

Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE *Leucaena leucocephala* E DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DA ASSISTÊNCIA, BACIA DO RIO CORUMBATAÍ (SP).

Isabela Martins Miotto

Orientadora: Profa Dra. Lucilia Do Carmo Giordano

Rio Claro (SP)

2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CÂMPUS DE RIO CLARO

ISABELA MARTINS MIOTTO

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE *Leucaena leucocephala* E DAS CLASSES DE USO E
COBERTURA DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO NA SUB-BACIA
DO CÓRREGO DA ASSISTÊNCIA, BACIA DO RIO CORUMBATAÍ (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus
de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Lucilia do Carmo Giordano

Rio Claro - SP

2026

M386a

Martins Miotto, Isabela

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE *Leucaena leucocephala* E DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DA ASSISTÊNCIA, BACIA DO RIO CORUMBATAÍ (SP). / Isabela Martins Miotto. -- Rio Claro, 2026

51 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Lucília Do Carmo Giordano

1. *Leucaena leucocephala*. 2. Espécies exóticas invasoras. 3. Uso e cobertura do solo. 4. Geoprocessamento. 5. Sensoriamento remoto. I. Título.

ISABELA MARTINS MIOTTO

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE *Leucaena leucocephala* E DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DA ASSISTÊNCIA, BACIA DO RIO CORUMBATAÍ (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

LUCILIA DO CARMO GIORDANO (ORIENTADORA)

MARIA LUÍSA NERYS DE MORAES CARNEIRO

ADEMIR ABDALA PRATA JUNIOR

RIO CLARO, 23 DE JUNHO DE 2026

Documento assinado digitalmente
 ISABELA MARTINS MIOTTO
Data: 01/07/2026 20:52:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ASSINATURA DO(A) ALUNO(A)

Documento assinado digitalmente
 LUCILIA DO CARMO GIORDANO
Data: 01/07/2026 20:33:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
ao meu irmão, aos meus avós e ao meu tio,
que, mesmo sob muito sol, permitiram
que eu caminhasse pela sombra.*

*A vocês, minha base, minha força e
parte essencial de todos os meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui nunca foi algo óbvio para mim. Por muito tempo, eu não conseguia me imaginar vivendo este momento, muito menos concluindo uma graduação longe de casa, em uma cidade diferente, depois de tantos medos, mudanças e fases difíceis. Por isso, este trabalho não representa apenas o fim de uma etapa acadêmica, mas também tudo o que precisei enfrentar para permanecer.

Agradeço, antes de tudo, à minha mãe, que foi meu apoio em todos os momentos, mesmo de longe. Foi para ela que liguei chorando quando pensei em desistir, foi para ela que mandei mensagens quando o medo parecia maior do que eu, e foi dela que ouvi, tantas vezes, que eu deveria me colocar nas mãos de Deus. Sua fé me sustentou quando a minha faltou. Sei que cada oração, cada terço e cada cuidado silencioso também me trouxeram até aqui. Muito do que conquisto hoje carrega o amor e a força dela.

Ao meu pai, que, com seu jeito mais fechado e durão, também esteve presente do seu modo. Talvez nem sempre com muitas palavras, mas com apoio, confiança e presença. Agradeço por ter permitido que eu saísse de casa para viver esse sonho, mesmo sabendo o quanto isso mudaria a nossa rotina e exigiria coragem de todos nós.

Aos meus avós, que no começo sentiram medo da minha partida, mas mesmo assim me apoiaram com o coração apertado. Sei que não foi fácil me ver sair do sítio, deixar a nossa convivência diária e ir morar longe. Mas foi também pensando em vocês, na nossa casa, nas nossas raízes e em tudo o que representam para mim, que encontrei forças para continuar.

Ao meu tio, meu maior xodó, agradeço por todas as lembranças que carrego desde pequena. Para onde eu queria ir, ele sempre me levava. Me carregava nas costas, me levava para a cidade, me colocava junto em seus caminhos e fez de mim seu chavinho. Talvez ele nem imagine o tamanho disso, mas esse cuidado simples marcou a minha vida inteira. Seu amor e sua presença sempre foram um lugar seguro para mim.

Ao meu irmão, agradeço por ser uma das razões pelas quais eu sempre quis continuar. Muitas vezes pensei nele quando precisei ser forte. Sempre quis ser exemplo, apoio e alguém que pudesse abrir caminhos para que a vida dele fosse um pouco mais leve. Se eu chego até aqui, também é porque quis mostrar que é possível ir além, mesmo vindo de onde viemos, sem nunca esquecer as nossas origens.

Durante a adolescência, passei por momentos muito difíceis. Houve uma fase em que eu realmente não conseguia me imaginar depois dos vinte anos. Por isso, estar aqui hoje, concluindo este trabalho, ainda parece algo grande demais para colocar em palavras. A

Isabela pequena jamais imaginaria chegar até aqui. Jamais imaginaria morar fora, fazer faculdade, construir amizades tão bonitas, viver em república, se desafiar tanto e, apesar de tudo, permanecer.

À minha terapeuta, Dra. Viviane, deixo minha gratidão mais sincera. Ela foi uma parte essencial da minha vida antes e no início da graduação, quando eu ainda estava tentando prestar vestibular, fazer cursinho e acreditar minimamente em mim. Hoje não faço mais terapia, mas levo comigo muito do que ela me ensinou. Suas palavras ficaram guardadas no meu coração e continuam sendo lições que carrego para a vida.

À família que construí morando em república, agradeço por terem tornado essa caminhada mais leve, intensa e cheia de vida. Eu, que sempre fui mais fechada, cheia de medos e inseguranças, encontrei pessoas que me acolheram do meu jeito e fizeram parte de uma das fases mais marcantes da minha história. À Minnie, Tandy, Chacha, Barca, Meta, Madre, Fiel, Ligeira, Asilo e Anda, obrigada pelas risadas, pelas preocupações divididas, pelos dias bons, pelos dias difíceis e por todas as lembranças que vou guardar com carinho.

À Isadora, em especial, agradeço por ter sido muito mais do que uma colega de república. A nossa amizade começou de um jeito inesperado, em uma festa, e acabou se tornando uma das relações mais importantes que construí durante a graduação. Dividimos casa, quarto, rotina, medos, crises, risadas e fases de altos e baixos. Mesmo depois da minha saída da república, nossa amizade continuou próxima, firme e verdadeira. Obrigada por ter sido apoio, companhia e presença em tantos momentos. Você é uma amizade que levo para muito além da faculdade.

Ao meu namorado, agradeço por ter se tornado uma das presenças mais bonitas e importantes da minha graduação. Entramos na mesma turma, no mesmo ano, mas foi apenas na reta final do curso que nossos caminhos se aproximaram de verdade. Antes de qualquer coisa, construímos uma amizade sincera, sem pressa e sem intenção, marcada por respeito, cuidado e carinho. Em uma fase difícil da minha vida, sua preocupação e sua forma leve de estar por perto me fizeram sentir acolhida.

Depois, com o tempo, essa amizade ganhou outro significado, e desde então seguimos juntos, dividindo altos e baixos, sonhos, medos e conquistas. Obrigada por me mostrar, com atitudes simples, o que é ser amada com cuidado, respeito e verdade. Sua presença tornou essa reta final mais leve e me lembrou que eu também mereço um amor tranquilo, bonito e inteiro. Ter você ao meu lado neste fim de ciclo foi um dos presentes mais especiais que a graduação me trouxe.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, caminharam comigo, torceram por mim, me acolheram ou me lembraram de continuar. Esta conquista tem meu nome, mas carrega um pouco de cada pessoa que me ajudou a chegar até aqui.

RESUMO

A presença de espécies exóticas invasoras em áreas degradadas representa um desafio para a conservação da vegetação nativa e para os processos de recuperação ambiental. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a ocorrência de *Leucaena leucocephala* e as classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia do Córrego da Assistência, inserida na bacia do rio Corumbataí (SP), com ênfase em áreas historicamente influenciadas pela atividade minerária. Para isso, foi realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo por meio da interpretação visual de imagens de alta resolução e vetorização manual em ambiente SIG utilizando o software ArcGIS Pro. As classes identificadas foram quantificadas e analisadas espacialmente, com destaque para as áreas ocupadas por *Leucaena leucocephala*. Também foram realizadas visitas de campo para verificação qualitativa da ocorrência da espécie por meio de registros fotográficos georreferenciados. Os resultados indicaram predominância de áreas agrícolas (38,90%), seguidas por pastagem e campo sujo (17,22%) e solo exposto ou área agrícola colhida (13,91%), evidenciando o forte grau de ocupação antrópica da paisagem. A espécie *Leucaena leucocephala* ocupou 213,95 hectares, correspondendo a 4,50% da área total mapeada, apresentando distribuição concentrada principalmente em áreas degradadas, setores anteriormente utilizados para mineração e ambientes sujeitos a perturbações antrópicas. Os registros de campo confirmaram a ocorrência da espécie nos pontos previamente identificados durante o mapeamento. Conclui-se que a distribuição de *Leucaena leucocephala* está associada a ambientes alterados e que o uso integrado de técnicas de geoprocessamento e observações de campo mostrou-se adequado para o levantamento e análise de sua ocorrência, fornecendo informações que podem subsidiar ações de monitoramento e manejo da espécie na região estudada.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Geoprocessamento. Espécie exótica invasora. Uso e cobertura do solo. *Leucaena leucocephala*.

ABSTRACT

The presence of invasive alien species in degraded areas represents a challenge for native vegetation conservation and ecological restoration processes. In this context, the present study aimed to analyze the occurrence of *Leucaena leucocephala* and the land use and land cover classes within the Assistência Stream sub-basin, located in the Corumbataí River Basin (São Paulo State, Brazil), with emphasis on areas historically affected by mining activities. Land use and land cover mapping was performed through visual interpretation of high-resolution satellite imagery and manual vectorization in a Geographic Information System (GIS) environment using ArcGIS Pro software. The identified classes were quantified and spatially analyzed, with particular attention to areas occupied by *Leucaena leucocephala*. Field surveys were also conducted to qualitatively verify the occurrence of the species through georeferenced photographic records. The results indicated a predominance of agricultural areas (38.90%), followed by pasture and abandoned grassland (17.22%) and exposed soil or recently harvested agricultural areas (13.91%), highlighting the strong anthropogenic influence on the landscape. *Leucaena leucocephala* occupied 213.95 hectares, corresponding to 4.50% of the total mapped area, and was mainly distributed in degraded areas, former mining sites, and environments subjected to anthropogenic disturbances. Field observations confirmed the occurrence of the species in locations previously identified during the mapping process. It is concluded that the distribution of *Leucaena leucocephala* is associated with disturbed environments and that the integration of geoprocessing techniques and field observations proved to be an effective approach for surveying and analyzing its occurrence, providing information that may support future monitoring and management actions in the study area.

Keywords: *Leucaena leucocephala*. Invasive species. Remote sensing. Geoprocessing. Degraded areas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVO GERAL.....	14
2.1 Objetivos específicos:.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Sensoriamento remoto aplicado à vegetação.....	15
3.2 Resposta espectral da vegetação.....	17
3.3 Métodos de identificação de espécies por sensoriamento remoto.....	19
3.4 Imagens de satélite aplicadas ao mapeamento do uso e cobertura do solo.....	20
3.5 Fotointerpretação e vetorização manual em ambiente SIG.....	22
3.6 Uso e cobertura do solo em áreas degradadas por mineração.....	24
3.7 Aplicações do sensoriamento remoto no estudo de espécies invasoras.....	26
3.8 Limitações, desafios e lacunas na identificação de espécies vegetais.....	27
4. METODOLOGIA.....	29
4.1 Área de estudo.....	29
4.2 Base de dados e materiais utilizados.....	30
4.3 Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo.....	31
4.4 Identificação e mapeamento de <i>Leucaena leucocephala</i>	33
4.5 Quantificação e análise espacial dos dados.....	34
4.6 Verificação de campo.....	35
4.7 Elaboração dos produtos cartográficos.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Caracterização espacial da área de estudo.....	36
5.2 Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Córrego da Assistência.....	38
5.3 Quantificação das classes de uso e cobertura do solo.....	40
5.4 Distribuição espacial de <i>Leucaena leucocephala</i>	43
5.5 Relação entre a ocorrência de <i>Leucaena leucocephala</i> e as classes de uso e cobertura do solo.....	47
6. CONCLUSÃO.....	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

A alteração da cobertura vegetal em áreas submetidas a atividades antrópicas intensas representa um dos principais fatores associados à perda de qualidade ambiental e à redução da diversidade ecológica. Entre essas atividades, a mineração se destaca por modificar a estrutura física do terreno, remover a vegetação original, alterar as propriedades do solo e favorecer a formação de ambientes instáveis, nos quais a regeneração natural tende a ocorrer de forma lenta e desigual (NORONHA, 1999; SILVA, 2010). Em áreas mineradas, a recomposição da cobertura vegetal torna-se uma etapa importante para a recuperação ambiental, porém a escolha inadequada de espécies pode gerar novos desequilíbrios ecológicos.

