreas prioritárias para conservação do Cerrado no estado de São Paulo.

A distribuição de Cerrado é influenciada por diversos fatores abióticos como o clima, solo, geomorfologia, presença de fogo e drenagem. Segundo Durigan (2004), as fisionomias estão presentes onde há um padrão pluviométrico sazonal com estação seca bem definida, baixa fertilidade do solo e drenagem geralmente abundante. Contudo, Eiten (1972) menciona outros fatores que podem ser considerados ameaçadores do bioma, como as baixas temperaturas e geadas, que não excluem a possibilidade de existência, porém restringem bastante o número de ocorrência de espécies.

O Cerrado é uma vegetação de clima tropical sazonal e possui temperatura anual média variando de 20 a 26°C. No Sul do estado de São Paulo e no Paraná, a temperatura é menor e pode atingir até -4°C. Algumas fisionomias em altas altitudes dos locais que apresentam baixas temperaturas, suportam até mesmo eventuais geadas. Nas regiões mais secas, como o Nordeste do país, a média pluviométrica varia entre 700 a 1000 mm, enquanto que em regiões mais úmidas a média pode chegar até 2000 mm. No estado de São Paulo, a média pluviométrica anual é entorno de 1300 mm (EITEN, 1972).

O solo, por sua vez, é determinante para as fisionomias de Cerrado através da sua composição mineralógica, do pH, da capacidade de troca catiônica (CTC), do teor de matéria orgânica e da sua textura granulométrica, que em conjunto indicam sua classificação. A textura do solo influencia na capacidade de drenagem e disponibilidade de água e nutrientes. À medida que essa disponibilidade aumenta, aumentam também as espécies lenhosas, bem como a densidade florestal (WALTER, 2006).

A erosão faz com que os solos do Cerrado sejam desgastados por suas condições naturais, que são resultados de perdas de cátions básicos pela lixiviação. Tal fato faz com que o pH em geral seja baixo, caracterizando uma forte acidez e limitando o crescimento vegetal (MENDONÇA et al., 2005). Em geral, o Cerrado predomina em Latossolos e possui textura arenosa/siltosa podendo apresentar alterações provindas de xistos argilosos (AB'SÁBER, 1983). A região do Rio Paraíba do Sul sofreu processos pedogenéticos de intensa lixiviação originando solos com alto teor de alumínio, acidez elevada e baixa concentração de bases trocáveis, condições de solos associadas à distribuição original de Cerrado no Vale (AB'SÁBER, 1970).

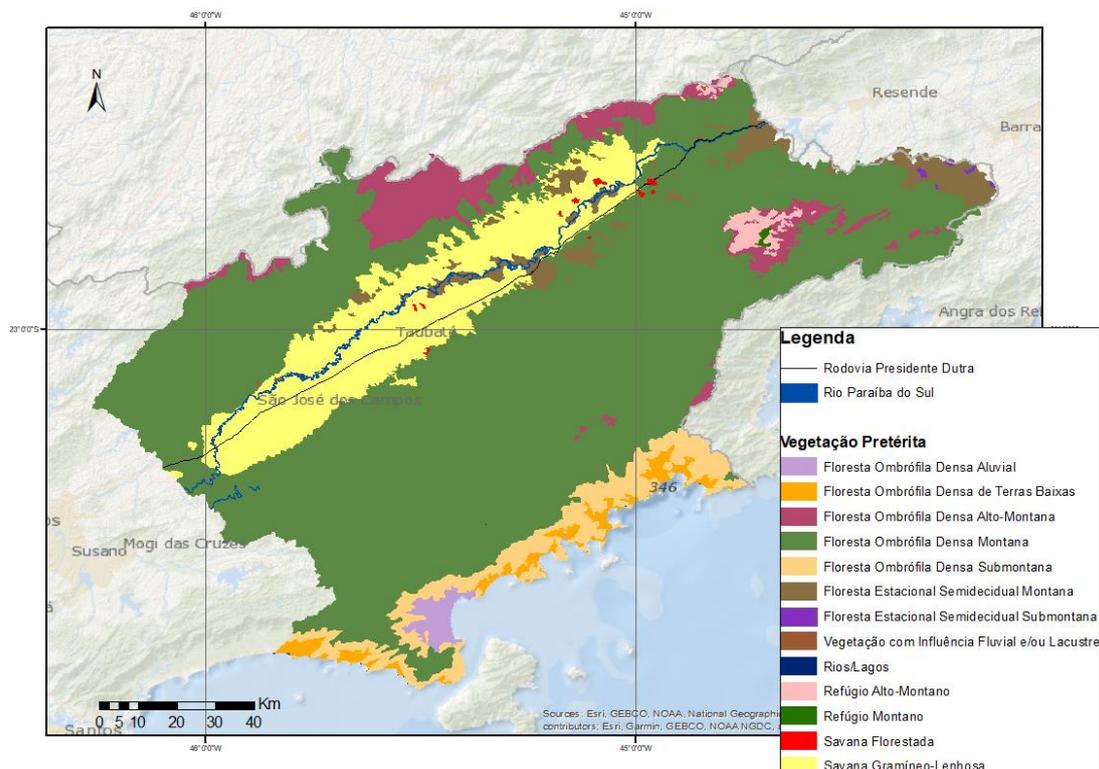
A geomorfologia do Brasil possui um papel fundamental para a ocorrência de fisionomias do Cerrado. Estas fisionomias localizam-se sob solos aplainados ou levemente ondulados devido a intensos processos de erosão (MCCLAIN et al., 2001). Cerca de metade do território do Cerrado compreende altitudes entre 300 e 600 m. Apenas 5,5% vão além de 900 m, chegando até cerca de 1100 m (COUTINHO, 1997). Aproximadamente 50% do Cerrado corresponde a regiões do período Pré-Cambriano, 30% ao período Cretáceo e 20% a outros períodos (MCCLAIN et al., 2001). Nesse contexto, é válido ressaltar que a Bacia Paraíba do Sul localizada no Vale do Paraíba, pertence ao complexo Pré-cambriano (DEVIDE, 2013).

O fogo frequente é outro fator à biodiversidade da vegetação de Cerrado. Ele ocorre naturalmente na estação seca (maio a setembro) e pode favorecer a germinação de sementes que necessitam do choque térmico para a quebra de sua dormência vegetativa (NASCIMENTO, 2000). Focos de incêndio são responsáveis por manter fisionomias mais abertas e, portanto, dão condições para a existência de formas campestres do Cerrado (DURIGAN et al., 2011). O fogo também pode ser relacionado a áreas antropizadas ou sob ação de queimadas, se tornando danoso a vegetação nativa, e impede a sucessão de espécies florestais (DURIGAN, 2007).

