

## ANÁLISE ESPACIAL DAS ÁREAS DE MINERAÇÃO QUANTO ÀS LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS: UM ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA, SP

*SPATIAL ANALYSIS OF MINING AREAS IN REGARD TO ENVIRONMENTAL LEGISLATIONS:  
A CASE STUDY FOR THE MUNICIPALITY OF CAÇAPAVA, SP*

Ana Clara Bueno BENTO<sup>1</sup>, Tatiana Sussel Gonçalves MENDES<sup>1</sup>, Luciana Maria FERRER<sup>2</sup>,  
Klécia Gili MASSI<sup>1</sup>, Antonio Carlos Varela SARAIVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP. Rodovia Presidente Dutra, km 137,8, Eugênio de Melo. São José dos Campos – SP. E-mail: ana.bento@unesp.br; tatiana.mendes@unesp.br; klecia.massi@unesp.br; antonio.saraiva@unesp.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Avenida dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos – SP. E-mail: luciana.ferrer@inpe.br

Introdução  
Materiais e Métodos  
Área de estudo  
Definição das variáveis ambientais e levantamento dos dados  
Análise espacial  
Resultados e Discussão  
Análise de proximidade  
Análise de intersecção  
Referências

**RESUMO** - A Bacia do Rio Paraíba do Sul é um importante depósito de sedimentos, e tal fato, somado a sua localização estratégica, transforma o Vale do Paraíba em uma importante fonte do mineral não-metálico. A região conta com normativos acerca da extração mineral bastante específicos e restritivos, o que leva os empreendimentos minerários a envidarem grandes esforços para o cumprimento das questões legais. Assim, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise espacial das cavas de mineração de areia no município de Caçapava, Estado de São Paulo, quanto às legislações ambientais. O método utilizado consistiu na identificação e caracterização das áreas de mineração quanto às questões legais utilizando ferramentas de análise espacial baseadas em distância e intersecção. Como resultados, pode-se verificar a presença de áreas com desconformidades no que se refere à distância mínima de áreas urbanizadas, incidência em áreas de proteção ambiental e zonas de várzea. Tais fatos, somados aos já conhecidos impactos ambientais causados pela atividade de mineração, agravam os riscos aos corpos d'água e sua vizinhança. Conclui-se que o método proposto é uma importante ferramenta para o monitoramento constante dessas áreas e que pode auxiliar órgãos ambientais fiscalizadores a tomadas de decisão mais assertivas.

**Palavras-chave:** Mineração de Areia. Cava Submersa. Análise Espacial. Impacto Ambiental.

**ABSTRACT** - The Paraíba do Sul River Basin is an important sediment deposit, and this fact, coupled with its strategic location, makes the Paraíba Valley an important source of aggregates. The region has very specific and restrictive regulations on mineral extraction, which leads mining companies to make great efforts to comply with legal issues. Thus, this study aims to carry out a spatial analysis of sand mining pits in the municipality of Caçapava, in the state of São Paulo, concerning environmental legislation. The method used consisted of identifying and characterizing the mining areas in terms of legal issues using spatial analysis tools based on distance and intersection. The results show the presence of areas with non-compliance in terms of minimum distance from urbanized areas, incidence in environmental protection areas and floodplain zones. These facts, added to the already known environmental impacts caused by mining activities, aggravate the risks to water bodies and their surroundings. It is concluded that the proposed method is an important tool for constant monitoring of these areas and can help environmental inspection bodies make more assertive decisions.

**Keywords:** Sand Mining. Submerged Pit. Spatial Analysis. Environmental Impacts.

### INTRODUÇÃO

O Brasil possui um longo histórico quanto à atividade extrativa mineral. A mineração do ouro no Brasil colônia, em sua maioria exportadora, promoveu o desenvolvimento industrial da Inglaterra e deixou como legados a miséria do povo, especialmente do interior do país, e a destruição de ecossistemas e contaminação do solo e corpos hídricos (Galeano, 2015).

O Brasil detém de uma das maiores reservas de recursos minerais metálicos e não-metálicos, estes que correspondem aos recursos essenciais

para o desenvolvimento do país, utilizados pela indústria e construção civil. Atualmente, o minério de ferro é o produto de maior receita e participação (5,6%) na indústria brasileira (Agência IBGE Notícias, 2023). No caso da mineração de agregados, como areia, argila, brita e calcário, a produção mineral no Brasil representa quase 2% do produto interno bruto, sendo que a maior parte das áreas de minerais não metálicos concentram-se nas regiões Sudeste e Sul (Lupinacci et al., 2022).