Nesse contexto, espécies exóticas utilizadas em programas de revegetação podem assumir comportamento invasor quando encontram condições favoráveis de estabelecimento e expansão. A presença dessas espécies em ambientes degradados pode comprometer a sucessão ecológica, reduzir a diversidade de espécies nativas e alterar a estrutura das comunidades vegetais. Esse processo é especialmente preocupante em áreas fragilizadas, onde a vegetação nativa já se encontra reduzida ou fragmentada, tornando o ambiente mais suscetível à ocupação por espécies oportunistas (VITOUSEK *et al.*, 1997; ZENNI; ZILLER, 2011).

A *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. é uma leguminosa arbórea que foi amplamente introduzida em regiões tropicais devido ao seu rápido crescimento, capacidade de fixação biológica de nitrogênio e adaptação a diferentes condições ambientais. Por essas características, foi utilizada em práticas de recuperação de solos degradados e revegetação de áreas impactadas. Entretanto, apesar de seus atributos agronômicos, a espécie apresenta comportamento invasor em diversos contextos, formando agrupamentos densos e homogêneos que dificultam o estabelecimento de espécies nativas e podem alterar a dinâmica da vegetação local (LEÃO *et al.*, 2011; MARTELLI, 2022; PINI, 2024).

Além da competição por luz, espaço e nutrientes, a *Leucaena leucocephala* também pode interferir no desenvolvimento de outras plantas por meio de efeitos alelopáticos. Estudos indicam que compostos liberados por folhas e frutos da espécie podem afetar a germinação e o crescimento inicial de outras espécies vegetais, contribuindo para sua permanência e dominância em áreas invadidas (SCHERER *et al.*, 2005). Dessa forma, sua ocorrência em

áreas de recuperação ambiental deve ser analisada com cautela, principalmente quando associada a ambientes degradados e com baixa diversidade vegetal.

Na bacia do rio Corumbataí, localizada no estado de São Paulo, a região do distrito de Assistência, em Rio Claro, apresenta histórico de exploração de argila vinculada à Formação Corumbataí. Essa condição resultou na presença de áreas degradadas, taludes expostos, cavas e diferentes estágios de recomposição da cobertura vegetal. Nesse cenário, a ocorrência de *Leucaena leucocephala* torna-se relevante, pois a espécie foi observada em áreas anteriormente impactadas pela mineração e em porções próximas a fragmentos florestais, áreas agrícolas, matas ciliares e zonas de transição.

As características edáficas da região também contribuem para a compreensão da dinâmica da vegetação. Os solos e materiais associados à Formação Corumbataí apresentam composição mineralógica marcada pela presença de argilominerais, como caulinita, illita e montmorilonita, além de quartzo, feldspatos e óxidos de ferro (NORONHA, 1999; CAETANO, 2015; PEREIRA *et al.*, 2020). Esses componentes influenciam propriedades como retenção de umidade, disponibilidade de nutrientes e capacidade de troca catiônica, fatores que podem favorecer o estabelecimento de espécies com elevada capacidade adaptativa em áreas alteradas.

A compreensão da distribuição espacial da *Leucaena leucocephala* exige, portanto, uma análise integrada do uso e cobertura do solo. O mapeamento das classes presentes na paisagem permite identificar a relação da espécie com áreas agrícolas, fragmentos florestais, matas ciliares, solos expostos e áreas degradadas, contribuindo para interpretar os padrões de ocupação da sub-bacia. Essa abordagem é importante porque a presença da espécie não ocorre de forma isolada, mas em associação com diferentes usos do território e com o histórico de perturbação da área.

O sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) oferecem ferramentas adequadas para esse tipo de análise, uma vez que permitem observar a organização espacial da paisagem, delimitar classes de uso e cobertura do solo e quantificar áreas ocupadas por cada classe. A interpretação visual de imagens de satélite, associada à vetorização manual em ambiente SIG, ainda constitui uma abordagem útil em estudos locais, principalmente quando o pesquisador possui conhecimento prévio da área e utiliza critérios

como tonalidade, textura, forma, homogeneidade e contexto espacial para diferenciar os alvos mapeados (JENSEN, 2007; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

Embora métodos automatizados de classificação sejam amplamente utilizados em estudos de sensoriamento remoto, a classificação manual por interpretação visual apresenta relevância em áreas pequenas ou heterogêneas, nas quais a distinção entre classes depende de análise detalhada do contexto espacial. No caso da *Leucaena leucocephala*, a formação de maciços homogêneos, a textura relativamente uniforme e o padrão de ocorrência em áreas alteradas auxiliam sua identificação em imagens de alta resolução espacial. Ainda assim, a interpretação cartográfica demanda verificação complementar, especialmente em campo, para aumentar a confiabilidade das classes delimitadas.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a ocorrência de *Leucaena leucocephala* e as classes de uso e cobertura do solo em área degradada por mineração na sub-bacia do Córrego da Assistência, inserida na bacia do rio Corumbataí (SP). Para isso, foi elaborado um mapeamento por interpretação visual e vetorização manual de polígonos, com apoio de registros de campo para confirmação qualitativa da ocorrência da espécie. A análise busca contribuir para a compreensão da distribuição da *Leucaena leucocephala* na paisagem local e fornecer subsídios para discussões sobre manejo, recuperação ambiental e controle de espécies invasoras em áreas mineradas.

2. OBJETIVO GERAL

Analisar a ocorrência de *Leucaena leucocephala* e as classes de uso e cobertura do solo em área degradada por mineração na sub-bacia do Córrego da Assistência, bacia do rio Corumbataí (SP), por meio de mapeamento e interpretação espacial.

2.1 Objetivos específicos:

- Delimitar a área de estudo correspondente à sub-bacia do Córrego da Assistência;
- Elaborar o mapa de uso e cobertura do solo por meio da interpretação visual de imagens de satélite e vetorização manual em ambiente SIG;
- Identificar e mapear áreas com ocorrência de *Leucaena leucocephala* na sub-bacia estudada;

- Quantificar a área ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo;
- Analisar a distribuição espacial da *Leucaena leucocephala* em relação às demais classes mapeadas;
- Verificar em campo pontos previamente identificados como ocorrência da espécie, utilizando registros fotográficos como apoio à interpretação cartográfica;
- Discutir a ocorrência da espécie em áreas degradadas por mineração e suas possíveis implicações para a dinâmica da vegetação local.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sensoriamento remoto aplicado à vegetação

O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta amplamente utilizada na análise ambiental, permitindo a obtenção de informações sobre a superfície terrestre de forma indireta, por meio do registro da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos (JENSEN, 2007; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015). No contexto dos estudos de vegetação, essa abordagem tem se mostrado especialmente relevante, pois possibilita o monitoramento contínuo da cobertura vegetal em diferentes escalas espaciais e temporais, contribuindo para a compreensão de padrões ecológicos, processos de degradação e dinâmicas de ocupação do solo.

A aplicação do sensoriamento remoto na análise da vegetação está fundamentada na interação entre a radiação eletromagnética e os componentes biofísicos das plantas, como folhas, ramos e estruturas do dossel. Essa interação resulta em respostas espectrais específicas, que variam de acordo com fatores como o conteúdo de pigmentos, a estrutura interna das folhas e o estado fisiológico da vegetação. De modo geral, a vegetação apresenta alta absorção da radiação na região do vermelho, associada à atividade fotossintética, e elevada reflectância no infravermelho próximo, relacionada à organização celular do mesófilo foliar, o que permite sua distinção em relação a outros alvos da superfície terrestre, conforme descrito por Asner (1998) e Gitelson e Merzlyak (1997).

Além dessas regiões espectrais, a faixa conhecida como red-edge tem ganhado destaque em estudos mais recentes, por sua sensibilidade a variações no conteúdo de clorofila e à condição fisiológica das plantas. Essa característica torna essa região particularmente útil

em análises que buscam discriminar diferentes tipos de vegetação ou identificar alterações sutis no estado de vigor vegetal, contribuindo para o avanço das técnicas de monitoramento ambiental (USTIN et al., 2009).

Outro aspecto relevante diz respeito à influência da resolução dos sensores na qualidade das informações obtidas. Sensores orbitais permitem o monitoramento de grandes áreas com alta frequência de revisita, sendo adequados para análises regionais e multitemporais (CAMPBELL; WYNNE, 2011). No entanto, a resolução espacial desses sensores pode limitar a identificação de alvos específicos, uma vez que um único pixel pode conter diferentes elementos, resultando no fenômeno conhecido como mistura espectral, que dificulta a separação de espécies vegetais em ambientes heterogêneos (RICHARDS, 2013).

A variabilidade temporal da vegetação também exerce influência significativa na resposta espectral registrada pelos sensores. Alterações fenológicas, como crescimento, floração e senescência, podem modificar os padrões de reflectância ao longo do tempo, tornando a análise multitemporal uma estratégia importante para a identificação de padrões mais consistentes. Nesse contexto, o uso de séries temporais de imagens permite capturar essas variações e reduzir ambiguidades na classificação da vegetação (VERRELST et al., 2020).

Além dos fatores intrínsecos à vegetação, elementos externos como o tipo de solo, a umidade, a presença de sombras e as condições atmosféricas também podem interferir na resposta espectral observada. Em áreas degradadas, como aquelas submetidas à atividade mineradora, a influência do substrato torna-se ainda mais relevante, podendo alterar significativamente os valores de reflectância e dificultar a distinção entre diferentes tipos de cobertura vegetal.

Diante dessas limitações, o avanço tecnológico dos sensores e o desenvolvimento de técnicas de processamento de imagens têm ampliado as possibilidades de análise. A incorporação de bandas espectrais adicionais, o aumento da resolução espacial e o uso de métodos baseados em aprendizado de máquina têm contribuído para aprimorar a capacidade de discriminação da vegetação (BELGIU; DRĂGUȚ, 2016). Nesse contexto, a escolha adequada das fontes de dados e das metodologias torna-se um fator determinante para o sucesso das análises, especialmente em estudos que visam a identificação de espécies específicas.

Assim, o sensoriamento remoto se consolida como uma ferramenta essencial para estudos ambientais, permitindo não apenas o monitoramento da vegetação em larga escala,

mas também a análise de padrões espaciais e temporais que subsidiam a tomada de decisão. Sua aplicação torna-se ainda mais relevante quando associada a outras abordagens, como o uso de dados de alta resolução obtidos por drones, ampliando as possibilidades de investigação em diferentes níveis de detalhe.

3.2 Resposta espectral da vegetação

A resposta espectral da vegetação corresponde ao comportamento da radiação eletromagnética ao interagir com os tecidos vegetais, sendo um dos principais fundamentos para a aplicação do sensoriamento remoto em estudos ambientais. Essa resposta resulta de processos de absorção, reflexão e transmissão da radiação, que variam conforme as propriedades bioquímicas e estruturais das plantas, permitindo a identificação de padrões característicos associados à cobertura vegetal (JENSEN, 2007; CAMPBELL; WYNNE, 2011).

Na região do espectro visível, especialmente nas faixas do azul (aproximadamente 450 nm) e do vermelho (cerca de 670 nm), ocorre intensa absorção da radiação pela clorofila, pigmento responsável pela fotossíntese. Em contrapartida, a região do verde (em torno de 550 nm) apresenta maior reflectância, o que confere às plantas sua coloração característica. Esse comportamento espectral é amplamente explorado na diferenciação entre vegetação e outros alvos da superfície terrestre (GITELSON; MERZLYAK, 1997).

Já no infravermelho próximo (NIR), observa-se um aumento significativo da reflectância, associado principalmente à estrutura interna das folhas, em especial ao mesófilo esponjoso. Essa região é menos influenciada pela composição química e mais relacionada à organização física das células vegetais, sendo, portanto, um importante indicador da biomassa e da integridade estrutural da vegetação (ASNER, 1998). Dessa forma, a combinação entre a baixa reflectância no vermelho e a alta reflectância no NIR constitui uma das principais bases para a identificação de áreas vegetadas por meio de sensores remotos.

Entre essas duas regiões, destaca-se a faixa do red-edge, situada aproximadamente entre 680 e 750 nm, caracterizada por uma transição abrupta entre a absorção no vermelho e a alta reflectância no infravermelho próximo. Essa região tem se mostrado particularmente sensível a variações no teor de clorofila e ao estado fisiológico das plantas, permitindo detectar mudanças sutis no vigor vegetal antes mesmo de serem visualmente perceptíveis (USTIN et al., 2009). Por essa razão, o red-edge tem sido amplamente utilizado em estudos

que buscam maior detalhamento na análise da vegetação, incluindo a diferenciação entre espécies.