A profundidade do lençol freático explica também as diferenças nas fisionomias de Cerrado. Quanto maior a disponibilidade de água e nutrientes, maiores tendem a ser o dossel florestal e a densidade de folhas (DURIGAN et al., 2011). O lençol freático pode variar durante o ano desde 1-1,5 metros até 3-4 metros no subsolo superficial dos cerrados, continuando, mas, sempre tangente à superfície da topografia, alimentando as raízes da vegetação lenhosa dos cerrados (AB'SÁBER, 1983)

Em São Paulo, a ocorrência de Cerrado originalmente se dispunha na região centro-norte, e recobria 18,2% do território do estado (PROBIO/SP, 1995). A disposição do Cerrado no estado de São Paulo se apresenta em formas de enclaves do bioma Mata Atlântica, divisando, portanto, com a formação de florestas estacionais, florestas ombrófilas e campos de altitude. Entre a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar, ao longo do Rio Paraíba do Sul, também ocorreu Cerrado (VICTOR, 1975). A Figura 2.1 apresenta a distribuição da vegetação original no Vale do Paraíba Paulista.

Figura 2.1 Mapa da Vegetação Pretérita no Vale do Paraíba Paulista.



Fonte: Adaptada de FUNCATE (2010).

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados geográficos e imagens de satélite, conforme sumarizado na Tabela 3.1. Estes dados foram sistematizados em banco de dados geográficos e sistemas de informação geográfica, utilizando-se os softwares Quantum Gis 3.16 e Terraview 5.4.

Tabela 3.1 Dados geoespaciais e de sensoriamento remoto

| Dados | Fonte | Data | Escala | Resolução |
|------------------------------------|-----------------------|------------|-----------|--------------------|
| Variáveis Físico-Ambientais | | | | |
| Precipitação média mensal e anual | WordlClim/ AMBDATA | 1950-2000 | - | 1km |
| Temperatura média mensal e anual | WordlClim/ AMBDATA | 1950-2000 | - | 1km |
| Textura do solo | Rossi (2017) | 2011 | 1:750.000 | - |
| Classificação do solo | Rossi (2017) | 2011 | 1:750.000 | - |
| Declividade | Topodata ¹ | 2011 | 1:250.000 | - |
| Altitude | Topodata ¹ | 2011 | 1:250.000 | - |
| Profundidade do lençol freático | AMBDATA ² | s.d. | 1:235.000 | - |
| Focos de queimada | INPE ³ | 2009-2019 | - | - |
| Fitofisionomias | FUNCATE ⁴ | 2010 | 1:250.000 | - |
| | IBGE ⁵ | 2018 | 1:250.000 | - |
| Imagem de Satélite | | | | |
| Sentinel-2 | Corpenicus | 28/10/2020 | - | 10m |
| Bing Satélite | BingMaps | 2010-2020 | - | 78271 m até 0,30 m |

¹ Topodata – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil

² Fonte Ambtada: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php#var_ind

³ INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

⁴ FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

⁵ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Fonte: Produção da Autora (2021)

3.2 Métodos

Na primeira fase do presente trabalho, foram estudados os fatores abióticos condicionantes para a existência de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista, baseando-se em dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoinformação. A partir da literatura, foram definidos os fatores edáficos e climáticos: temperatura média anual, precipitação média anual, classe de solo, textura de solo, relevo, declividade e altitude. A partir disso, construiu-se um banco de dados geográficos para cada fator relevante. Para simplificar a análise, os atributos de cada fator foram remapeados em classes binárias, considerando importantes (valor 1) ou irrelevantes (valor zero) para a ocorrência de Cerrado.

Foram considerados atributos relevantes: a temperatura média anual entre 20 a 26°C; a precipitação média anual entre 1300 e 1400 mm; a classe de solo Latossolos, textura argilosa; o relevo de plano a ondulado; a declividade de 0 a 30, e a altitude de 300 a 600m. Os atributos relevantes dos fatores foram somados em cada célula do espaço celular, de modo a expressar as diferentes intensidades de condições ambientais favoráveis para a ocorrência de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista. Esses atributos foram organizados em uma grade celular com resolução de 1x1 km, de forma a facilitar a integração das bases e interpretação dos dados. A distribuição espacial das áreas favoráveis à ocorrência de Cerrado teve como base comparativa a vegetação original existente, segundo a FUNCATE (2010), demonstrada na Figura 2.1.

Numa segunda fase, procedeu-se o mapeamento de áreas remanescentes de Cerrado observando-se a concordância com as áreas mais favoráveis apresentadas pelos fatores ambientais. Para este mapeamento, optou-se pela interpretação visual de imagens de alta resolução, para um recorte dos municípios São José dos Campos e Caçapava, de modo a proceder a verificação de campo. Neste trabalho, as áreas mapeadas nestes municípios foram verificadas em campo, com auxílio de especialista em estrutura e composição de Cerrado.

O trabalho de campo aconteceu no dia 26 de setembro de 2020, ao longo do município de São José dos Campos. As áreas auditadas tiveram as coordenadas geográficas anotadas, e foram fotografadas. Ao todo, são 17 pontos de visitas auditadas, destacando que além destas, algumas das áreas não puderam ser auditadas por estarem dentro de

propriedades privadas sem autorização para a inspeção. Para as vegetações dos pontos de visitas foram confirmadas as áreas que correspondiam a Cerrado, e constatou-se também o tipo fisionômico de cada uma destas.

A fim de estudar a viabilidade de se estender o mapeamento para toda a extensão do Vale do Paraíba Paulista de forma digital, analisou-se o comportamento espectral das amostras de fitofisionomias campestres, savânicas e florestais de Cerrado. Para isso, foram feitas composições coloridas em cor verdadeira RGB 4(R) 3(G) 2(B), e em falsa cor RGB 8(R) 4(G) 3(B) de imagem Sentinel 2, resolução 10m no recorte do Vale do Paraíba Paulista, com o propósito de se obter a melhor visualização da vegetação em contraste com solo exposto e construções antrópicas. Em seguida, foi calculado o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) para obter as respostas espectrais dos alvos.

A partir dos Índices de Vegetação de Diferença Normalizada, gerou-se a estatística da média dos valores para as amostras das classes consideradas: água, área urbana, cerrado campestre, pastagem, cerrado savânico, cerrado florestal e floresta plantada. Após análise das amostras, estas foram utilizadas para a classificação supervisionada de imagem com o classificador Random Forest. As confusões entre as classes de cobertura vegetal, observadas nos resultados da classificação digital, embasaram a decisão metodológica de finalizar o mapeamento dos remanescentes de cerrado pelo método de interpretação visual de imagem de alta resolução, que possibilitava a distinção das diferentes fitofisionomias de Cerrado na região.

Para dar suporte visual das respostas espectrais ao mapeamento dos remanescentes, fez-se uma classificação supervisionada para o mesmo recorte do Vale do Paraíba Paulista, utilizando o classificador Random Forest, agrupando as classes amostradas em: corpos d'água, área construída, vegetação herbácea, vegetação herbácea-arbustiva e vegetação florestal. Dessa maneira gerou-se uma imagem de menor confusão entre os alvos.