Vale ressaltar que para o a mineração a céu aberto é necessária não só a utilização de grandes espaços como também a intervenção na superfície terrestre. Logo, a impressão sobre a atividade de mineração é sempre (ou muito frequentemente) relacionada a impactos negativos e significativos causados ao meio ambiente, haja vista que são atrelados à supressão de vegetação, exposição do solo e processos erosivos, além da alteração na qualidade das águas, sejam superficiais ou subterrâneas (Ferrer et al., 2021; Mechi et al., 2010; Ribeiro et al., 2010; Rózkowski et al., 2020). Quando essas atividades, por natureza impactantes, são causadoras de desastres ambientais, como os de Mariana, Brumadinho e recentemente, Maceió, se aprofundam os questionamentos das atividades minerárias. Dessa forma, as decisões sobre quais minérios extrair, de que forma e em que ritmo, devem estar submetidas a um debate público e orientadas por uma visão estratégica que beneficie, de fato, toda a sociedade. Disto se depreende que os impactos socioambientais da mineração não são simples, ao contrário, são ecologicamente complexos, espacialmente amplos e, por serem irreversíveis, são temporalmente permanentes (Milanez, 2017).

A Agência Nacional de Mineração (ANM) é o órgão responsável pela regulamentação e regularização da atividade de extração mineral no Brasil. Foi criada pela Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017, onde o antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) deu lugar à ANM. Segundo o Artigo 2º da referida lei, é de competência da agência fazer valer o Decreto Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), bem como promover a gestão dos recursos minerais, regularizar e fiscalizar as atividades a fim de verificar o cumprimento das legislações vigentes, entre outras atividades correlatas (Brasil, 2017; Brasil, 1967).

Por se tratar de um bem comum da União, os recursos minerais precisam ser explorados conscientemente, conforme o Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que assegura a exploração mineral com a obrigatoriedade de recuperar e restabelecer o meio ambiente ao fazê-lo, sendo de responsabilidade dos diversos órgãos públicos competentes a fiscalização. No Estado de São Paulo, além do cumprimento das exigências da ANM, quanto à regularização dos processos minerários, é necessário o Licenciamento Ambiental realizado junto a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que possui a finalidade

de minimizar e monitorar os danos ambientais causados pela atividade (Brasil, 1988).

Cabe destacar o Decreto nº 67.430, de 30 de dezembro de 2022, que estabelece a criação do Zoneamento Ecológico Econômico de São Paulo (ZEE-SP). Este surge como um esforço do Estado para o planejamento e organização ambiental e territorial, tendo como principal objetivo o estabelecimento de diretrizes e gestão integrada entre o território e o meio ambiente, numa perspectiva de avaliar as potencialidades e vulnerabilidades das regiões que compõem o Estado de São Paulo, abrangendo o exercício da atividade minerária e a conservação do meio ambiente (São Paulo, 2022).

O ZEE-SP divide o Estado de São Paulo em nove regiões administrativas e a Zona 9 corresponde à região de São José dos Campos, zona metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. O Decreto estabelece que a localidade demanda atenção para os indicadores de supressão de cobertura vegetal nativa, buscando aprimorar e reforçar a fiscalização e monitoramento dessas áreas. Também é de interesse Estadual o controle da expansão da atividade minerária na região (São Paulo, 2022).

Na região do Vale do Paraíba, a planície aluvial da bacia do Rio Paraíba do Sul, com sua capacidade de estocagem hídrica no aquífero da bacia sedimentar de Taubaté (Reis et al., 2006) e a alta qualidade das areias do Quaternário para uso direto na indústria da construção aumentou a prosperidade minerária na região a partir dos anos 80 (Ferrer et al., 2021).

Outro fator decisivo que alavancou o Vale do Paraíba nas atividades minerárias foi a paralisação da extração de areia em antigas jazidas na região metropolitana de São Paulo devido às pressões urbanas sobre as áreas de mineração (Diniz et al., 2010). Dessa forma, a extração de recursos minerais não-metálicos, principalmente areia, tornou-se um grande mercado na região, essencial para o abastecimento do setor da construção civil entre as metrópoles do Rio de Janeiro e São Paulo.