Apesar dessas características, a resposta espectral da vegetação não é estática, sendo influenciada por diversos fatores ambientais e estruturais. Condições como disponibilidade hídrica, tipo de solo, densidade do dossel, presença de sombras e estágio fenológico podem alterar significativamente os padrões de reflectância observados. Em áreas degradadas ou com cobertura vegetal heterogênea, essas variações tornam-se ainda mais evidentes, dificultando a interpretação direta dos dados espectrais (RICHARDS, 2013).

Outro fator importante é a chamada mistura espectral, que ocorre quando um mesmo pixel contém diferentes elementos, como solo exposto, vegetação e resíduos orgânicos. Esse fenômeno é especialmente comum em imagens de média resolução espacial e pode comprometer a identificação precisa de espécies vegetais, uma vez que o sinal registrado representa uma média das respostas espectrais presentes naquele pixel. Dessa forma, a resolução do sensor torna-se um fator determinante na qualidade da análise (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

Diante dessas limitações, diferentes estratégias têm sido adotadas para melhorar a interpretação da resposta espectral da vegetação. O uso de índices espectrais, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), constitui uma abordagem amplamente difundida, permitindo realçar a presença e o vigor da vegetação a partir da relação entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Além disso, índices que incorporam bandas do red-edge têm sido desenvolvidos com o objetivo de aumentar a sensibilidade à variação de pigmentos e ao estresse vegetal, ampliando as possibilidades de análise em estudos mais detalhados (GITELSON, 2011).

Nesse contexto, a compreensão da resposta espectral da vegetação é fundamental para a seleção adequada das bandas e dos índices utilizados nas análises, bem como para a interpretação dos resultados obtidos. Esse entendimento torna-se ainda mais relevante em estudos que envolvem a identificação de espécies específicas, como no caso de espécies invasoras, nas quais pequenas diferenças espectrais podem ser determinantes para a distinção entre classes. Assim, o domínio desses princípios constitui uma etapa essencial para o desenvolvimento de metodologias mais robustas e confiáveis no uso do sensoriamento remoto aplicado à vegetação.

3.3 Métodos de identificação de espécies por sensoriamento remoto

A identificação da vegetação por meio do sensoriamento remoto pode ser realizada por diferentes abordagens, variando desde técnicas automatizadas de classificação até métodos baseados na interpretação visual das imagens. A escolha do método depende de fatores como escala de trabalho, disponibilidade de dados, características da área de estudo e objetivos da pesquisa (JENSEN, 2007).

Entre os métodos mais utilizados estão as classificações supervisionadas e não supervisionadas, que empregam algoritmos capazes de agrupar pixels com características espectrais semelhantes. Essas abordagens são amplamente aplicadas em estudos regionais e em áreas extensas, permitindo a classificação automática de grandes volumes de dados. Nos últimos anos, técnicas baseadas em aprendizado de máquina e inteligência artificial também passaram a ser incorporadas aos estudos de sensoriamento remoto, ampliando a capacidade de processamento e análise das imagens (BELGIU; DRĂGUȚ, 2016; ZHANG; ZHANG, 2020).

Apesar dos avanços obtidos com métodos automatizados, a interpretação visual continua desempenhando papel relevante em estudos ambientais, especialmente quando o objetivo envolve a identificação de alvos específicos ou a análise detalhada de áreas relativamente pequenas. Nessa abordagem, o pesquisador interpreta as imagens considerando características como tonalidade, cor, textura, forma, padrão, tamanho e contexto espacial dos elementos presentes na paisagem (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

A fotointerpretação baseia-se justamente na análise integrada desses elementos, permitindo diferenciar classes de uso e cobertura do solo mesmo quando apresentam respostas espectrais semelhantes. Em muitos casos, a experiência do intérprete e o conhecimento prévio da área estudada tornam-se fatores importantes para aumentar a confiabilidade da classificação, principalmente em ambientes heterogêneos ou sujeitos a diferentes formas de ocupação antrópica (JENSEN, 2007).

Em estudos voltados à vegetação, a interpretação visual possibilita reconhecer padrões associados à distribuição das espécies, à estrutura da cobertura vegetal e às condições do ambiente. A presença de agrupamentos homogêneos, diferenças de textura e variações na densidade do dossel podem fornecer informações relevantes para a identificação de

determinadas formações vegetais. Dessa forma, a análise não se restringe à resposta espectral dos pixels, incorporando também aspectos espaciais observados diretamente na imagem.

A vetorização manual constitui uma etapa complementar à fotointerpretação, permitindo a delimitação de polígonos representativos das classes identificadas. Esse procedimento é amplamente empregado em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), possibilitando a quantificação das áreas mapeadas e a elaboração de produtos cartográficos destinados à análise ambiental. Embora demande maior tempo de execução quando comparado aos métodos automatizados, a vetorização manual oferece maior controle sobre a delimitação das feições e pode produzir resultados consistentes em estudos locais (FITZ, 2008).

No caso da identificação de espécies vegetais com comportamento invasor, a interpretação visual pode representar uma alternativa eficiente quando a espécie apresenta características facilmente reconhecíveis na paisagem. Agrupamentos homogêneos, elevada densidade de indivíduos e ocupação preferencial de determinados ambientes são aspectos que auxiliam sua diferenciação em relação às demais classes de cobertura vegetal. Entretanto, a confiabilidade da interpretação tende a aumentar quando associada a observações de campo, permitindo confrontar os padrões observados nas imagens com as condições reais da área estudada (BRADLEY, 2014; CAVENDER-BARES et al., 2020).

Assim, a combinação entre fotointerpretação, vetorização manual e verificação em campo constitui uma abordagem capaz de fornecer informações relevantes sobre a distribuição da vegetação, contribuindo para estudos de uso e cobertura do solo, monitoramento ambiental e análise da ocorrência de espécies invasoras.

3.4 Imagens de satélite aplicadas ao mapeamento do uso e cobertura do solo

O mapeamento do uso e cobertura do solo constitui uma das aplicações mais consolidadas do sensoriamento remoto, sendo amplamente utilizado para compreender a organização da paisagem, monitorar alterações ambientais e subsidiar ações de planejamento e gestão territorial. A obtenção de informações espaciais por meio de imagens de satélite permite analisar grandes áreas de forma sistemática, favorecendo a identificação de diferentes formas de ocupação do território e suas transformações ao longo do tempo (JENSEN, 2007; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

O conceito de uso do solo está relacionado às atividades desenvolvidas pelo ser humano sobre a superfície terrestre, como agricultura, urbanização, mineração e pecuária. Já a cobertura do solo refere-se aos elementos físicos que recobrem a superfície, incluindo formações florestais, corpos d'água, áreas vegetadas, solo exposto e demais componentes da paisagem (IBGE, 2013). Embora distintos, ambos os conceitos são frequentemente analisados de forma integrada em estudos ambientais, uma vez que refletem diretamente a interação entre os processos naturais e as atividades antrópicas.

A utilização de imagens de satélite para o mapeamento dessas classes possibilita a identificação de padrões espaciais associados às diferentes formas de ocupação da paisagem. Elementos como tonalidade, textura, forma, dimensão e contexto espacial permitem distinguir classes que apresentam características visuais distintas, contribuindo para a elaboração de mapas temáticos voltados à análise ambiental (FLORENZANO, 2011).

Em áreas com elevada heterogeneidade ambiental, a interpretação visual das imagens pode representar uma alternativa eficiente para a delimitação das classes de uso e cobertura do solo. Diferentemente dos métodos automatizados, que se baseiam predominantemente na resposta espectral dos pixels, a interpretação visual incorpora informações relacionadas ao arranjo espacial dos elementos presentes na paisagem, permitindo uma análise mais detalhada das feições observadas (JENSEN, 2007).

Essa abordagem apresenta especial relevância em estudos locais ou em áreas que passaram por intensas transformações ambientais. Ambientes submetidos à mineração, por exemplo, frequentemente apresentam mosaicos complexos formados por áreas degradadas, vegetação em regeneração, corpos hídricos artificiais, solos expostos e diferentes usos antrópicos. Nessas condições, a análise integrada dos elementos visuais da imagem contribui para uma representação mais consistente da realidade observada em campo (FLORENZANO, 2011).

Além da caracterização da paisagem, os mapas de uso e cobertura do solo permitem quantificar a extensão ocupada por cada classe, identificar padrões de distribuição espacial e avaliar possíveis relações entre os diferentes componentes ambientais. Essas informações são amplamente utilizadas em estudos voltados à conservação ambiental, recuperação de áreas degradadas, monitoramento da vegetação e análise de processos de ocupação territorial (IBGE, 2013).

No contexto da ocorrência de espécies invasoras, o mapeamento do uso e cobertura do solo também fornece informações importantes para compreender a distribuição dessas espécies na paisagem. A identificação das classes presentes no entorno das áreas ocupadas possibilita avaliar padrões de associação com determinados ambientes, contribuindo para interpretações relacionadas ao processo de dispersão e estabelecimento das populações vegetais (BRADLEY, 2014; CAVENDER-BARES et al., 2020).

Dessa forma, o uso de imagens de satélite associado à interpretação visual constitui uma ferramenta relevante para estudos ambientais em escala local, permitindo representar espacialmente a paisagem e compreender a relação entre os diferentes elementos que compõem o ambiente analisado (JENSEN, 2007; FLORENZANO, 2011).

3.5 Fotointerpretação e vetorização manual em ambiente SIG

A fotointerpretação consiste na identificação e análise de elementos presentes em imagens por meio da observação de características visuais, permitindo reconhecer diferentes alvos da superfície terrestre e suas relações espaciais. Mesmo com os avanços dos métodos automatizados de classificação, a interpretação visual permanece amplamente utilizada em estudos ambientais, especialmente em áreas de menor extensão ou que apresentam elevada heterogeneidade de usos e coberturas do solo (FLORENZANO, 2011).

A interpretação visual baseia-se na análise conjunta de atributos como cor, tonalidade, textura, forma, padrão, tamanho e contexto espacial. Esses elementos permitem diferenciar feições que, muitas vezes, apresentam respostas espectrais semelhantes, mas que ocupam posições distintas na paisagem ou possuem padrões próprios de distribuição. Dessa forma, a identificação dos alvos não depende exclusivamente das características espectrais registradas pelo sensor, mas também da capacidade de interpretação do analista e do conhecimento prévio da área de estudo (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015; FLORENZANO, 2011).

Segundo o IBGE (2013), a interpretação de imagens digitais busca identificar padrões homogêneos que possam ser agrupados em classes previamente definidas de uso e cobertura da terra. Esse procedimento permite representar espacialmente diferentes componentes da paisagem, contribuindo para a elaboração de mapas temáticos voltados ao planejamento territorial, monitoramento ambiental e gestão dos recursos naturais.

Em áreas submetidas a diferentes formas de ocupação antrópica, a fotointerpretação apresenta vantagens importantes, pois possibilita incorporar informações relacionadas ao contexto espacial e às características locais da paisagem. Ambientes influenciados por atividades agrícolas, processos de degradação ambiental e remanescentes de vegetação nativa frequentemente apresentam transições graduais entre classes, dificultando a aplicação de classificações totalmente automatizadas. Nesses casos, a interpretação visual permite maior controle sobre a delimitação das feições e sobre a consistência do produto cartográfico final (IBGE, 2013).

Associada à fotointerpretação, a vetorização manual constitui uma etapa fundamental para a construção dos mapas temáticos em Sistemas de Informação Geográfica. Esse procedimento consiste na delimitação de polígonos representativos das classes identificadas na imagem, transformando informações visuais em dados georreferenciados passíveis de análise espacial e quantificação. Além de permitir a representação cartográfica da paisagem, a vetorização possibilita o cálculo de áreas, perímetros e demais métricas espaciais utilizadas em estudos ambientais (FITZ, 2008).

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica amplia as possibilidades de análise dos dados obtidos durante o mapeamento, permitindo integrar informações espaciais, realizar consultas, gerar estatísticas e produzir mapas temáticos. Segundo Fitz (2008), os SIG constituem ferramentas essenciais para a organização e interpretação de informações geográficas, sendo amplamente empregados em estudos relacionados ao uso e cobertura da terra, planejamento ambiental e monitoramento de ecossistemas.