Para a interpretação visual foram utilizadas imagens orbitais de alta resolução do repositório BingMaps. Este repositório fornece um serviço de mapeamento global que disponibiliza composições de imagens obtidas por diferentes sensores orbitais, com resoluções espaciais que variam entre 78271 m até 0,30 m por pixel (MICROSOFT, 2018). De modo geral, as imagens disponíveis referem-se a 2010 e 2011 nas

composições de máximo zoom. Assim, as imagens de alta resolução foram acessadas em sistema de informação geográfica (QGis), de modo a suportarem a digitalização manual das áreas de Cerrado, criando-se polígonos que foram associados às classes campestres, savânicas e florestais.

As três formações de Cerrado foram diferenciadas através de uma chave de classificação, considerando os elementos categóricos da interpretação visual, conforme apresentado na Tabela 3.2. Nesta apresentam-se também exemplos dos padrões de cada classe observados nas imagens.

Tabela 3.2 Elementos categóricos para a classificação das diferentes formações vegetacionais de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista

| Atributo | Campestre | Savânica | Florestal |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Forma | Vegetação aberta com presença de poucos arbustos arredondados. | Vegetação menos aberta com presença de arbustos e árvores de copas arredondadas. | Vegetação fechada com presença majoritariamente de árvores de copas arredondadas e poucos arbustos. |
| Tamanho (altura) | Vegetação baixa e/ou rasteira. | Vegetação média e/ou rasteira. | Vegetação alta, porém mais baixa que outras formações arbóreas. |
| Cor e Tonalidade | Verde claro amarronzado (devido à alta exposição do solo). | Verde acinzentado e amarronzado (alguma contribuição de solo). | Verde mais escuro acinzentado. |
| Textura | Rugosa e em maior parte homogênea. | Rugosa e em maior parte heterogênea. | Rugosa e em maior parte heterogênea. |
| Sombra | Pouca ou inexistente. | De copas de árvores arredondadas esparsas. | De copas de árvores arredondadas e próximas. |
| Morfologia do terreno | Planícies. | Planícies. | Planícies. |
| Estrutura | Vegetação predominantemente herbácea, poucos e esparsos indivíduos arbustivo-arbóreos. | Vegetação herbácea e arbustiva-arbórea em igual proporção. Espaçamento entre os indivíduos arbustivo-arbóreos. | Vegetação arbórea, formando dossel contínuo. Pouco ou nenhum espaçamento entre os indivíduos. |
| Classe de frequente confusão/ | Pastagem - geralmente de vegetação herbácea com um tom de verde mais vivo, e ausência de arbustos arredondados. | Afloramentos rochosos - vegetação herbácea arbustiva, diferenciadas pela presença de materiais rochosos no entorno. | Mata de galeria, mata atlântica e floresta plantada - altura do dossel superior. Formato pontiagudo ou não tão arredondado. No caso da floresta plantada, formam um dossel homogêneo. |
| Padrão Observado nas Imagens |  |  |  |

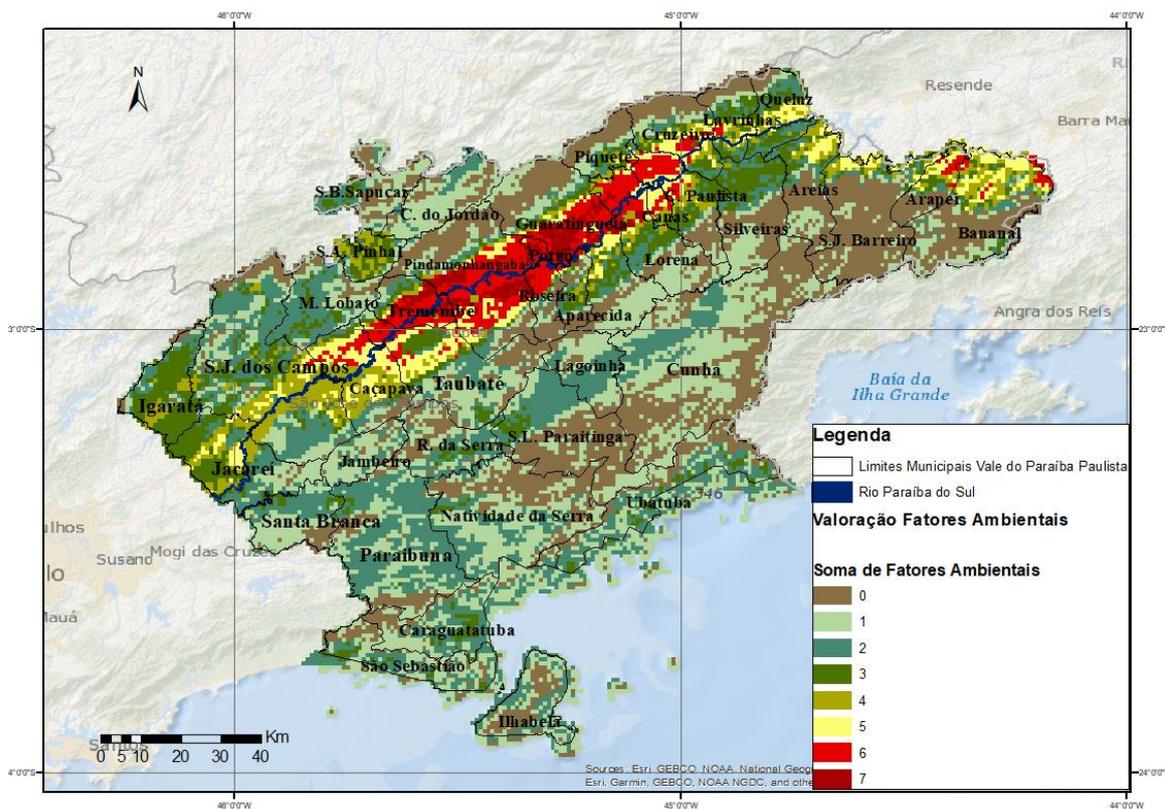
Fonte: Produção da Autora (2021)

4. RESULTADOS

4.1. Identificação de áreas favoráveis e validação de Cerrado

A integração das condições ambientais favoráveis para a ocorrência de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista é apresentada na Figura 4.1. De 0 a 7, os fatores ambientais refletem os limites mais favoráveis para ocorrência das áreas de Cerrado ao longo da calha do Rio Paraíba do Sul, confirmando a sua distribuição pretérita no Vale (FUNCATE, 2010). As áreas favoráveis de ocorrência de Cerrado foram a base do mapeamento de Cerrado realizado em posterior momento neste estudo para o Vale do Paraíba Paulista.

Figura 4.1 Distribuição dos fatores ambientais favoráveis para ocorrência de Cerrado no VP



Fonte: CIMA (2020).