A Resolução SMA nº 28, de 22 de setembro de 1999 (São Paulo, 1999) é um normativo aplicado especificamente para a extração de areia no subtrecho da bacia do Rio Paraíba do Sul e discorre acerca do zoneamento ambiental. Neste, foram estabelecidos diversos mapas de uso e ocupação do solo que incluem a região de estudo – Caçapava, além dos municípios de Jacareí, São

José dos Campos, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba.

Além disso, são descritas as formas de extração aplicadas: a já extinta, em leito de rio e a atual, em cava submersa (São Paulo, 1999). Na região, a extração de areia é realizada pelo método de cavas submersas, cujo procedimento, embora traga impacto visual considerável, está no formato licenciado pela agência ambiental (Vieira, 2012; Ferrer et al., 2021).

No município de Caçapava, área interesse deste estudo, a Lei Complementar nº 254, de 05 de junho de 2007 (Caçapava, 2007) estabelece o Plano Diretor da cidade, onde este institui a Zona de Meandro do rio Paraíba do Sul. Essa zona tem por objetivo proteger as áreas ao redor do leito do rio, não sendo permitida a ocupação desta, apenas se licenciadas ambientalmente. Esses espaços foram identificados como: “áreas de especial interesse paisagístico, de patrimônio histórico e ao longo de rios e córregos, meandros, várzeas, áreas estas delimitadas” (Caçapava, 2007).

Embora a extração de areia seja necessária, ela deve ser feita de maneira a minimizar os impactos ambientais, principalmente os da paisagem (Reis et al., 2006). Diante disso, faz-se necessária a

junção entre resguardo da natureza local aliado ao desenvolvimento socioeconômico da região, levando em consideração os diversos critérios estabelecidos por leis e regulamentos, ponderando os avanços tecnológicos e os impactos que os empreendimentos minerários causam ao município e ao meio ambiente. Dessa forma, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite otimizar uma análise espacial das áreas de mineração e seu entorno e se mostra como uma importante ferramenta para o monitoramento das atividades de mineração (Rudke et al., 2021), de modo a auxiliar a investigação de como a mineração de areia pode afetar os serviços ecossistêmicos, a biodiversidade e espécies particularmente ameaçadas (Ferrer et al., 2021; Koehnken et al., 2020).

Neste contexto, com base nos aspectos legais e considerando variáveis ambientais que possibilitam identificar possíveis impactos ambientais causados no processo de extração de areia, este trabalho tem como objetivo analisar espacialmente as cavas de mineração de areia no município de Caçapava, no Estado de São Paulo, para avaliar a conformidade das cavas, ativas e inativas, com as legislações vigentes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

Inserido na Bacia do Rio Paraíba do Sul, uma Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 02 (UGRHI 02) do Estado de São Paulo (Figura 1b), o município de Caçapava se encontra na porção leste do Estado de São Paulo (Figura 1a), a 113 km da capital estadual. Possui uma extensão territorial de 368.990 km<sup>2</sup> e é residência de 96.202 pessoas, conforme o último censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). O município faz parte da Região Metropolitana do Vale do Rio Paraíba e é delimitado pelas cidades de Monteiro Lobato, Taubaté, São José dos Campos, Jambeiro e Redenção da Serra (Figura 1c).