No caso da identificação de espécies vegetais invasoras, a fotointerpretação pode representar uma alternativa eficiente quando a espécie apresenta padrões visuais relativamente distintos em relação às demais coberturas vegetais. Agrupamentos homogêneos, elevada densidade de indivíduos e distribuição associada a ambientes perturbados podem facilitar sua identificação nas imagens. Entretanto, a confiabilidade desse processo tende a ser ampliada quando associada ao conhecimento prévio da área e à realização de verificações em campo, permitindo confirmar a correspondência entre os padrões observados nas imagens e as condições encontradas na paisagem real (BRADLEY, 2014; CAVENDER-BARES et al., 2020).

Dessa forma, a combinação entre fotointerpretação, vetorização manual e análise em ambiente SIG constitui uma abordagem adequada para estudos ambientais em escala local, permitindo representar a distribuição espacial das diferentes classes de uso e cobertura do solo e subsidiar análises relacionadas à ocorrência de espécies invasoras e aos processos de degradação ambiental.

3.6 Uso e cobertura do solo em áreas degradadas por mineração

A mineração é uma atividade econômica de grande importância para o desenvolvimento industrial, porém sua implantação provoca alterações significativas na paisagem e nos componentes ambientais. A remoção da vegetação, a movimentação de grandes volumes de solo e rocha e a modificação da topografia natural resultam em mudanças que afetam diretamente a dinâmica ecológica dos ambientes explorados. Em muitos casos, essas alterações permanecem visíveis mesmo após o encerramento das atividades minerárias, influenciando os processos de regeneração natural e a ocupação posterior da área (SÁNCHEZ, 2013).

Entre os principais impactos associados à mineração destacam-se a supressão da cobertura vegetal, a exposição do solo, a alteração das características físicas e químicas do substrato e a fragmentação dos habitats naturais. Essas modificações tendem a reduzir a diversidade biológica local e criar condições favoráveis ao estabelecimento de espécies oportunistas, especialmente em áreas onde a vegetação nativa foi removida ou severamente degradada (DÍAZ et al., 2019; LEÃO et al., 2011).

Na região da bacia do rio Corumbataí, a exploração de argila associada à Formação Corumbataí desempenhou papel importante no desenvolvimento econômico local, especialmente devido à forte presença da indústria cerâmica. Entretanto, a extração mineral também resultou na formação de cavas, taludes expostos e áreas com diferentes níveis de degradação ambiental, modificando significativamente a cobertura original da paisagem (NORONHA, 1999; PEREIRA et al., 2020).

Após a interrupção das atividades minerárias, essas áreas podem seguir diferentes trajetórias de ocupação e regeneração. Em alguns locais ocorre o desenvolvimento espontâneo da vegetação, enquanto em outros são adotadas medidas de recuperação ambiental que incluem o plantio de espécies destinadas à estabilização do solo e à recomposição da

cobertura vegetal. A eficiência dessas intervenções depende de fatores como as características do substrato, a disponibilidade hídrica, a proximidade de fontes de propágulos e as espécies utilizadas nos processos de revegetação (SÁNCHEZ, 2013).

Nesse contexto, o mapeamento do uso e cobertura do solo torna-se uma ferramenta importante para compreender a organização espacial das áreas mineradas e sua interação com os demais elementos da paisagem. A identificação de classes como áreas agrícolas, fragmentos florestais, matas ciliares, corpos d'água, áreas urbanizadas, solos expostos e áreas degradadas permite avaliar o estágio de ocupação do território e compreender os processos ambientais que atuam na área de estudo (IBGE, 2013).

Além de fornecer uma representação da paisagem atual, os mapas de uso e cobertura do solo possibilitam identificar possíveis relações entre determinadas classes e a ocorrência de espécies invasoras. Ambientes perturbados por ações antrópicas frequentemente apresentam maior suscetibilidade à invasão biológica devido à redução da competição com espécies nativas e à disponibilidade de áreas abertas para colonização. Dessa forma, a análise integrada do uso e cobertura do solo contribui para compreender os fatores que favorecem o estabelecimento e a expansão dessas espécies (ZENNI; ZILLER, 2011; MARTELLI, 2022).

No caso da *Leucaena leucocephala*, diversos estudos apontam que a espécie apresenta elevada capacidade de colonização em ambientes alterados, especialmente em áreas degradadas, margens de estradas, terrenos abandonados e locais submetidos a distúrbios frequentes. Sua rápida taxa de crescimento, associada à elevada produção de sementes e à capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, favorece sua expansão em paisagens antropizadas (LEÃO et al., 2011; MARTELLI, 2022).

Assim, a análise das classes de uso e cobertura do solo em áreas degradadas por mineração representa uma etapa fundamental para compreender a distribuição espacial da *Leucaena leucocephala* na sub-bacia do Córrego da Assistência. A integração dessas informações permite avaliar a relação entre a espécie e os diferentes ambientes presentes na paisagem, contribuindo para discussões relacionadas à recuperação ambiental, manejo de espécies invasoras e conservação da vegetação nativa.

3.7 Aplicações do sensoriamento remoto no estudo de espécies invasoras

As espécies exóticas invasoras representam uma das principais ameaças à biodiversidade, pois podem alterar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, comprometer a regeneração da vegetação nativa e reduzir a diversidade biológica. Esses efeitos tendem a ser mais expressivos em ambientes já submetidos a pressões antrópicas, nos quais a remoção ou fragmentação da cobertura vegetal favorece o estabelecimento de espécies oportunistas (VITOUSEK et al., 1997; DIAZ et al., 2019).

No contexto brasileiro, a presença de espécies invasoras tem sido registrada em diferentes biomas e frequentemente está associada a áreas alteradas por atividades agrícolas, urbanização, obras de infraestrutura e processos de degradação ambiental. Espécies como *Leucaena leucocephala* apresentam elevada capacidade de adaptação, crescimento rápido e produção abundante de sementes, características que favorecem sua disseminação e permanência em ambientes perturbados (ZENNI; ZILLER, 2011; PINI, 2024).

O sensoriamento remoto tem se consolidado como uma ferramenta relevante para o estudo de espécies invasoras, pois permite observar sua distribuição espacial, identificar padrões de ocorrência e acompanhar possíveis processos de expansão ao longo do tempo. A utilização de imagens orbitais contribui especialmente para análises em escala de paisagem, possibilitando relacionar a presença dessas espécies com diferentes classes de uso e cobertura do solo, como áreas agrícolas, vegetação nativa, solos expostos, áreas urbanizadas e ambientes degradados (BRADLEY, 2014; CAVENDER-BARES et al., 2020).

Apesar desse potencial, a identificação direta de espécies vegetais por sensoriamento remoto ainda apresenta limitações, principalmente quando há similaridade espectral entre a espécie de interesse e outras formações vegetais. Em áreas heterogêneas, a mistura entre solo exposto, vegetação nativa, pastagens e áreas em regeneração pode dificultar a separação entre classes, exigindo o uso de critérios complementares de análise, como textura, tonalidade, forma, padrão de distribuição e contexto espacial (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015; FLORENZANO, 2011).

Nesse sentido, a interpretação visual de imagens de satélite pode representar uma alternativa importante em estudos conduzidos em escala local. Quando a espécie invasora apresenta padrões visuais relativamente distintos, como agrupamentos homogêneos, elevada

densidade e ocorrência associada a áreas perturbadas, sua identificação pode ser favorecida pela análise integrada dos elementos da imagem. Essa abordagem permite que o intérprete considere não apenas a resposta espectral, mas também a organização espacial da paisagem e o conhecimento prévio da área de estudo (FLORENZANO, 2011; IBGE, 2013).

No caso da *Leucaena leucocephala*, sua ocorrência está frequentemente relacionada a ambientes degradados ou submetidos a algum tipo de alteração antrópica. A espécie pode formar maciços densos e homogêneos, dificultando o estabelecimento de espécies nativas e alterando a dinâmica da vegetação local. Além disso, sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais favorece sua expansão em áreas abertas, margens de vias, terrenos abandonados e locais anteriormente impactados por atividades como a mineração (LEÃO et al., 2011; MARTELLI, 2022; ZARDETTO, 2023).

Além da competição por espaço, luz e nutrientes, a *Leucaena leucocephala* também pode influenciar o desenvolvimento de outras espécies por meio de efeitos alelopáticos. Estudos indicam que compostos liberados por folhas e frutos podem interferir na germinação e no crescimento inicial de outras plantas, favorecendo sua dominância em áreas invadidas (SCHERER et al., 2005).

Dessa forma, o uso do sensoriamento remoto associado à interpretação visual e à análise espacial em ambiente SIG contribui para o estudo da ocorrência de espécies invasoras em áreas degradadas. Essa abordagem permite representar a distribuição da espécie na paisagem, quantificar sua área de ocorrência e analisar sua relação com as demais classes de uso e cobertura do solo, fornecendo subsídios para ações de manejo, monitoramento e recuperação ambiental (FITZ, 2008; IBGE, 2013).

3.8 Limitações, desafios e lacunas na identificação de espécies vegetais

Apesar dos avanços do sensoriamento remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica, a identificação de espécies vegetais ainda apresenta limitações importantes, principalmente quando aplicada a ambientes heterogêneos. A distinção em nível de espécie é mais complexa do que a separação entre classes gerais de uso e cobertura do solo, pois diferentes formações vegetais podem apresentar padrões visuais e respostas espectrais semelhantes, dificultando sua individualização nas imagens (CAVENDER-BARES et al., 2020).

Outro desafio está relacionado à resolução espacial das imagens utilizadas. Em áreas com vegetação fragmentada, regeneração desigual ou presença de diferentes elementos em uma mesma porção da paisagem, pode ocorrer mistura entre solo exposto, vegetação, sombra, resíduos orgânicos e áreas úmidas. Essa condição dificulta a delimitação precisa das classes e exige maior cautela na interpretação dos limites entre os alvos mapeados (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015; RICHARDS, 2013).

Além da resolução espacial, fatores ambientais também interferem na interpretação das imagens. Características como umidade do solo, relevo, luminosidade, sombreamento, estágio fenológico da vegetação e tipo de substrato podem modificar a aparência dos alvos na imagem. Em áreas degradadas por mineração, essas interferências tendem a ser ainda mais evidentes, devido à presença de solos expostos, superfícies alteradas, cavas, taludes e vegetação em diferentes estágios de regeneração (RICHARDS, 2013; CAETANO, 2015; GOMES et al., 2016).

Do ponto de vista metodológico, a interpretação visual constitui uma abordagem amplamente utilizada em estudos locais, permitindo maior controle na delimitação das feições e na diferenciação das classes de uso e cobertura do solo. Elementos como cor, tonalidade, textura, forma, padrão e contexto espacial são observados de maneira sistemática durante o mapeamento (FLORENZANO, 2011; IBGE, 2013).

A verificação em campo complementa a interpretação visual, fornecendo confirmação qualitativa da ocorrência das classes mapeadas. Ao confrontar os padrões observados nas imagens com as condições reais da área, é possível validar a presença da espécie de interesse, como *Leucaena leucocephala*, aumentando a confiabilidade do mapeamento e servindo de base para análises espaciais subsequentes (FLORENZANO, 2011; CONGALTON; GREEN, 2009).

No caso da *Leucaena leucocephala*, uma das principais dificuldades está em diferenciá-la de outras formações arbóreas ou arbustivas quando observada apenas por imagem. Ainda que a espécie possa formar maciços homogêneos e apresentar padrão visual relativamente distinto em áreas degradadas, sua identificação pode ser dificultada em locais onde ocorre mistura com vegetação nativa, bordas de fragmentos florestais ou áreas em regeneração. Assim, o mapeamento da espécie deve ser interpretado como uma representação

da ocorrência provável e confirmada por critérios visuais e observações de campo, e não como uma identificação absoluta de todos os indivíduos presentes na paisagem.

Também existem lacunas relacionadas à aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em áreas degradadas por mineração. Parte significativa dos estudos se concentra em ambientes agrícolas ou florestais mais homogêneos, enquanto áreas mineradas apresentam maior complexidade espacial devido à presença de substratos expostos, alterações topográficas, corpos d'água artificiais e vegetação em diferentes estágios de sucessão. Essa heterogeneidade limita a transferência direta de metodologias e reforça a necessidade de abordagens adaptadas às condições locais (BRADLEY, 2014; CAVENDER-BARES et al., 2020).

Diante dessas limitações, a identificação de espécies vegetais em ambientes degradados demanda a integração entre interpretação visual, análise espacial em ambiente SIG e verificação em campo. Essa combinação não elimina totalmente as incertezas do mapeamento, mas contribui para tornar os resultados mais consistentes e compatíveis com a realidade observada na área de estudo. No caso de espécies invasoras, como a *Leucaena leucocephala*, essa abordagem permite compreender melhor sua distribuição na paisagem e sua relação com as diferentes classes de uso e cobertura do solo.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à sub-bacia do Córrego da Assistência, localizada no distrito de Assistência, município de Rio Claro, estado de São Paulo. A sub-bacia integra a bacia hidrográfica do rio Corumbataí, uma das principais unidades de drenagem da região central paulista, reconhecida por sua importância ambiental, econômica e pelo histórico de ocupação associado às atividades agrícolas e minerárias.