Das áreas mapeadas anteriormente, foi verificado em campo um total de 17 pontos de validação das fisionomias de Cerrado. Os resultados são apresentados na Tabela 4.1, que relata 11 áreas comprovadas de Cerrado, ou seja, 11 áreas mapeadas por identificação visual previstas corretamente. Foram observados 7 pontos correspondentes a áreas de falsos positivos, ou seja incorretamente designados como Cerrado. Os falsos positivos, de maneira geral, referem-se a outras formações vegetacionais que estão

degradadas e por esse motivo assemelharam-se às respostas espectrais e padrão visual de classificação do Cerrado, conforme descrito na chave de classificação visual (Tabela 3.2). Estes resultados ressaltam a importância de se validar em campo as áreas pelas imagens de satélite, para melhorar a exatidão do mapeamento.

Tabela 4.1. Pontos de mapeamento de Cerrado verificados em Campo.

| Pto | Longitude (W) | Latitude (S) | Cerrado | Fisionomia Mapeada | Fisionomia Auditada |
|-----|-----------------|-----------------|---------|----------------------|--|
| 1 | 45° 51' 8.672" | 23° 14' 59.932" | Sim | Campestre | Campestre e Savânica |
| 2 | 45° 51' 5.389" | 23° 15' 0.893" | Sim | Campestre | Campestre, Savânica e Florestal |
| 3 | 45° 51' 2.581" | 23° 15' 1.850" | Sim | Campestre | Campestre |
| 4 | 45° 52' 3.702" | 23° 14' 27.514" | Sim | Nenhuma | Florestal |
| 5 | 45° 51' 29.970" | 23° 15' 25.351" | Sim | Florestal e Savânica | Florestal e Savânica |
| 6 | 45° 51' 23.058" | 23° 15' 34.355" | Sim | Campestre | Campestre |
| 7 | 45° 51' 23.058" | 23° 15' 34.355" | Sim | Campestre | Campestre |
| 8 | 45° 46' 31.336" | 23° 13' 46.459" | Não | Savânica | Regeneração de Mata Atlântica degradada |
| 9 | 45° 45' 59.173" | 23° 13' 29.014" | Não | Florestal | Floresta Estacional Semidecidual degradada |
| 10 | 45° 44' 7.764" | 23° 10' 47.651" | Não | Florestal | Floresta Estacional Semidecidual degradada |
| 11 | 45° 45' 6.430" | 23° 10' 30.356" | Não | Florestal | Floresta Estacional Semidecidual degradada |
| 12 | 45° 46' 12.382" | 23° 11' 13.949" | Não | Florestal | Floresta Estacional Semidecidual degradada |
| 13 | 45° 46' 37.319" | 23° 11' 15.022" | Não | Campestre | Pastagem |
| 14 | 45° 47' 38.126" | 23° 11' 54.532" | Sim | Florestal | Florestal |
| 15 | 45° 48' 1.512" | 23° 11' 38.994" | Sim | Florestal | Florestal |
| 16 | 45° 48' 0.698" | 23° 11' 44.426" | Sim | Florestal | Savânica |
| 17 | 45° 48' 0.698" | 23° 11' 42.407" | Sim | Florestal | Florestal |

Fonte: Produção da Autora (2021).

A identificação no campo de fisionomias de Cerrado campestre é dada pela caracterização de áreas abertas com presença de gramíneas. O Cerrado savânico foi identificado por áreas de menor abertura comparada a campestre, com presença de árvores e espaçamento médio entre elas. Essas árvores são em maioria baixas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, tipicamente da fisionomia *Sensu Stricto*. As fisionomias florestais de Cerrado constatadas são mais densas e menos espaçadas, formam um dossel contínuo.

A Figura 4.2 apresenta uma área de transição, correspondente ao Ponto 2, que contém as três fisionomias de Cerrado. Observa-se na figura a predominância da formação vegetal campestre pela presença de gramíneas e vegetação rasteira. No centro da imagem a vegetação torna-se um pouco mais densa com árvores tortuosas de tamanho médio e espaçamento médio entre elas, caracterizando a formação Cerrado *Sensu Stricto*, e ao fundo da imagem, com uma vegetação densa e fechada apresenta-se a fisionomia florestal Cerradão.

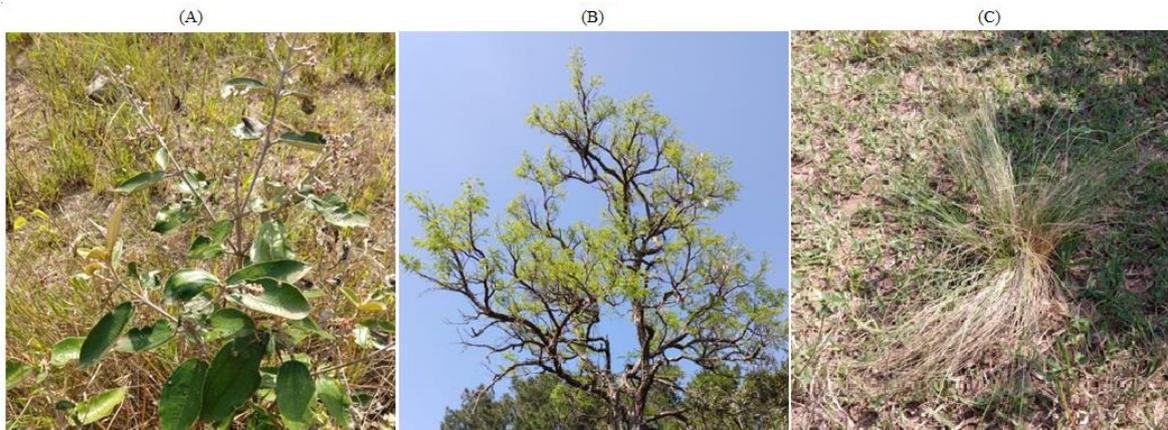
Figura 4.2 Transição Cerrado campestre, savânico e florestal



Fonte: Produção da Autora (2021).

A Figura 4.3 apresenta espécies nativas de Cerrado, que comprovam sua existência nos pontos de campo 2 e 5. A espécie de planta identificada na Figura 4.3A corresponde a *Miconia albicans*, da família Melastomataceae, nativa do Cerrado Paulista, com seus pequenos frutos nos galhos, que são característicos. Na Figura 4.3B, a árvore centralizada é chamada comumente de Barbatimão, nativa do Cerrado brasileiro. Essa espécie, *Stryphnodendron adstringens*, da família Fabaceae, pode medir de 2 a 5m de altura, e geralmente tem troncos tortuosos, com muitos ramos curtos e casca grossa. As folhas possuem folíolos arredondados e coloração verde clara. A Figura 4.3C apresenta o capim comumente chamado de barba-de-bode, ou *Aristida jubata*, da família Poaceae, frequentemente encontrado em áreas de campo Cerrado.

Figura 4.3 Espécies nativas de Cerrado observadas em campo: *Miconia albican* (A), *Stryphnodendron adstringens* (B), e *Aristida jubata* (C).



Fonte: Produção da Autora (2021).