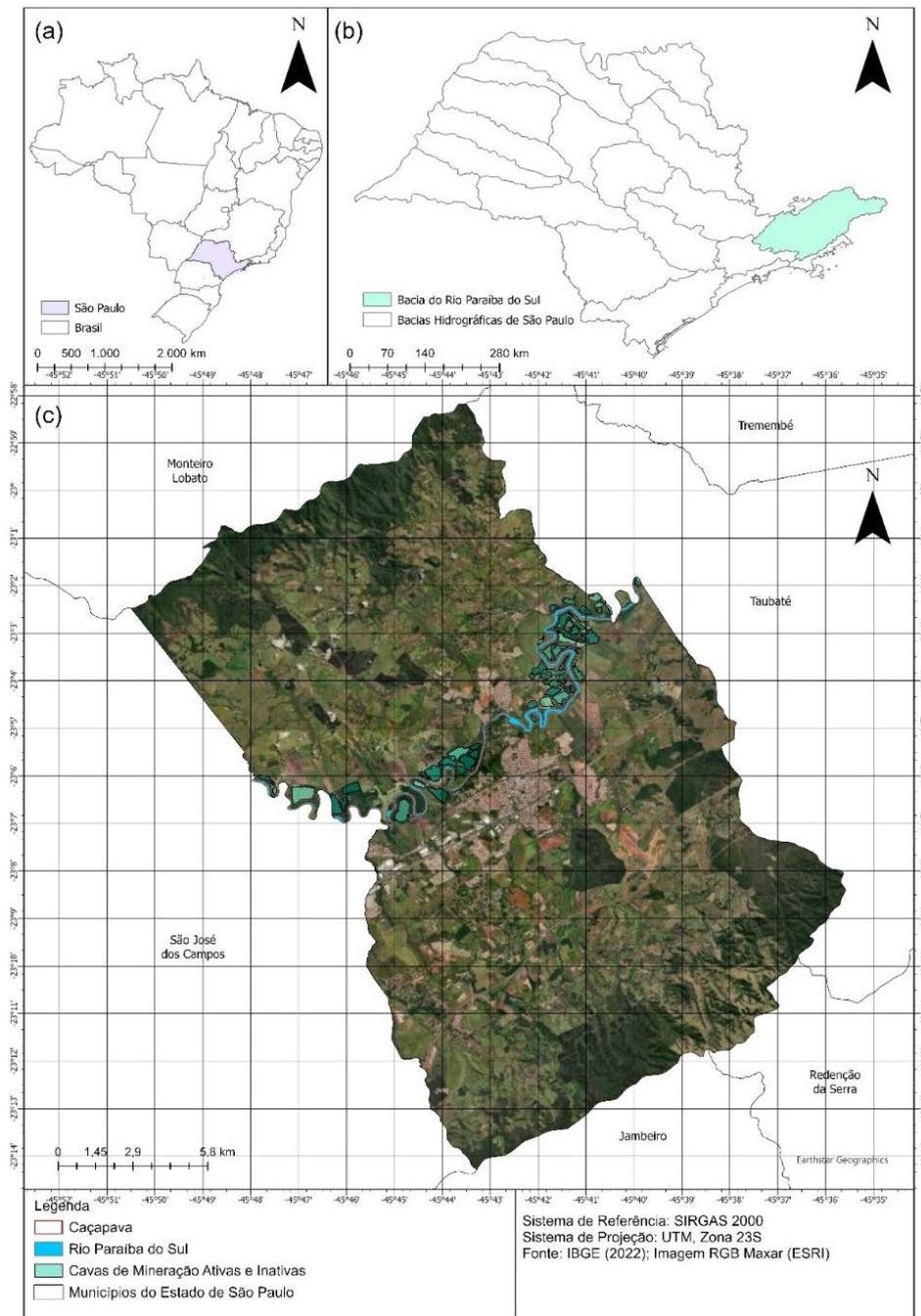
Segundo o Macrozoneamento definido pela Lei Complementar nº 254, de 05 de junho de 2007 (Caçapava, 2007), o município é dividido em nove zonas principais que são definidas pelo seu uso do solo, sendo essas: Zona Urbana; Zona de Expansão Urbana; Zona Ambientalmente Protegida; Zona de Proteção Ambiental Permanente; Zona de Especial Interesse Social; Zona Industrial e de Serviços, Zona de

Desenvolvimento Comercial e de Serviços; Zona Rural; e Zona de Transição Industrial e de Serviços.

Ainda, segundo a Resolução SMA nº 7, de 18 de janeiro de 2017 (São Paulo, 2017), o município de Caçapava é classificado como muito alta na prioridade de restauração de vegetação nativa. Em relação a Unidades de Conservação (UC), seja essa no âmbito nacional ou estadual, que possam incidir na área de estudo, foi verificado que para o município de Caçapava a área de conservação mais próxima estabelecida é a APA Bacia do Rio Paraíba do Sul, não se encontrando dentro da área compreendida por este estudo.

### Definição das variáveis ambientais e levantamento dos dados

As variáveis ambientais para a análise foram definidas segundo uma revisão das legislações ambientais em âmbito federal, estadual e municipal. A tabela 1 apresenta as nove variáveis ambientais selecionadas para a análise. Todos os dados espaciais utilizados no desenvolvimento deste estudo foram obtidos de forma digital por instituições públicas e privadas.



**Figura 1.** Localização da Área de Estudo: (a) Estado de São Paulo localizado no Brasil; (b) Bacia do Rio Paraíba do Sul localizada no Estado de São Paulo; e (c) Município de Caçapava e seus municípios vizinhos.