A região de Assistência apresenta um histórico de exploração de argila destinado principalmente ao abastecimento do setor cerâmico, atividade favorecida pela ocorrência dos depósitos associados à Formação Corumbataí. Ao longo das últimas décadas, a extração mineral promoveu alterações significativas na paisagem local, resultando na formação de

cavas, taludes, áreas de solo exposto e diferentes estágios de regeneração da cobertura vegetal.

Após a redução ou encerramento das atividades de mineração em determinados locais, parte dessas áreas passou por processos naturais ou induzidos de revegetação. Como consequência, observa-se atualmente um mosaico de usos e coberturas do solo composto por áreas agrícolas, fragmentos de vegetação nativa, matas ciliares, corpos d'água, áreas urbanizadas, solos expostos e remanescentes de áreas mineradas. Essa diversidade de ambientes torna a sub-bacia adequada para estudos relacionados à dinâmica da vegetação e à distribuição de espécies com potencial invasor.

Entre as espécies observadas na região destaca-se *Leucaena leucocephala*, leguminosa arbórea amplamente utilizada em projetos de recuperação ambiental devido ao seu rápido crescimento e capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais. Entretanto, sua elevada capacidade de dispersão e estabelecimento em ambientes alterados tem despertado preocupações quanto aos possíveis impactos sobre a vegetação nativa e os processos de regeneração ecológica.

A escolha da sub-bacia do Córrego da Assistência como área de estudo fundamenta-se na ocorrência conhecida da espécie, na presença de áreas anteriormente impactadas pela mineração e na diversidade de classes de uso e cobertura do solo observadas na paisagem. Essas características permitem analisar a distribuição espacial de *Leucaena leucocephala* em diferentes contextos ambientais e compreender sua relação com os padrões atuais de ocupação do território.

4.2 Base de dados e materiais utilizados

O desenvolvimento do presente estudo foi realizado por meio da integração de imagens de satélite, bases cartográficas e ferramentas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os procedimentos de análise espacial, edição vetorial, organização dos dados e elaboração dos produtos cartográficos foram executados no software ArcGIS Pro.

A delimitação da área de estudo foi realizada a partir da base hidrográfica da bacia do rio Corumbataí, utilizando informações cartográficas previamente disponíveis para a região.

A partir dessa base, foi definida a sub-bacia do Córrego da Assistência, que constituiu a unidade espacial adotada para as análises desenvolvidas neste trabalho.

Para a identificação das classes de uso e cobertura do solo foram utilizadas imagens de alta resolução disponibilizadas pela plataforma Google Earth Pro. A escolha dessa fonte de dados ocorreu em função da elevada resolução espacial das imagens, fator que favorece a interpretação visual e a delimitação manual de feições em escala local. O uso dessas imagens permitiu distinguir diferentes elementos da paisagem, como áreas agrícolas, fragmentos de vegetação nativa, matas ciliares, corpos d'água, áreas urbanizadas, solos expostos e áreas associadas à atividade minerária.

A interpretação das imagens foi conduzida com base em critérios de fotointerpretação descritos na literatura, considerando aspectos como tonalidade, textura, forma, padrão e contexto espacial dos alvos observados (FLORENZANO, 2011; IBGE, 2013). Esses elementos serviram como referência para a diferenciação das classes mapeadas e para a identificação de áreas com possível ocorrência de *Leucaena leucocephala*.

Além das imagens utilizadas no mapeamento, foram empregados dados obtidos em visitas à área de estudo para apoio à interpretação das feições observadas e para confirmação qualitativa da ocorrência da espécie em pontos selecionados da sub-bacia. Os registros fotográficos obtidos em campo foram utilizados como fonte complementar de informação, contribuindo para aumentar a confiabilidade da interpretação cartográfica realizada.

Os dados gerados durante o mapeamento foram organizados em formato vetorial, permitindo a elaboração de mapas temáticos, o cálculo das áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura do solo e a produção de tabelas e gráficos utilizados na análise dos resultados.

4.3 Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo

O mapeamento do uso e cobertura do solo foi realizado por meio de interpretação visual das imagens disponíveis no Google Earth Pro, seguida da vetorização manual das feições em ambiente SIG utilizando o software ArcGIS Pro. A opção por esse método foi motivada pela escala local do estudo e pela necessidade de identificar elementos da paisagem que apresentavam elevada heterogeneidade espacial, característica comum em áreas anteriormente submetidas à atividade minerária.

Inicialmente, as imagens da área de estudo foram analisadas com o objetivo de reconhecer os diferentes padrões de ocupação presentes na paisagem. A identificação das classes foi baseada em critérios de fotointerpretação, considerando características como tonalidade, textura, forma, tamanho, padrão de distribuição e contexto espacial dos alvos observados, conforme descrito por Florenzano (2011) e pelo IBGE (2013).

Após a interpretação das imagens, foram criados polígonos vetoriais representando cada classe de uso e cobertura do solo identificada na sub-bacia. A delimitação dos polígonos foi realizada manualmente, buscando acompanhar os limites visíveis das feições presentes na imagem e representar da forma mais fiel possível a distribuição espacial dos diferentes usos observados.

As classes mapeadas compreenderam áreas agrícolas, vegetação nativa, mata ciliar, áreas urbanizadas, corpos d'água, solo exposto, áreas associadas à mineração e áreas com ocorrência de *Leucaena leucocephala*. A definição dessas classes teve como objetivo representar os principais componentes da paisagem presentes na sub-bacia do Córrego da Assistência e possibilitar a análise da distribuição espacial da espécie em relação aos demais usos do solo.

Durante o processo de vetorização, cada polígono foi associado à respectiva classe temática por meio da tabela de atributos da camada vetorial. Posteriormente, os dados foram organizados e revisados para eliminar sobreposições, inconsistências geométricas e possíveis erros de classificação decorrentes da interpretação inicial.

Concluída a etapa de mapeamento, os polígonos foram utilizados para o cálculo das áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura do solo. Os resultados obtidos serviram de base para a elaboração dos mapas temáticos, tabelas e gráficos utilizados nas análises desenvolvidas neste estudo.

A adoção da interpretação visual associada à vetorização manual permitiu um controle mais detalhado sobre a delimitação das feições, favorecendo a representação de elementos da paisagem que poderiam apresentar dificuldades de identificação em procedimentos automatizados. Além disso, o conhecimento prévio da área de estudo contribuiu para a interpretação dos padrões observados nas imagens e para a consistência do produto cartográfico final.

4.4 Identificação e mapeamento de *Leucaena leucocephala*

A identificação das áreas com ocorrência de *Leucaena leucocephala* foi realizada por meio da interpretação visual das imagens de alta resolução utilizadas no mapeamento. A espécie foi considerada uma classe específica devido à sua relevância para o objetivo do estudo e à sua ocorrência expressiva em determinados setores da sub-bacia do Córrego da Assistência.

O processo de identificação baseou-se na observação de características visuais associadas aos agrupamentos da espécie, considerando principalmente a formação de manchas relativamente homogêneas na paisagem, a textura uniforme da cobertura vegetal e sua distribuição em áreas anteriormente alteradas por atividades antrópicas. Além disso, foram avaliadas as relações espaciais entre os agrupamentos observados e os diferentes usos e coberturas do solo presentes na área de estudo.

Durante a interpretação das imagens, foram priorizadas áreas que apresentavam padrões compatíveis com a ocorrência da espécie, especialmente em locais próximos a áreas degradadas, bordas de fragmentos vegetais, terrenos anteriormente minerados e outras áreas submetidas a perturbações ambientais. Esses ambientes são frequentemente apontados na literatura como favoráveis ao estabelecimento e à expansão de *Leucaena leucocephala* (LEÃO et al., 2011; MARTELLI, 2022).

Após a identificação preliminar das áreas de interesse, os limites dos agrupamentos foram delimitados manualmente em ambiente SIG por meio da criação de polígonos vetoriais. Essa etapa permitiu representar espacialmente a distribuição da espécie e quantificar sua área de ocorrência dentro da sub-bacia analisada.

Considerando a identificação de espécies vegetais a partir de imagens, foram realizadas observações em campo em pontos previamente selecionados. Os registros fotográficos obtidos nessas visitas serviram para confirmar a presença da espécie, permitindo confrontar os padrões observados nas imagens com as condições encontradas diretamente na área de estudo. Essa etapa contribuiu para validar a interpretação visual dos polígonos homogêneos e fornecer subsídios para análises futuras em escalas maiores, garantindo a confiabilidade do mapeamento.

Dessa forma, o mapeamento de *Leucaena leucocephala* foi conduzido a partir da integração entre interpretação visual, análise espacial e observações de campo, buscando aumentar a confiabilidade da identificação da espécie e possibilitar a análise de sua distribuição em relação às diferentes classes de uso e cobertura do solo presentes na sub-bacia do Córrego da Assistência.

4.5 Quantificação e análise espacial dos dados

Após a conclusão do mapeamento, os polígonos correspondentes às classes de uso e cobertura do solo foram submetidos à quantificação espacial em ambiente SIG. Para isso, foram calculadas as áreas ocupadas por cada classe presente na sub-bacia do Córrego da Assistência, permitindo a obtenção de valores absolutos e relativos para análise da distribuição espacial dos diferentes componentes da paisagem.

Os cálculos foram realizados a partir da geometria dos polígonos vetoriais gerados durante o processo de mapeamento. As áreas obtidas foram organizadas em tabelas e posteriormente utilizadas para a elaboração de gráficos, com o objetivo de facilitar a visualização da representatividade de cada classe dentro da área de estudo.

A análise dos resultados considerou tanto os valores absolutos de área quanto a participação percentual de cada classe em relação à área total da sub-bacia. Essa abordagem permitiu identificar os usos predominantes da paisagem e avaliar a distribuição espacial das áreas ocupadas por *Leucaena leucocephala* em comparação com as demais classes mapeadas.

Além da quantificação das áreas, os produtos cartográficos elaborados foram utilizados como ferramenta de apoio à interpretação dos resultados, possibilitando analisar a localização dos agrupamentos de *Leucaena leucocephala* e sua relação com áreas agrícolas, remanescentes de vegetação nativa, matas ciliares, áreas degradadas por mineração e demais formas de uso e cobertura do solo presentes na sub-bacia.

Os dados obtidos serviram de base para a discussão dos padrões espaciais observados e para a avaliação da ocorrência da espécie no contexto ambiental da área de estudo.

4.6 Verificação de campo

A verificação de campo foi realizada com o objetivo de complementar a interpretação visual das imagens utilizadas no mapeamento e conferir, de forma qualitativa, a ocorrência de *Leucaena leucocephala* em pontos previamente identificados na etapa de vetorização manual. Para isso, foram selecionados pontos localizados em áreas classificadas como provável ocorrência da espécie, especialmente em trechos com manchas homogêneas de vegetação e próximos à Rodovia Fausto Santomauro.

Durante a visita, foram obtidos registros fotográficos georreferenciados em quatro pontos da área de estudo. As fotografias registraram as coordenadas geográficas, data, horário e orientação da câmera, permitindo relacionar os registros de campo aos polígonos previamente delimitados no mapa de uso e cobertura do solo.

A verificação foi conduzida por inspeção visual, considerando características morfológicas e estruturais compatíveis com *Leucaena leucocephala*, como formação de agrupamentos homogêneos, presença de indivíduos arbóreos com folhas bipinadas, ocorrência de vagens e elevada densidade de indivíduos em determinados trechos. Esses registros foram utilizados como apoio à interpretação cartográfica e à análise da distribuição espacial da espécie na sub-bacia.

Tabela 1 – Pontos utilizados na verificação de campo da ocorrência de *Leucaena leucocephala*.

Ponto	Latitude	Longitude	Localização	Característica observada
P1	22°29'45" S	47°34'54" W	Acesso à Rodovia Fausto Santomauro	Agrupamento homogêneo de indivíduos arbóreos compatíveis com <i>L. leucocephala</i>
P2	22°30'19" S	47°34'59" W	Rodovia Fausto Santomauro	Presença de indivíduos adultos com vagens e elevada densidade populacional
P3	22°29'50" S	47°34'53" W	Rodovia Fausto Santomauro	Formação densa de vegetação com características compatíveis com a espécie e ocorrência em área de borda e ambiente antropizado
P4	22°29'44" S	47°34'53" W	Rodovia Fausto Santomauro	Ocorrência próxima à drenagem e vegetação ciliar

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.7 Elaboração dos produtos cartográficos

Os produtos cartográficos foram elaborados em ambiente SIG a partir das informações obtidas durante o processo de mapeamento e análise espacial. Após a conclusão da etapa de vetorização e organização da base de dados, foram produzidos mapas temáticos destinados à representação da área de estudo, das classes de uso e cobertura do solo e da distribuição espacial de *Leucaena leucocephala* na sub-bacia do Córrego da Assistência.