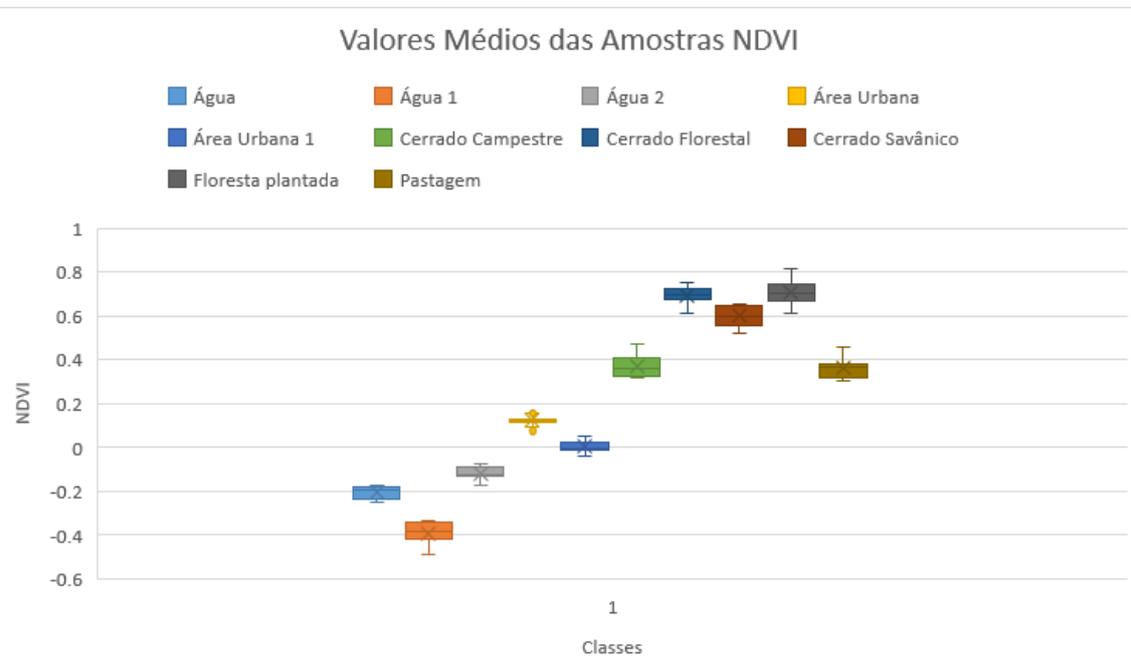
4.2. Caracterização espectral e mapeamento das fisionomias de Cerrado do Vale do Paraíba Paulista

Para dar sequência ao mapeamento e estudar a viabilidade de classificação digital de imagem foram selecionadas amostras para as classes: água, área urbana, pastagem, cerrado campestre, cerrado savânico, cerrado florestal e floresta plantada. Para a classe água, foram adquiridas 26 amostras, divididas em subclasses (água, água 1 e água 2) por apresentarem diferentes respostas espectrais e portando diferentes padrões e coloração nas imagens. Para os alvos urbanos, foram adquiridas 62 amostras relacionadas a alvos de telhados cerâmicos e casas, e 13 amostras (área urbana 1) para alvos com coberturas de cimento e asfalto. Para a classe cerrado campestre e cerrado savânico foram adquiridas oito amostras para cada, e 46 amostras para o cerrado florestal. Para a classe florestas plantadas foram obtidas 33 amostras, e 11 para a classe pastagem.

A partir da amostragem realizada para um recorte do Vale do Paraíba Paulista, criou-se um boxplot para analisar os valores médios das respostas espectrais de NDVI e suas variabilidades, conforme se pode se observar na Figura 4.4. As amostras da classe água compreendem os valores de NDVI abaixo de 0. As amostras da classe área urbana, variaram aproximadamente de 0 a 0,18. As classes amostras da classe cerrado campestre e pastagem estão entre 0,3 e 0,45. O cerrado savânico apresenta valores de NDVI entre

0,5 a 0,65. E por fim, as classes de cerrado florestal e floresta plantada tiveram suas amostras variando em torno de 0,6 e 0,81.

Figura 4.4. Variabilidade do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada para as classes de cobertura no Vale do Paraíba Paulista

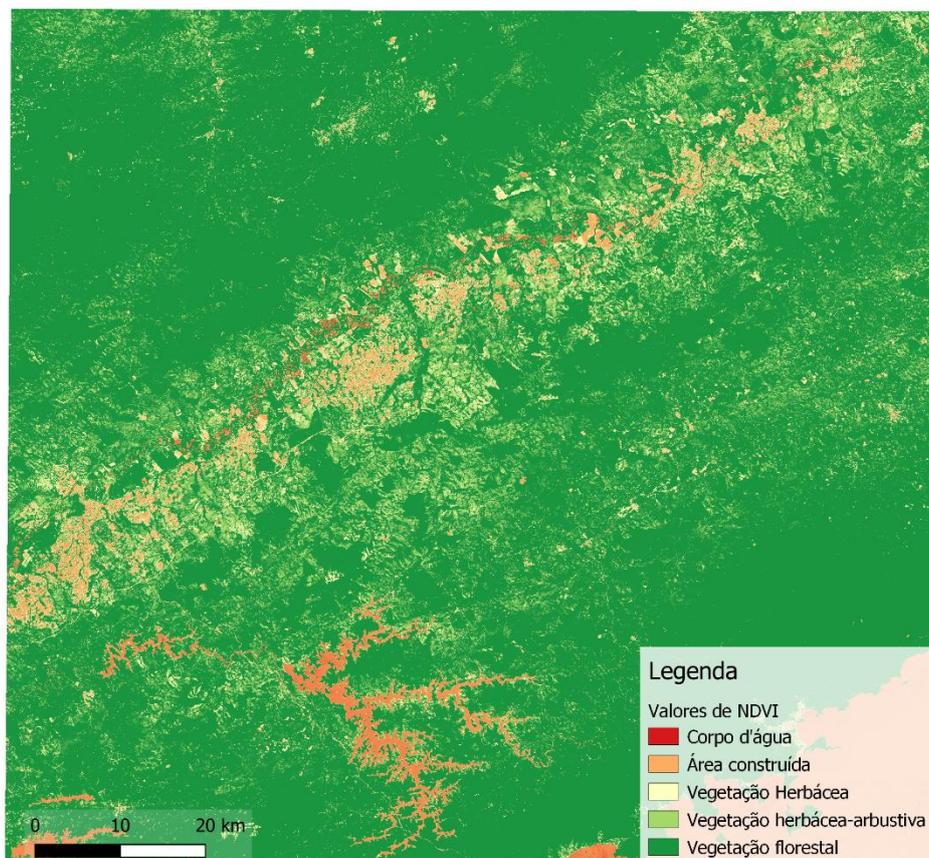


Fonte: Produção da Autora (2021).

Pode-se inferir que as classes cerrado campestre e pastagem, assim como cerrado florestal e floresta plantada possuem respostas espectrais de NDVI semelhantes. Dessa forma, o classificador digital supervisionado baseado apenas nas respostas espectrais das coberturas, dificilmente daria conta de distinguir coberturas semelhantes. A distinção destas classes estaria relacionada à composição das espécies, no caso de pastagem e cerrado campestre, e também à altura, no caso da distinção do Cerrado florestal das outras florestas que ocorrem no Vale.