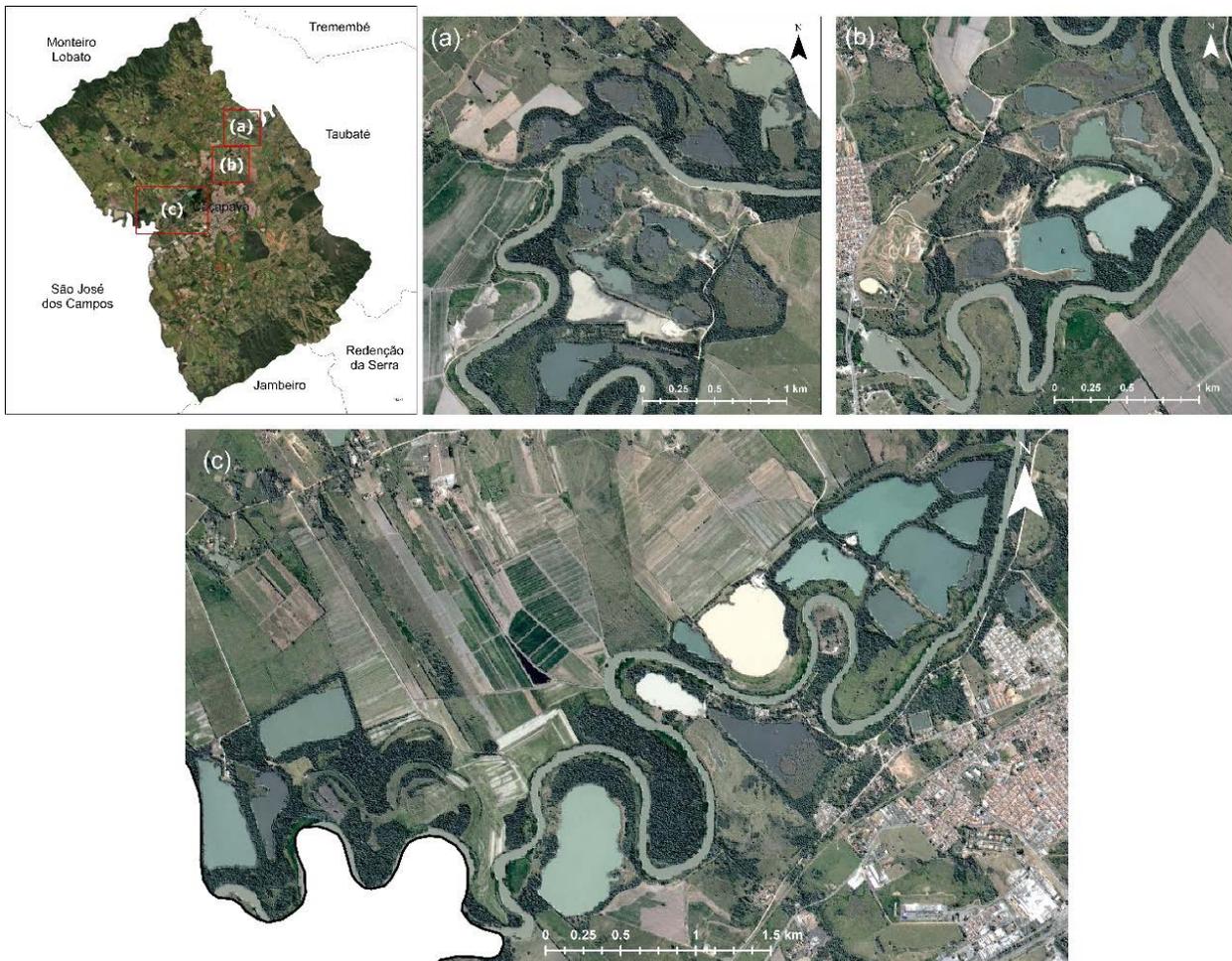
**Tabela 1 -** Variáveis ambientais para análise, legislação de origem, tipo de relacionamento e fonte do dado.