A composição dos mapas buscou seguir princípios básicos de representação cartográfica, incluindo a inserção de elementos como legenda, escala gráfica, orientação geográfica, sistema de coordenadas e identificação da área de estudo. Esses elementos foram incorporados com o objetivo de facilitar a interpretação das informações espaciais e garantir maior clareza na apresentação dos resultados (FITZ, 2008).

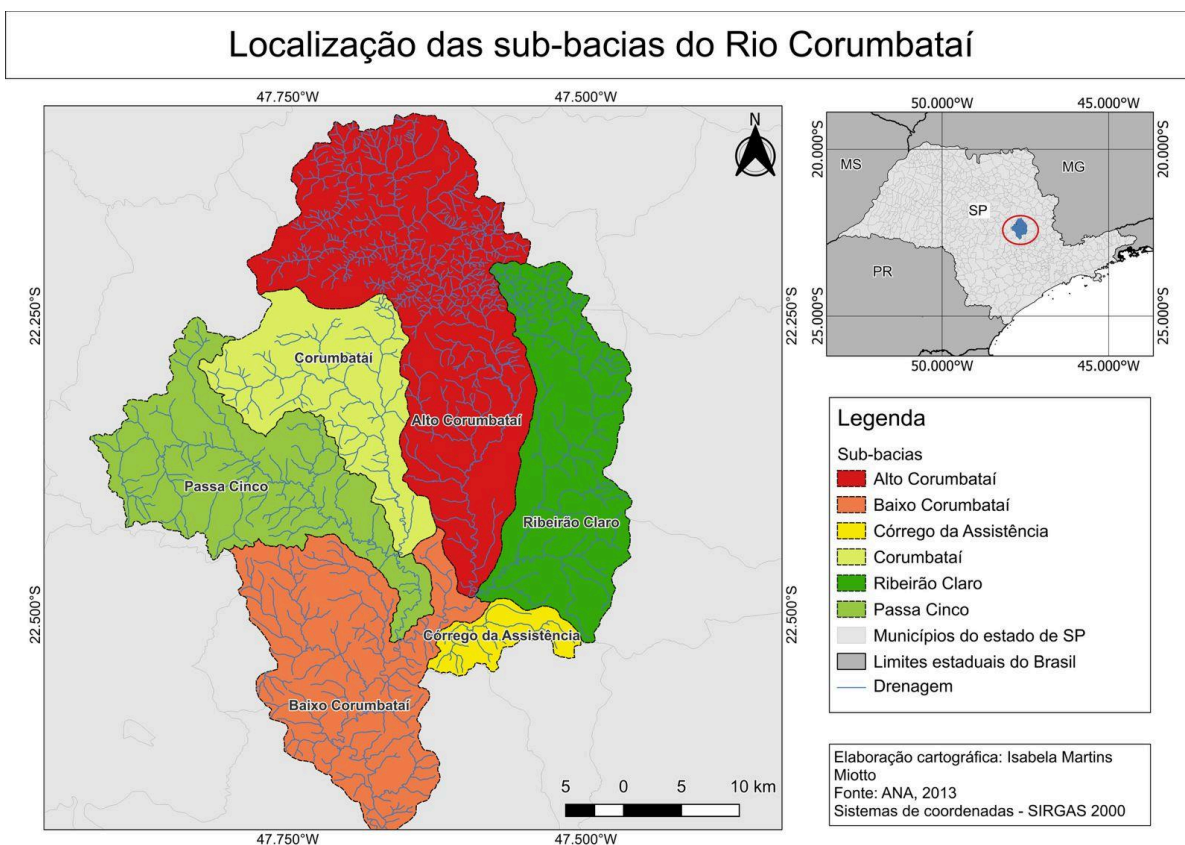
Além dos mapas temáticos, foram elaboradas tabelas e representações gráficas contendo a quantificação das áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura do solo. Esses produtos auxiliam na visualização dos resultados e permitem comparar a participação relativa das diferentes classes presentes na sub-bacia.

Os mapas, tabelas e gráficos produzidos constituíram a base para a análise espacial desenvolvida neste estudo, possibilitando interpretar a distribuição da paisagem e avaliar a ocorrência de *Leucaena leucocephala* em relação aos diferentes ambientes identificados na área de estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização espacial da área de estudo.

Figura 1. Localização da sub-bacia do Córrego da Assistência na bacia do rio Corumbataí (SP).



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A Figura 1 apresenta a localização da sub-bacia do Córrego da Assistência, área selecionada para o desenvolvimento deste estudo. A sub-bacia encontra-se inserida na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, no município de Rio Claro (SP), abrangendo uma região marcada pela presença de atividades agrícolas, remanescentes de vegetação nativa e áreas anteriormente utilizadas para a extração de argila.

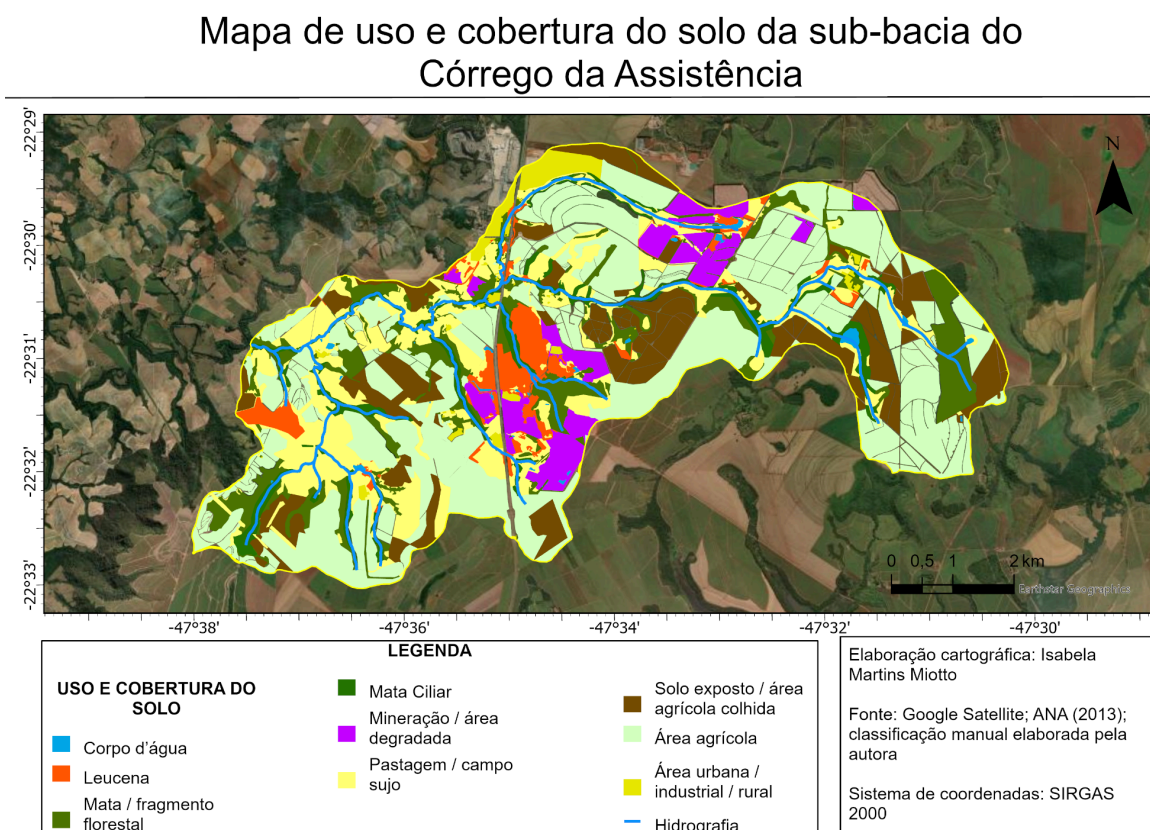
A delimitação da área de estudo permitiu definir a unidade espacial utilizada nas análises de uso e cobertura do solo e no mapeamento da ocorrência de *Leucaena leucocephala*. A escolha da sub-bacia como unidade de análise possibilita compreender a distribuição dos diferentes componentes da paisagem de forma integrada, considerando as relações existentes entre os ambientes naturais e as áreas modificadas pela ação humana.

Observa-se que a área apresenta um histórico de ocupação associado tanto à atividade agrícola quanto à mineração, fatores que contribuíram para a formação de uma paisagem heterogênea composta por diferentes classes de uso e cobertura do solo. Essa diversidade de ambientes cria condições favoráveis para o desenvolvimento de estudos voltados à dinâmica da vegetação e à ocorrência de espécies com potencial invasor.

Além da importância ambiental da bacia do rio Corumbataí para a região central do estado de São Paulo, a área estudada apresenta características que a tornam relevante para investigações relacionadas à recuperação ambiental de áreas degradadas. Nesse contexto, a presença de *Leucaena leucocephala* em diferentes setores da sub-bacia reforça a necessidade de compreender sua distribuição espacial e sua relação com os demais elementos da paisagem.

5.2 Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Córrego da Assistência

Figura 2. Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Córrego da Assistência.



A Figura 2 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo elaborado para a sub-bacia do Córrego da Assistência, enquanto a Tabela 1 apresenta a quantificação das áreas ocupadas por cada classe identificada. O mapeamento permitiu reconhecer a distribuição espacial dos principais elementos que compõem a paisagem local, evidenciando a forte influência das atividades antrópicas sobre a configuração atual da sub-bacia.

Observa-se que a área agrícola constitui a classe predominante, ocupando 1.849,31 hectares, o que corresponde a 38,90% da área total mapeada. A expressiva participação dessa classe demonstra a importância das atividades agropecuárias na dinâmica de uso da terra da região, refletindo o histórico de ocupação associado à produção agrícola presente em grande parte da bacia do rio Corumbataí.

Além da agricultura, destacam-se as áreas classificadas como pastagem e campo sujo, que representam 17,22% da área total, e as áreas de solo exposto ou agrícolas recentemente colhidas, correspondentes a 13,91%. Em conjunto, essas três classes representam aproximadamente 70% da área da sub-bacia, evidenciando o predomínio de usos antrópicos e a reduzida participação de ambientes com cobertura vegetal nativa contínua.

As áreas classificadas como mata ou fragmento florestal ocupam 524,39 hectares, correspondendo a 11,03% da área total. Quando consideradas em conjunto com as matas ciliares, que representam 5,90%, observa-se que a cobertura vegetal arbórea ocupa menos de um quinto da área estudada. Esse resultado reflete o elevado grau de transformação da paisagem e a fragmentação da vegetação remanescente, característica frequentemente observada em regiões submetidas à expansão agrícola e à exploração de recursos naturais.

As áreas associadas à mineração e aos ambientes degradados representam 276,72 hectares, correspondendo a 5,82% da área total da sub-bacia. Embora não constituam a classe predominante, sua presença evidencia a influência histórica da extração de argila na região de Assistência. A ocorrência dessas áreas é particularmente relevante para este estudo, uma vez que ambientes degradados tendem a apresentar maior suscetibilidade ao estabelecimento de espécies oportunistas e invasoras.

Nesse contexto, a classe correspondente à ocorrência de *Leucaena leucocephala* ocupou 213,95 hectares, representando 4,50% da área total mapeada. Embora proporcionalmente inferior às classes agrícolas e de pastagem, a extensão ocupada pela espécie demonstra que sua presença não se restringe a ocorrências isoladas ou pontuais na paisagem. Ao contrário, os resultados indicam a formação de agrupamentos suficientemente expressivos para serem individualizados durante o processo de mapeamento, reforçando a necessidade de compreender sua distribuição espacial e sua relação com os diferentes usos do solo presentes na sub-bacia.

As áreas urbanizadas representaram 2,15% da área total, enquanto os corpos d'água corresponderam a apenas 0,57%. Apesar de ocuparem parcelas reduzidas da paisagem, essas classes desempenham papel importante na organização territorial da sub-bacia e na dinâmica ambiental local.

De forma geral, os resultados evidenciam uma paisagem fortemente modificada pelas atividades humanas, caracterizada pelo predomínio de áreas agrícolas e pela presença de remanescentes florestais fragmentados. Essa configuração favorece a formação de ambientes heterogêneos e pode influenciar diretamente os processos de dispersão, estabelecimento e permanência de espécies invasoras, como *Leucaena leucocephala*, especialmente em áreas anteriormente degradadas ou submetidas a perturbações recorrentes.