Agrupando as classes de respostas semelhantes, como demonstra a Figura 4.5, fez-se o fatiamento da imagem NDVI em cinco intervalos de resposta espectral: de -1 a 0 compreendem corpos d'água; de 0 a 0,2 às áreas construídas; de 0,2 a 0,45 às vegetações herbáceas; de 0,45 a 0,65 às vegetações herbáceas-arbustivas; e de 0,65 a 1 às vegetações florestais.

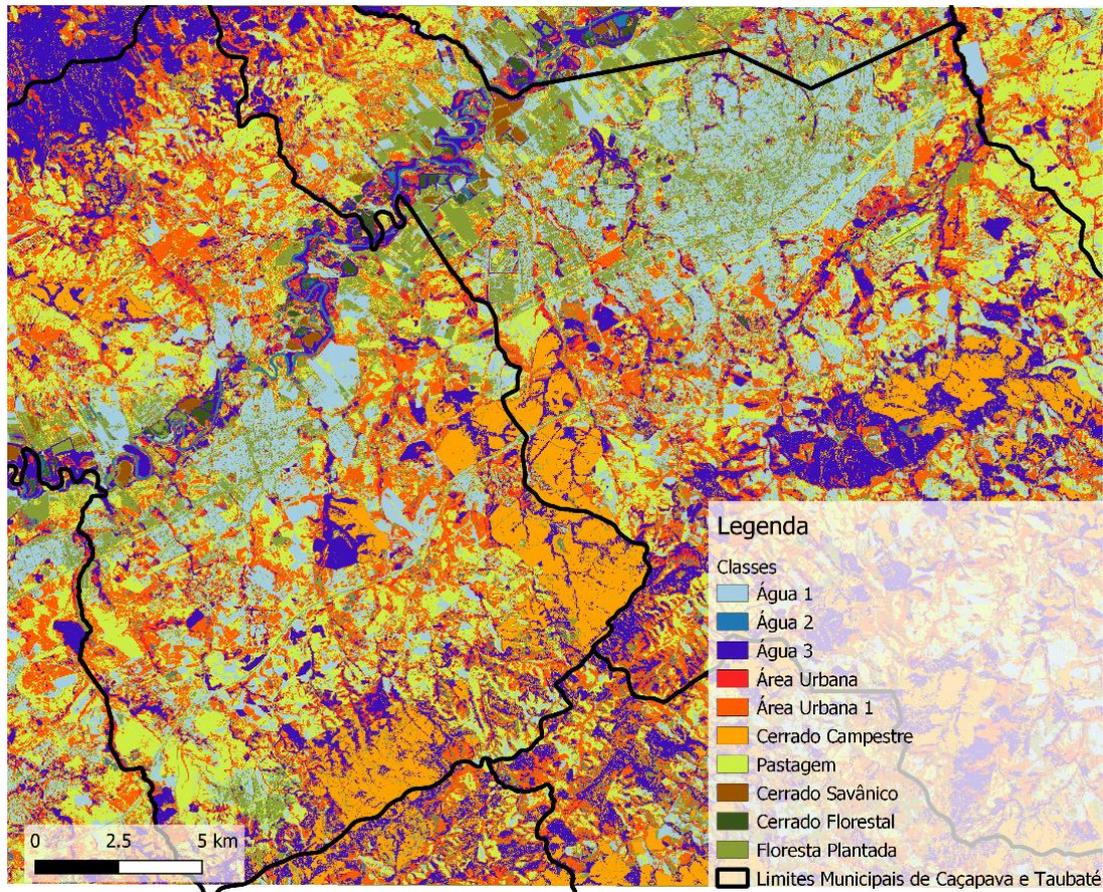
Figura 4.5. Classes de índice de vegetação NDVI (Sentinel-2) em recorte do Vale do Paraíba Paulista.



Fonte: Produção da Autora (2021).

A Figura 4.6 apresenta o resultado da classificação digital supervisionada para remanescentes de Cerrado, com algoritmo Random Forest, para um recorte do Vale do Paraíba Paulista, abrangendo os municípios de Caçapava e Taubaté. No município de Caçapava, muitas amostras das classes de Cerrado foram adquiridas, e o exercício foi avaliar se a amostragem e a classificação seriam eficientes para outra área, no caso o município de Taubaté, adjacentes à área de amostragem. Conforme suposto inicialmente, por análise visual da classificação, verificou-se que as classes de Cerrado não foram corretamente distintas, por apresentarem respostas espectrais semelhantes a outros alvos.

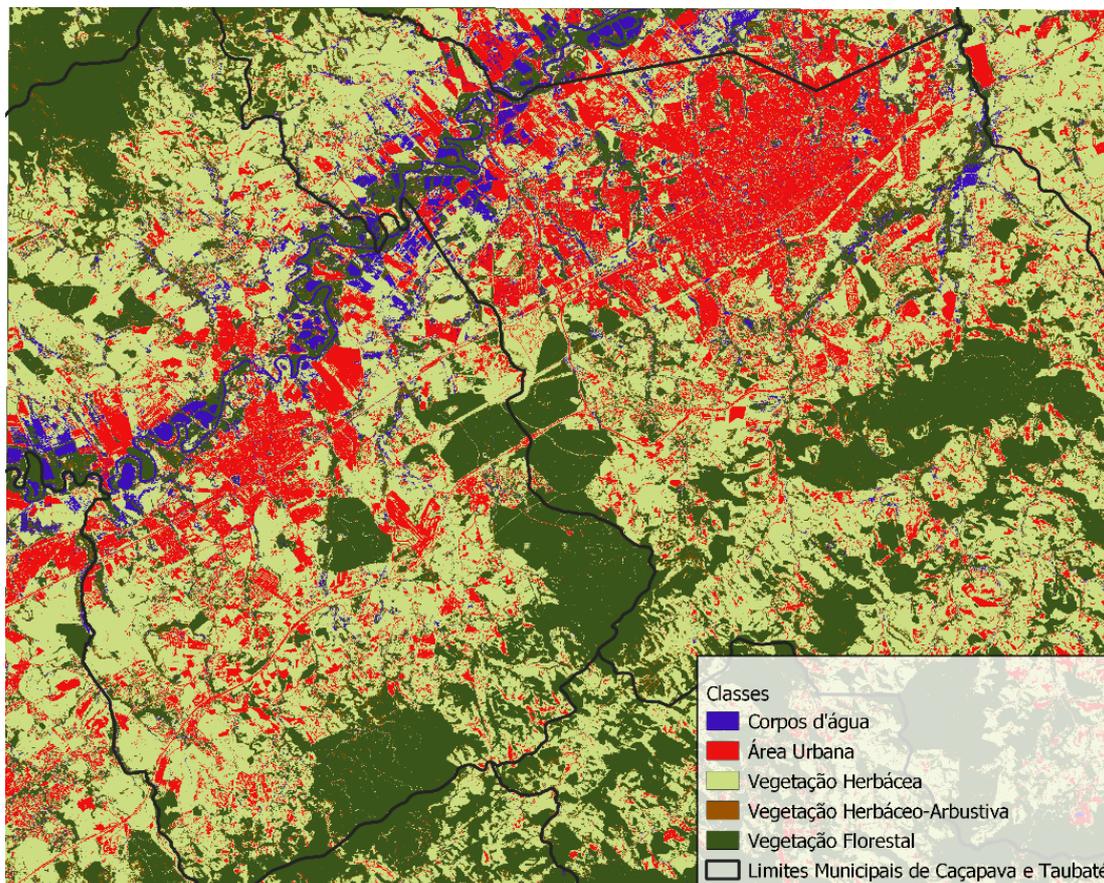
Figura 4.6 Classificação Supervisionada Random Forest para identificação dos tipos vegetacionais de Cerrado em recorte do Vale do Paraíba Paulista.