Variável	Origem Legal	Relacionamento	Fonte
Área de Preservação Permanente	Código Florestal Resolução SMA 28/99	Intersecção	FBDS (2012)
Fragmentos de Vegetação	Código Florestal Resolução SMA 28/99	Intersecção	IPA (2020)
Nascentes	Código Florestal	Proximidade	FBDS (2012)
Reserva Legal	Código Florestal Resolução SMA 28/99	Intersecção	SICAR (2023)
Zona Ambientalmente Protegida	Plano Diretor	Proximidade	Caçapava (2007)
Zona de Expansão Urbana	Plano Diretor	Proximidade	Caçapava (2007)
Zona de Várzea	Plano Diretor	Intersecção	Caçapava (2007)
Zona Rural	Plano Diretor	Proximidade	Caçapava (2007)
Zona Urbana	Plano Diretor	Proximidade	Caçapava (2007)

Para obtenção das áreas de mineração do município de Caçapava foi realizada uma consulta no Sistema de Informação Geográfica da Mineração (SIGMINE), da ANM, para o levantamento dos Processos Minerários incidentes na área de estudo. Foram encontradas 62 cavas no município, ativas e inativas, as quais foram cuidadosamente vetorizadas com o auxílio de imagens de alta resolução disponíveis no software do Google Earth Pro e de uma imagem

ortorretificada do satélite CBERS 04A do dia 23 de maio de 2023, com resolução espacial de 2 metros. Para tal, foram usadas as imagens da câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM).

As bandas RGB foram fusionadas com a banda pancromática usando o método *pansharpening*. A Figura 2 mostra as cavas de mineração do município de Caçapava a partir da composição colorida R3G2B1.



**Figura 2.** Cavas de areia do município de Caçapava, Estado de São Paulo a partir de uma cena de 23 de maio de 2023 obtida pela câmera WPM do satélite CBERS 04A.

Os dados espaciais estão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) e foram projetados para o sistema de projeção Universal Transversal de Mercator (UTM) Fuso 23S.

#### **Análise espacial**

A avaliação das cavas de mineração de areia foi realizada com variáveis ambientais segundo dois tipos de relacionamento: proximidade e intersecção. As variáveis ambientais Zona Ambientalmente Protegida, Zona Rural, Nascentes, Zona Urbana e Zona de Expansão Urbana foram avaliadas considerando o relacio-

namento de proximidade, enquanto as variáveis Fragmentos Florestais, Zona de Várzea, Reserva Legal e Área de Preservação Permanente (APP) foram analisadas considerando a intersecção (Tabela 1). Mapas sínteses foram gerados para representar as análises. O *software* ArcGIS Pro (proprietário da ESRI) foi utilizado para as análises espaciais e produção dos mapas sínteses. A escala 1:10.000 foi usada para representar os dados, gerando arquivos rasters com resolução espacial de dois metros.

Para as análises de proximidade ou distância das cavas de mineração, primeiramente, foi neces-

sário gerar um arquivo, em formato raster, que representa para cada pixel a menor distância Euclidiana (em metros) de uma cava de mineração. A ferramenta utilizada foi “*distance Euclidean*” e como entrada foram utilizados os polígonos que representam as cavas de mineração.

Para as variáveis em análise por proximidade, transformou-se os polígonos em pontos que representam seus vértices usando a ferramenta “*Feature Vertices to Points*” e, para cada ponto, foi obtida a menor distância até uma cava de areia por meio da ferramenta “*Extract Values to Points*”, usando como base o mapa de distância das cavas de mineração.

Para as variáveis em análise por intersecção, foi necessário identificar e quantificar as áreas de intersecção entre os polígonos que representam cada uma das variáveis e as cavas de mineração.

Para tal foi usada a ferramenta “*Intersect*”. Através deste processo, a quantidade de cavas de mineração intersectadas foi calculada.

Para algumas variáveis foi necessário obter uma faixa de distância constante, a qual foi realizada com a ferramenta *Buffer*. Para a variável Nascente foi necessário materializar a APP de 50 metros, conforme o novo Código Florestal (Lei Nacional nº 12.651/2012; Brasil, 2012).

Da mesma forma foi feito para as áreas urbanizadas, mas com uma faixa de distância de 400 metros. Essa é a distância definida pela CETESB na Decisão de Diretoria nº 25/2014/C/I, que determina o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários na região de estudo (Brasil, 2012; São Paulo, 2014). Para as áreas urbanizadas foi considerada a união entre as variáveis Zonas Urbanas e Zonas de Expansão Urbana (Tabela 1).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise de proximidade

Os mapas sínteses das análises de proximidade são apresentados nas figuras 3 a 5. As análises numéricas de distâncias mínimas

encontradas e permitidas (em metros) e número e porcentagem de cavas de mineração próximas às áreas representadas pelas variáveis ambientais são apresentadas na tabela 2.