5.3 Quantificação das classes de uso e cobertura do solo

A quantificação das classes de uso e cobertura do solo permitiu identificar o grau de ocupação da paisagem e compreender a participação relativa dos diferentes ambientes presentes na sub-bacia do Córrego da Assistência.

Tabela 2 – Quantificação das classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Córrego da Assistência

Tipo de uso e cobertura do solo	Frequência	Área (m²)	Área (ha)	Percentual (%)
Área urbana / industrial / rural	49	1021704,477	102,17	2,15
Área agrícola	246	18493058,47	1849,31	38,90
Corpo d'água	46	271575,624	27,16	0,57
Leucena	95	2139521,652	213,95	4,50
Mata / fragmento florestal	186	5243858,842	524,39	11,03
Mata ciliar	62	2806010,417	280,60	5,90
Mineração / área degradada	17	2767241,623	276,72	5,82
Pastagem / Campo sujo	224	8186388,265	818,64	17,22
Solo exposto / área agrícola colhida	82	6615542,345	661,55	13,91
TOTAL	1007	47544901,71	4754,49	100

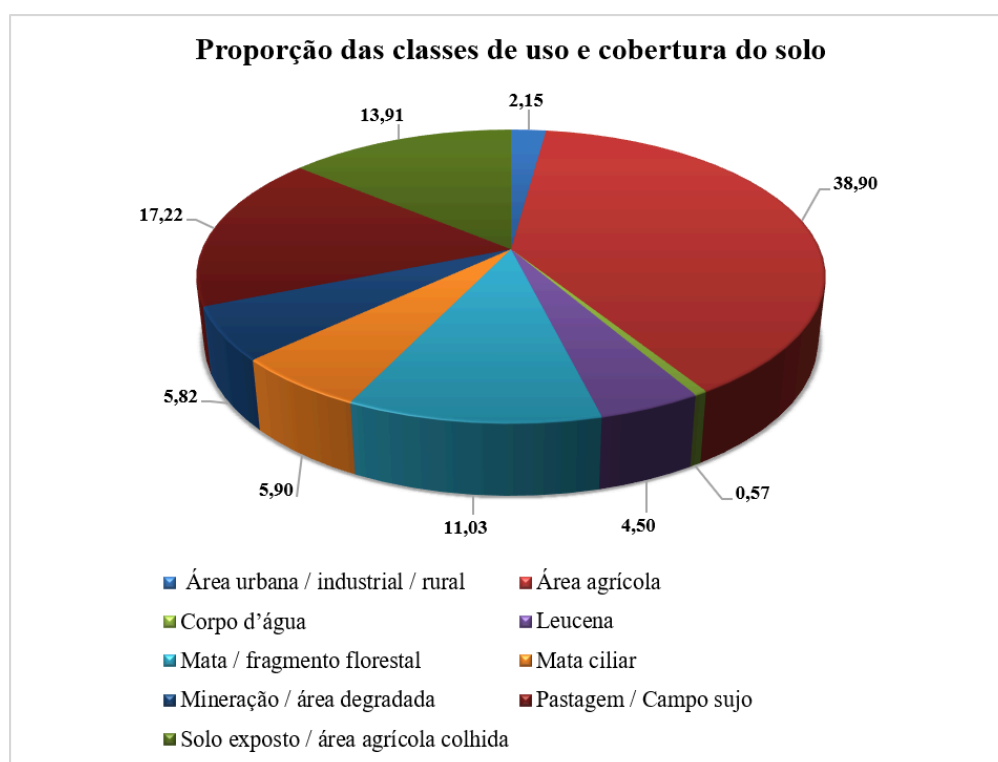
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Os resultados obtidos evidenciam uma forte predominância de usos antrópicos, especialmente aqueles relacionados às atividades agrícolas, que ocupam parcela significativa da área estudada.

A área agrícola foi a classe mais representativa, correspondendo a 38,90% da área total da sub-bacia. Esse resultado demonstra a importância da atividade agrícola na configuração atual da paisagem e está de acordo com o histórico de ocupação observado na região da bacia do rio Corumbataí, marcada pela intensa utilização do solo para fins produtivos. A ampla distribuição dessa classe indica que grande parte da cobertura original foi substituída por usos voltados à produção agropecuária.

As classes de pastagem e campo sujo (17,22%) e de solo exposto ou área agrícola colhida (13,91%) também apresentaram participação expressiva. Quando somadas à área agrícola, essas classes representam aproximadamente 70% da área total da sub-bacia. Esse cenário evidencia o predomínio de ambientes modificados pela ação humana e reforça a reduzida participação de áreas com vegetação arbórea contínua.

Figura 3 – Distribuição percentual das classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Córrego da Assistência.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A cobertura vegetal remanescente encontra-se distribuída principalmente entre as classes mata ou fragmento florestal e mata ciliar, que juntas representam 16,93% da área total.

Embora esses remanescentes desempenhem importante papel ecológico na manutenção da biodiversidade, proteção dos recursos hídricos e conectividade da paisagem, sua distribuição fragmentada sugere um processo histórico de supressão da vegetação nativa associado à expansão das atividades econômicas na região.

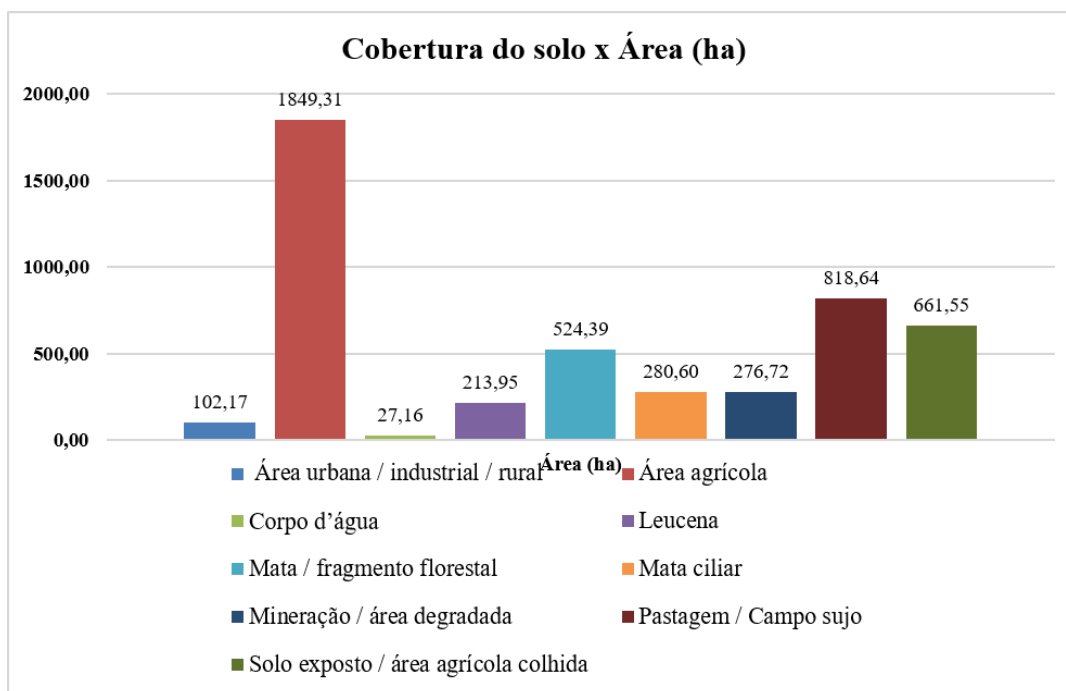
A presença de áreas classificadas como mineração ou área degradada, correspondendo a 5,82% da área total, reflete a influência da extração de argila na dinâmica da paisagem local. Mesmo não representando a classe mais extensa, sua ocorrência é significativa por indicar ambientes que passaram por alterações intensas nas características do solo e da cobertura vegetal. Essas áreas frequentemente apresentam condições favoráveis ao estabelecimento de espécies pioneiras e oportunistas, especialmente quando os processos de recuperação ambiental são limitados ou insuficientes.

Nesse contexto, a ocorrência de *Leucaena leucocephala* em 213,95 hectares da sub-bacia merece atenção. A espécie ocupou 4,50% da área total mapeada, percentual superior ao observado para classes como área urbana e corpos d'água. Embora não constitua uma das classes dominantes da paisagem, sua extensão demonstra que a espécie apresenta distribuição expressiva na área de estudo, não se restringindo a ocorrências isoladas.

A ocupação de áreas relativamente amplas por *Leucaena leucocephala* pode estar relacionada à combinação de fatores como a disponibilidade de ambientes perturbados, a presença de áreas degradadas por mineração, a fragmentação da vegetação nativa e a elevada capacidade adaptativa da espécie. Essas características favorecem seu estabelecimento em diferentes contextos ambientais e podem contribuir para sua expansão ao longo do tempo, especialmente em locais onde a competição com espécies nativas é reduzida.

De forma geral, os resultados indicam que a paisagem da sub-bacia do Córrego da Assistência é fortemente influenciada por usos antrópicos, apresentando cobertura vegetal nativa relativamente reduzida e elevada heterogeneidade espacial. Esse contexto cria condições que podem favorecer a ocorrência e a permanência de espécies invasoras, reforçando a importância de compreender a distribuição de *Leucaena leucocephala* e sua relação com os diferentes ambientes presentes na área de estudo.

Figura 4 – Área ocupada pelas classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia do Córrego da Assistência



A Figura 4 apresenta a área ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo em hectares, permitindo visualizar as diferenças de representatividade entre as classes mapeadas.

5.4 Distribuição espacial de *Leucaena leucocephala*

A análise espacial do mapeamento evidenciou que a ocorrência de *Leucaena leucocephala* não se distribui de forma homogênea ao longo da sub-bacia do Córrego da Assistência. Os agrupamentos identificados encontram-se concentrados principalmente na porção central da área de estudo, formando manchas relativamente contínuas e facilmente distinguíveis das demais classes de uso e cobertura do solo.

Os resultados indicam que a distribuição da espécie apresenta forte associação com áreas submetidas a alterações antrópicas, especialmente ambientes relacionados à mineração e à degradação do solo. Observa-se que parte significativa dos polígonos mapeados ocorre em áreas próximas a antigas cavas de mineração, superfícies expostas e setores que apresentam sinais de perturbação ambiental. Esse padrão espacial é compatível com o comportamento descrito na literatura para *Leucaena leucocephala*, espécie frequentemente associada a ambientes degradados e em processo de regeneração (LEÃO et al., 2011; MARTELLI, 2022).

Além da proximidade com áreas degradadas, a espécie também foi identificada em setores adjacentes a áreas agrícolas e fragmentos de vegetação. Essa distribuição sugere que a paisagem heterogênea da sub-bacia pode favorecer sua permanência e dispersão, uma vez que

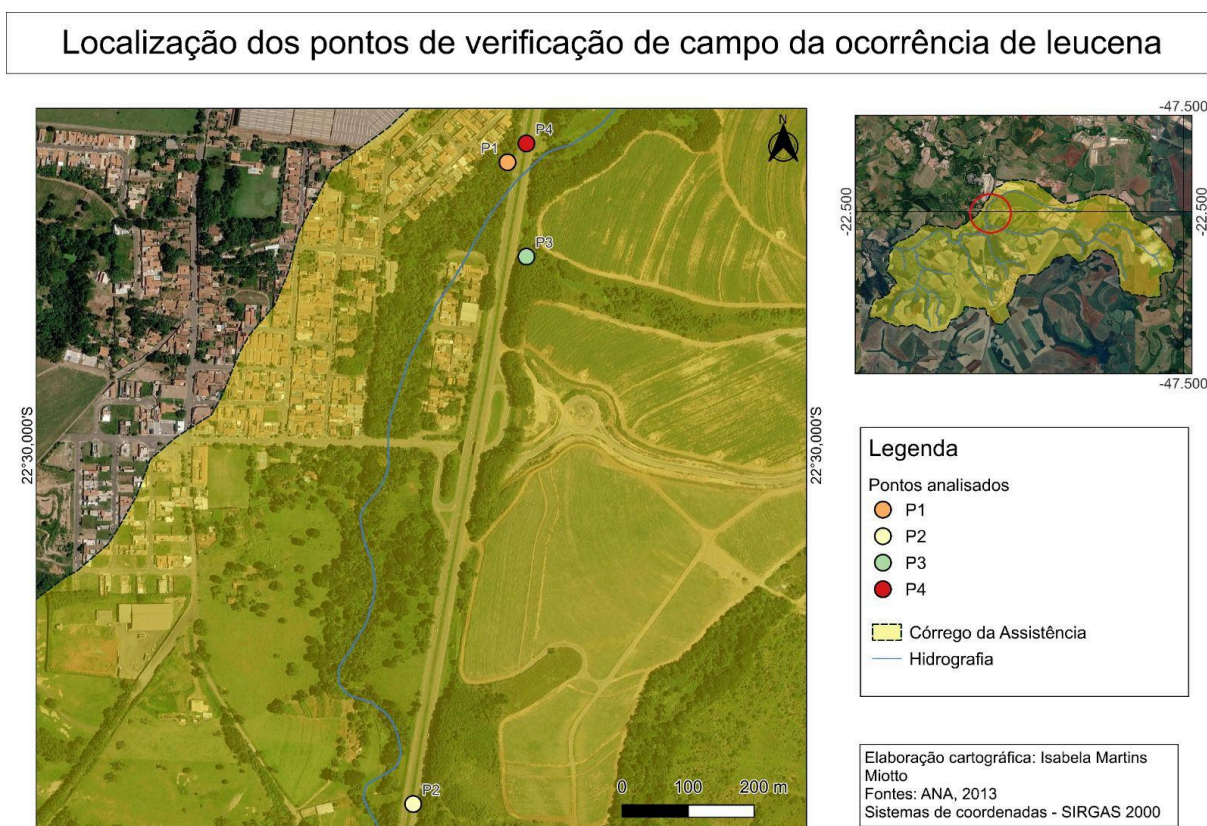
diferentes ambientes oferecem condições adequadas para seu estabelecimento. A presença de áreas abertas, associada à elevada capacidade adaptativa da espécie, contribui para a formação de agrupamentos densos em locais sujeitos a perturbações recorrentes.