Fonte: Produção da Autora (2021).

Ainda que novos testes e uma análise da exatidão do mapeamento sejam necessários para discutir os resultados, fez-se um agrupamento das classes, considerando respostas espectrais semelhantes, e, portanto, sugerindo o agrupamento das classes de vegetação conforme sua estrutura: herbácea, herbácea-arbustiva e arbórea. A Figura 4.7 apresenta o resultado desta agregação, o que evitou a confusão entre as classes obtendo, portanto, um resultado mais próximo do real, ao se verificar os alvos nas imagens de alta resolução.

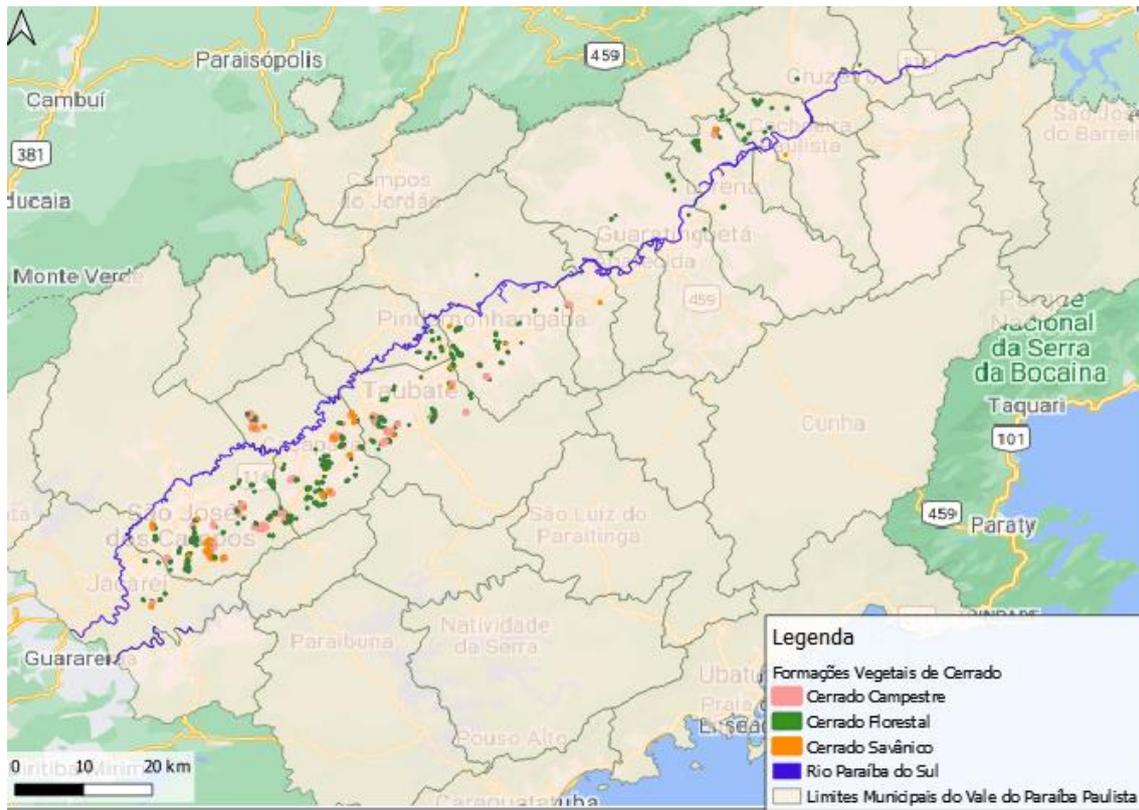
Figura 4.7. Classificação Supervisionada Random Forest para identificação das diferentes estruturas de vegetação em recorte do Vale do Paraíba Paulista.



Fonte: Produção da Autora (2021).

Pelo método de identificação visual de imagens de alta resolução, procedeu-se a extensão do mapeamento de remanescentes de Cerrado para o Vale do Paraíba Paulista. Foram mapeados 315 polígonos para as três formações vegetacionais - campestre, savânica e florestal. O resultado final do mapeamento é apresentado na Figura 4.8. Percebe-se que a distribuição de remanescentes de Cerrado está presente ao longo do Rio Paraíba do Sul, na planície aluvial do Vale. Há maiores concentrações nos municípios de São José dos Campos e Caçapava, assim como Cachoeira Paulista e Lorena. O município de Tremembé também contém grandes fragmentos florestais de Cerrado.

Figura 4.8. Remanescentes de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista (2010-2011)



Fonte: Produção da Autora (2021).

Na Tabela 4.2 observa-se um total de 33,880 km² de extensão de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista. Considerando-se que originalmente foram estimados 2175,62 km² de Cerrado nesta porção do Vale do Paraíba, conforme o mapeamento da vegetação original (FUNCATE, 2010), atualmente, há apenas 1,5% de remanescentes. Dentre esse total, 11,388 km² são de fisionomias campestres, 2,945 km² de savânicas e 19,547 km² de florestais. A fisionomia florestal, além de maior extensão, foi a de maior frequência, com 221 polígonos mapeados. A fisionomia savânica foi a de menor ocorrência, compreendendo apenas 2,945 km². Por se tratar de uma vegetação de transição, com elementos arbóreos esparsos e cobertura de gramíneas, sua identificação e delineamento através de identificação visual é mais difícil, em comparação com as outras formações. A fisionomia campestre apresentou polígonos de maior de área média, enquanto as fisionomias savânicas e florestais podem ser consideradas mais fragmentadas, por apresentarem polígonos menores.

Tabela 4.2. Estatística dos remanescentes de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista

| Vegetação Cerrado | Polígonos (n) | Área média dos polígonos (km ²) | Desvio Padrão | Área Total (km ²) |
|-------------------|---------------|---|---------------|-------------------------------|
| Campestre | 47 | 0,242 | 0,207 | 11,388 |
| Savânico | 47 | 0,063 | 0,130 | 2,945 |
| Florestal | 221 | 0,088 | 0,125 | 19,547 |
| TOTAL | 315 | 0,131 | 0,462 | 33,880 |

Fonte: Produção da Autora (2021).