**Tabela 2** – Resultados numéricos obtidos para as análises de proximidade.

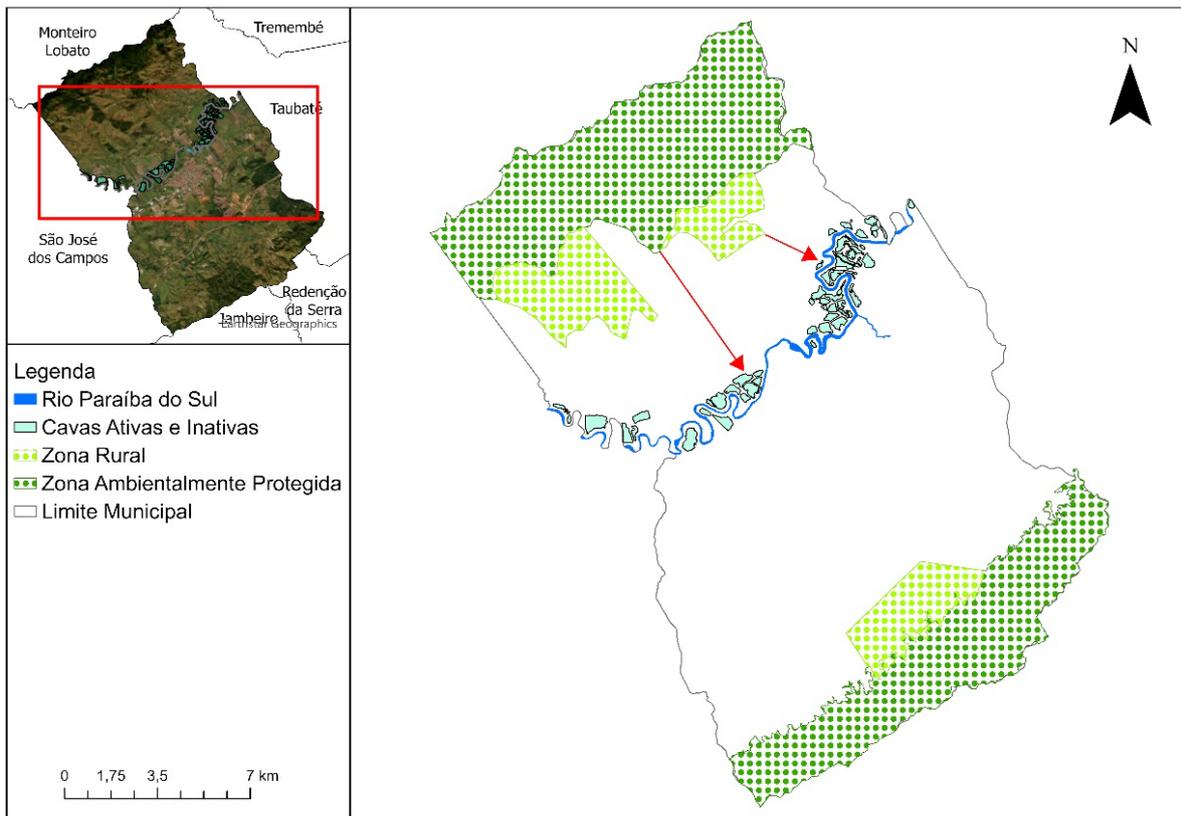
Variável	Distância Mínima encontrada (m)	Distância Mínima permitida (m)	Número de cavas abaixo da Distância Mínima permitida (m)	% de cavas abaixo da Distância Mínima permitida (m)
Zona de Expansão Urbana	46,26	400	12	19
Zona Urbana	89,47	400	8	13
Zona Rural	2163,51	-	-	-
Zona Ambiental Protegida	2946,97	-	-	-
Nascentes	199,40	50	-	-

Em relação às áreas que compreendem o Zoneamento Municipal, observou-se que tanto a Zona Ambientalmente Protegida quanto a Zona Rural se encontram a mais de dois quilômetros de distância das áreas de mineração de areia no município (Tabela 2), de acordo com a legislação municipal (Figura 3).

A manutenção de tais distâncias é importante, visto que a área de conservação estabelecida pelo Plano Diretor tem como objetivo eliminar ou mitigar os danos ambientais nesses locais. Logo, a Zona Ambientalmente Protegida, que se encontra a uma distância mínima de 2.947 metros, está distante de perigos relacionados às alterações e impactos ambientais da atividade extrativa. Nesta zona são permitidas apenas atividades agrossilvipastoris, turismo e similares (Caçapava, 2007).