Embora a espécie ocupe apenas 4,50% da área total mapeada, sua distribuição espacial demonstra que sua ocorrência não se limita a indivíduos isolados. Os agrupamentos identificados apresentam extensão suficiente para constituir uma classe própria no mapeamento realizado, indicando que a espécie já possui presença consolidada em determinados setores da sub-bacia.

Outro aspecto relevante é que a maior parte das ocorrências foi observada fora das áreas de mata ciliar mais preservadas, concentrando-se principalmente em ambientes alterados ou em transição entre diferentes usos do solo. Esse comportamento reforça a tendência de ocupação de áreas perturbadas, característica frequentemente associada a espécies exóticas com potencial invasor.

De maneira geral, os resultados sugerem que a distribuição de *Leucaena leucocephala* na sub-bacia do Córrego da Assistência está fortemente relacionada ao histórico de uso da terra e aos processos de degradação ambiental observados na região. A concentração da espécie em áreas anteriormente impactadas pela mineração indica que esses ambientes podem atuar como importantes núcleos de estabelecimento e expansão, ressaltando a necessidade de monitoramento e avaliação contínua de sua dinâmica espacial.

Figura 5 – Localização dos pontos de verificação de campo da ocorrência de *Leucaena leucocephala*.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Tabela 3 – Pontos de verificação de campo

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVAÇÃO/DIREÇÃO
P1	22°29'45" S	47°34'54" W	237° SW
P2	22°30'19" S	47°34'59" W	138° SE
P3	22°29'50" S	47°34'53" W	152 ° SE
P4	22°29'44" S	47°34'53" W	197° S

Figura 6 – Registros fotográficos dos pontos de verificação de campo com ocorrência de *Leucaena leucocephala*.



Os registros fotográficos obtidos em campo permitiram confirmar a ocorrência de indivíduos de *Leucaena leucocephala* nos pontos previamente identificados durante a etapa de interpretação visual das imagens de satélite. As observações evidenciaram a presença da

espécie em agrupamentos relativamente homogêneos, formando manchas de vegetação com características estruturais semelhantes às observadas no mapeamento realizado. Dessa forma, a verificação de campo contribuiu para aumentar a confiabilidade da identificação da espécie e para validar os padrões espaciais observados na classificação de uso e cobertura do solo.

5.5 Relação entre a ocorrência de *Leucaena leucocephala* e as classes de uso e cobertura do solo

A análise da distribuição espacial de *Leucaena leucocephala* evidenciou que a espécie ocorre associada a diferentes classes de uso e cobertura do solo presentes na sub-bacia do Córrego da Assistência. Os polígonos mapeados indicaram maior concentração da espécie em áreas com vegetação arbórea, matas ciliares e locais submetidos a alterações antrópicas, especialmente em setores anteriormente influenciados por atividades minerárias.

A ocorrência da espécie em áreas degradadas pode estar relacionada às características ecológicas de *Leucaena leucocephala*, reconhecida por seu rápido crescimento, elevada produção de sementes e capacidade de colonizar ambientes perturbados. Essas características favorecem seu estabelecimento em locais onde a cobertura vegetal original foi removida ou modificada, permitindo sua expansão em áreas com menor competição interespecífica (ZENNI; ZILLER, 2011; MARTELLI, 2022).

Além das áreas degradadas, observou-se a presença da espécie próxima a fragmentos florestais e trechos de mata ciliar. Essa condição merece atenção, uma vez que espécies exóticas invasoras podem competir com a vegetação nativa por recursos como luz, água e nutrientes, alterando gradativamente a composição florística dos ambientes ocupados (VITOUSEK et al., 1997; LEÃO et al., 2011). Estudos realizados no Brasil também apontam que *Leucaena leucocephala* apresenta potencial de formação de populações densas e persistentes, dificultando os processos naturais de regeneração da vegetação nativa (PINI, 2024; ZARDETTO, 2023).

Outro aspecto relevante refere-se à proximidade de alguns polígonos com cursos d'água e áreas de drenagem. A presença da espécie nesses locais pode favorecer sua dispersão ao longo da paisagem, ampliando gradualmente sua área de ocorrência dentro da sub-bacia. Ambientes ripários frequentemente atuam como corredores ecológicos, possibilitando o transporte e estabelecimento de espécies vegetais em novas áreas, especialmente quando associados a ambientes previamente alterados por ações antrópicas.

Embora a classe correspondente à ocorrência de *Leucaena leucocephala* represente uma parcela relativamente reduzida da área total mapeada, sua distribuição espacial demonstra potencial de expansão para outros ambientes da sub-bacia. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a importância do monitoramento contínuo da espécie e da adoção de estratégias de manejo que reduzam sua dispersão, contribuindo para a conservação da vegetação nativa e para a recuperação ambiental das áreas degradadas presentes na região de estudo.

6. CONCLUSÃO

O mapeamento realizado na sub-bacia do Córrego da Assistência permitiu identificar a ocorrência de *Leucaena leucocephala* e analisar sua distribuição em relação às diferentes classes de uso e cobertura do solo presentes na área de estudo. A utilização de imagens orbitais associadas às ferramentas de geoprocessamento possibilitou a delimitação das áreas ocupadas pela espécie e a quantificação de sua representatividade na paisagem.

Os resultados evidenciaram que *Leucaena leucocephala* ocorre principalmente em áreas submetidas a algum grau de alteração antrópica, incluindo setores influenciados por atividades minerárias, além de áreas próximas a fragmentos florestais e cursos d'água. Embora a espécie não represente a classe predominante na sub-bacia, sua distribuição em diferentes ambientes demonstra sua capacidade de estabelecimento e permanência na área estudada.

As visitas de campo realizadas contribuíram para a confirmação visual de parte das áreas identificadas durante o mapeamento, reforçando a interpretação adotada na delimitação dos polígonos. Os registros fotográficos obtidos evidenciaram a presença de agrupamentos com características compatíveis com *Leucaena leucocephala*, fornecendo suporte às informações obtidas por meio da análise espacial.

Os resultados obtidos indicam a importância do acompanhamento da espécie na sub-bacia, especialmente em áreas degradadas e em locais próximos à vegetação nativa, onde sua expansão pode favorecer alterações na dinâmica da paisagem ao longo do tempo. Nesse sentido, o presente estudo fornece informações que podem subsidiar futuras ações de monitoramento e manejo, além de servir como base para investigações mais detalhadas sobre a dinâmica de dispersão da espécie na região.

Por fim, destaca-se que a integração entre análise espacial e observações de campo mostrou-se uma estratégia adequada para o levantamento inicial da ocorrência de *Leucaena leucocephala*, os resultados obtidos podem servir como subsídio para futuras ações de monitoramento ambiental, recuperação de áreas degradadas e manejo de espécies invasoras na bacia do rio Corumbataí.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASNER, Gregory P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdam, v. 64, n. 3, p. 234-253, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00014-5).
2. BELGIU, Mihai; DRĂGUȚ, Lucian. Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, v. 114, p. 24-31, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.
3. BRADLEY, Bethany A. Remote detection of invasive plants: a review of spectral, textural and phenological approaches. *Biological Invasions*, Dordrecht, v. 16, p. 1411-1425, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0578-9>.
4. CAETANO, Elenice Hass. *Caracterização mineralógica de argilas bentoníticas*. 2015. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.
5. CAMPBELL, James B.; WYNNE, Randolph H. *Introduction to remote sensing*. 5. ed. New York: Guilford Press, 2011.
6. CAVENDER-BARES, Jeannine et al. Remote sensing of plant biodiversity. *Nature Reviews Earth & Environment*, London, v. 1, p. 104-118, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0023-0>.
7. CONGALTON, Russell G.; GREEN, Kass. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.
8. DÍAZ, Sandra et al. *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Bonn: IPBES, 2019.
9. FITZ, Paulo Roberto. *Cartografia básica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
10. FLORENZANO, Teresa Gallotti. *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
11. GITELSON, Anatoly A. Remote estimation of crop chlorophyll content in crops. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 113, p. 1-30, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386473-4.00001-4>.
12. GITELSON, Anatoly A.; MERZLYAK, Mark N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 18, n. 12, p. 2691-2697, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311697217558>.

13. GOMES, Cláudio Sérgio Ferreira et al. Characterization of clays from the Corumbataí Formation. *Applied Clay Science*, Amsterdam, v. 123, p. 123-135, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.01.030>.
14. IBGE. *Manual técnico de uso da terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7).
15. JENSEN, John R. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007.
16. LEÃO, Tarciso C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, Michele de Sá; ZILLER, Sílvia Renate. *Espécies exóticas invasoras no Nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas*. Recife: CEPAN, 2011.
17. LILLESAND, Thomas M.; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan W. *Remote sensing and image interpretation*. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2015.
18. MARTELLI, Anderson. Uma proposta de erradicação da espécie exótica invasora denominada *Leucaena* em uma área do município de Itapira-SP e o favorecimento da biodiversidade local. *Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade*, Montes Claros, v. 4, n. 2, p. 275-287, 2022. DOI: <https://doi.org/10.46551/rvg2675239520222275287>.
19. NORONHA, Norberto Cornejo. *Caracterização morfológica, física, química e mineralógica de rejeitos de mineração de calcário da Formação Irati: região de Piracicaba (SP)*. 1999. 159 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
20. PEREIRA, Thiago T. C.; OLIVEIRA, Fábio S.; FREITAS, Diana F.; DAMASCENO, Bruna D.; DIAS, Adriana C. A mineralogia dos solos tropicais: estado da arte e relação com o uso e manejo. *Geonomos*, Belo Horizonte, v. 28, n. 1, p. 1-14, 2020. DOI: 10.18285/geonomos.v28i1.29650.
21. PINI, Marianela. Efeitos da leguminosa invasora *Leucaena leucocephala* sobre outras plantas: uma abordagem meta-analítica e experimental. 2024. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.
22. RICHARDS, John A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 5. ed. Berlin: Springer, 2013.

23. SÁNCHEZ, Luis Enrique. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
24. SCHERER, Luciani Márcia et al. Efeito alelopático do extrato aquoso de *Leucaena leucocephala*. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 1-10, 2005.
25. USTIN, Susan L. et al. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdam, v. 113, p. S67-S77, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.019>.
26. VERRELST, Jochem et al. Optical remote sensing and the retrieval of vegetation biophysical properties. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdam, v. 236, 111558, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111558>.
27. VITOUSEK, Peter M. et al. Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology*, Wellington, v. 21, n. 1, p. 1-16, 1997.
28. ZARDETTO, Juliano. *Efeitos de uma exótica invasora amplamente distribuída (Leucaena leucocephala) nas dinâmicas local e regional de comunidades em regeneração*. 2023. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Evolução e Biodiversidade) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2023.
29. ZENNI, Rafael Dudeque; ZILLER, Sílvia Renate. An overview of invasive plants in Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, São Paulo, v. 34, p. 431-446, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300016>.
30. ZHANG, C.; ZHANG, L. Deep learning for remote sensing data: a technical tutorial. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, New York, v. 8, n. 4, p. 22-40, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/MGRS.2020.2997415>.