Uma nova verificação de campo será necessária para se apurar a qualidade deste mapeamento. Esta verificação é fundamental para que se possa dar continuidade às análises destes remanescentes quanto suas contribuições para garantir a preservação das espécies de Cerrado, bem como para análise das condições de seus entornos e implicações para a conservação.

5. CONCLUSÃO

Em fase anterior, este projeto de pesquisa identificou os fatores ambientais limitantes para o Cerrado, tendo sido considerados pertinentes a este estudo: a temperatura média anual, a precipitação média anual, a classe de solo, a textura de solo, o relevo, a declividade e a altitude. Desta identificação, obteve-se as áreas possíveis de para a ocorrência de Cerrado no Vale do Paraíba Paulista, que serviram como limites do mapeamento de remanescentes deste estudo.

Em um segundo momento, após o mapeamento por interpretação visual de uma pequena região do Vale, os municípios de São José dos Campos e Caçapava, o trabalho de campo permitiu aferir os padrões que estavam sendo distintos nas imagens de alta resolução. Para a classificação digital de imagens Sentinel 2, procedeu-se o estudo das respostas espectrais das diferentes classes de interesse. Verificou-se que há muita sobreposição de respostas espectrais das classes associadas às formações de Cerrado campestre, savânica e florestal, com as áreas de pastagem, e outras formações florestais que também ocorrem no Vale. Neste caso, seriam necessários novos testes, com outras fontes de dados e algoritmos de processamento de imagem, que permitissem incorporar outros atributos como textura do dossel, altura das árvores ou alguma inferência sobre a composição das espécies, para a discriminação correta das classes de Cerrado de interesse.

O mapeamento de remanescentes de Cerrado foi finalizado pelo método de interpretação visual de imagem de alta resolução para o Vale do Paraíba Paulista. Calculou-se um total de 33,880 km² de Cerrado, representando 1,5% da vegetação originalmente disposta na região, o que demonstra a vulnerabilidade destas áreas. O arranjo espacial dos remanescentes no Vale indicou concentrações principalmente nas planícies fluviais, região de intensa ocupação humana, as principais cidades da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, interliga as duas principais metrópoles brasileiras - São Paulo e Rio de Janeiro. Os remanescentes estão, portanto, sujeitos a maiores degradações caso não seja considerada uma política de proteção legal em curto prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÑON, G.P.C., et al. Análise da Cobertura por Savana Florestada no Vale do Paraíba Paulista nos anos de 1989 e 2019. In: XXIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XIX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e IX Encontro de Iniciação à Docência. São Paulo: Universidade do Vale do Paraíba, 2019.

COUTINHO, L.M. Revista Brasil Botânica. O Conceito de Cerrado. v.1. p. 17-23. São Paulo. 1978.

COUTINHO L. Aspectos Ecológicos do Fogo no Cerrado: As queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarborescente. Boletim De Botânica, v. 5, p. 57-63, 1997.

DEVIDE, A.C.P. História ambiental do vale do Paraíba. f. 23. Trabalho final de pós-graduação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, 2013.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J.A. The Vegetation of Priority Areas for Cerrado Conservation in São Paulo State, Brazil. Edinburgh Journal of Botany, v. 60, p.217–241, 2003.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. Scientia Agricola, v.64, p. 355-363, 2007.

DURIGAN, G.; MELO, A.C.G.; MAX, J.C.M.; BOAS, O.V.; CONTIERI, W.A.; RAMOS, V.S. Manual para recuperação da vegetação de Cerrado. 3º ed. Assis: Viviane Soares Ramos, 2011. p. 26.

EITEN, G. The Cerrado Vegetation of Brazil. The Botanical Review. v. 38, n. 2, p. 201 – 341. Jun 1972.

GIBBS, P.E.; LEITÃO-FILHO, H.F.; SHEPERD, G.J. 1983. Floristic composition and community structure in an area of cerrado in SE Brazil. Flora 173:433-449.

GUIMARÃES, R.M.M. Avaliação da configuração original, da situação atual, determinação das áreas prioritárias, e medidas de preservação e recuperação dos remanescentes de Cerrado e contato Cerrado/Mata Atlântica no município de Tremembé – SP. 2017. Relatório de Trabalho final de Graduação, Universidade de Taubaté, Taubaté.

JUNIOR, W.R. Avaliação da configuração original e da situação atual dos remanescentes de Cerrado no município de Caçapava - SP. Trabalho final de Graduação, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2015.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado Brasileiro. Megadiversidade. v.1. n.148 - 155. Julho, 2005.

KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K.; PAVÃO, M.; GUILLAUMON, J.R.; CAVALLI, A.C.; GIANNOTTI, E.; IWANE, M.S.S.; LIMA, L.M.P.R.; MONTES, J.; DEL-CALI, I.H.; HAACK, P.G. Áreas de domínio de cerrado no Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Florestal: São Paulo. 1998.

KRONKA, F. J. N., et Al. Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo: Regiões Administrativas de São José dos Campos (Litoral), Baixada Santista e Registro. Instituto Florestal – Secretaria do Meio Ambiente. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2011.

LINDOSO, G.S; FELFILI, J.M. 2007. Características florísticas e estruturais de cerrado sensu stricto em Neossolo Quartzarênico. Revista Brasileira de Biociências 5:102-104.

MANTOVANI, W.; MARTINS, F.R. Florística do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, SP. Acta Botanica Brasilica, v.7, p.33-60, 1993.

MATSUMOTO, M.; BITTENCOURT, M. Correlação entre algumas fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e classes de índices de vegetação obtidos espectralmente. Research Gate. p. 1665-1672, Abr 2001.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília, 2012.

MORAES, E.C. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2002.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature. v. 403, n. 6772, p. 853–858. Fev 2000.

NOVO CÓDIGO FLORESTAL. Lei 12651/2012. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>

NUNES, E.S.; SOUZA, L.O. Seleção de áreas prioritárias para preservação e recuperação do Cerrado no município de São José dos Campos – SP. 2016. Trabalho final de Graduação, Universidade de Taubaté, Taubaté.

OLIVEIRA, D.A.; PIENTRAFESA, J.P.; BARBALHO, M.G.S. Manutenção da biodiversidade e o hotspots Cerrado. *Caminhos de Geografia*. v.9, n.26, p. 101-114. Jun 2008

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. 1997. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany* 80:223-230.

RIBEIRO, J., WALTER, B. Cerrado: Ecologia e Flora. *As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado*. p. 153-212. 2008.

ROCHA, G. Avaliação da configuração original e da situação atual dos remanescentes de Cerrado no município de Taubaté – SP. 2017. Relatório de trabalho final de Graduação, Universidade de Taubaté, Taubaté.

SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I.; EITEN, G. 1983. Fitossociologia de um hectare de cerrado. *Brasil Florestal* 54:55 70.

WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. f. 389. Tese em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, Mar 2006.