A Zona Rural do município de Caçapava é composta por propriedades onde há produção agrícola, agroindustrial e agropastoril, inscritas no Cadastro Imobiliário Rural Municipal, estando localizada a uma distância mínima de 2.164 metros das áreas que compreendem as cavas de mineração de areia nos meandros do Rio Paraíba do Sul (Tabela 2).

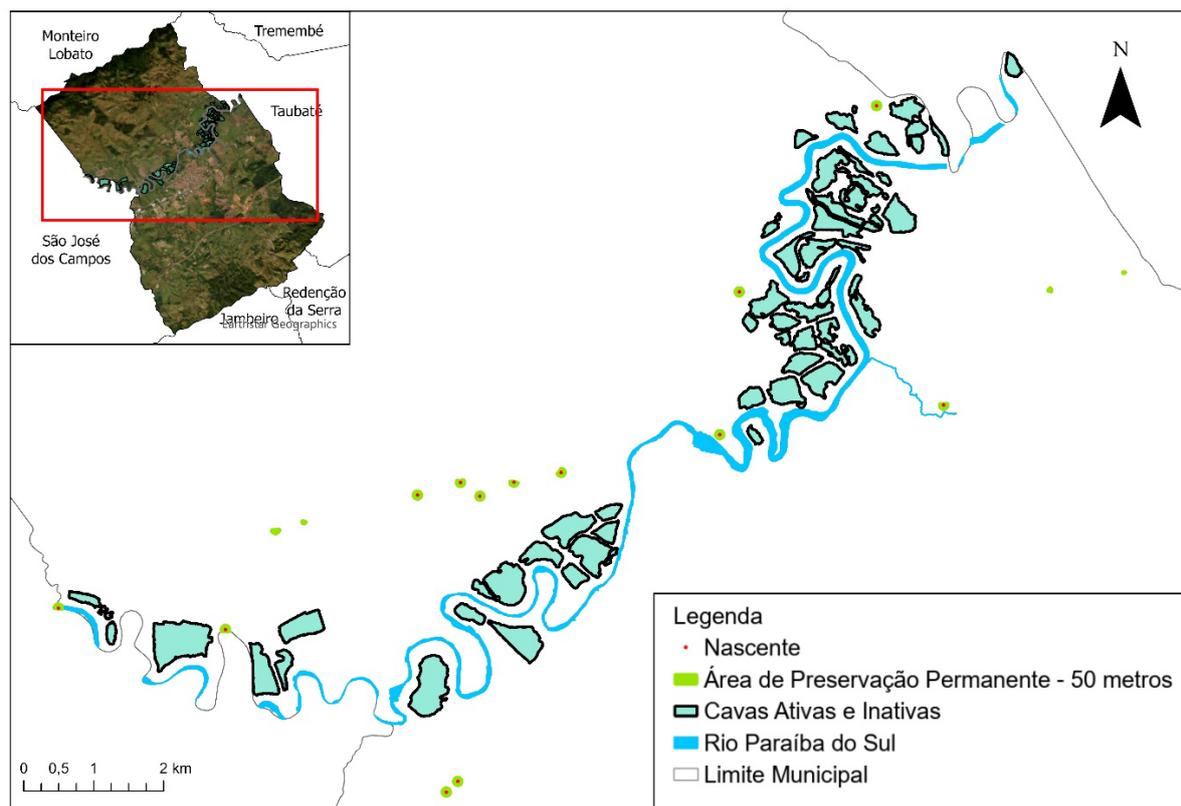
As distâncias da área de mineração com mais de dois quilômetros das Zonas Ambientalmente Protegidas e da Zona Rural é um ponto positivo na análise, uma vez que as atividades minerárias de areia, além de modificarem a paisagem local, entram em conflito com os demais usos, por exemplo, as áreas de conservação da fauna e flora e as atividades agrícolas, com a diminuição das áreas disponíveis para agricultura (Diniz et al., 2010).



**Figura 3.** Proximidade entre as cavas de mineração e as variáveis Zona Ambientalmente Protegida e Zona Rural.

Outro ponto importante é a qualidade do solo, cuja depreciação ocorre após o término da mineração, com alto potencial de deterioração gerado pela compactação e remoção de matéria

orgânica nas áreas de solo exposto (Da Silva et al. 2020). Para a variável Nascentes foi considerada a distância de 50 metros correspondente à sua APP, conforme figura 4.



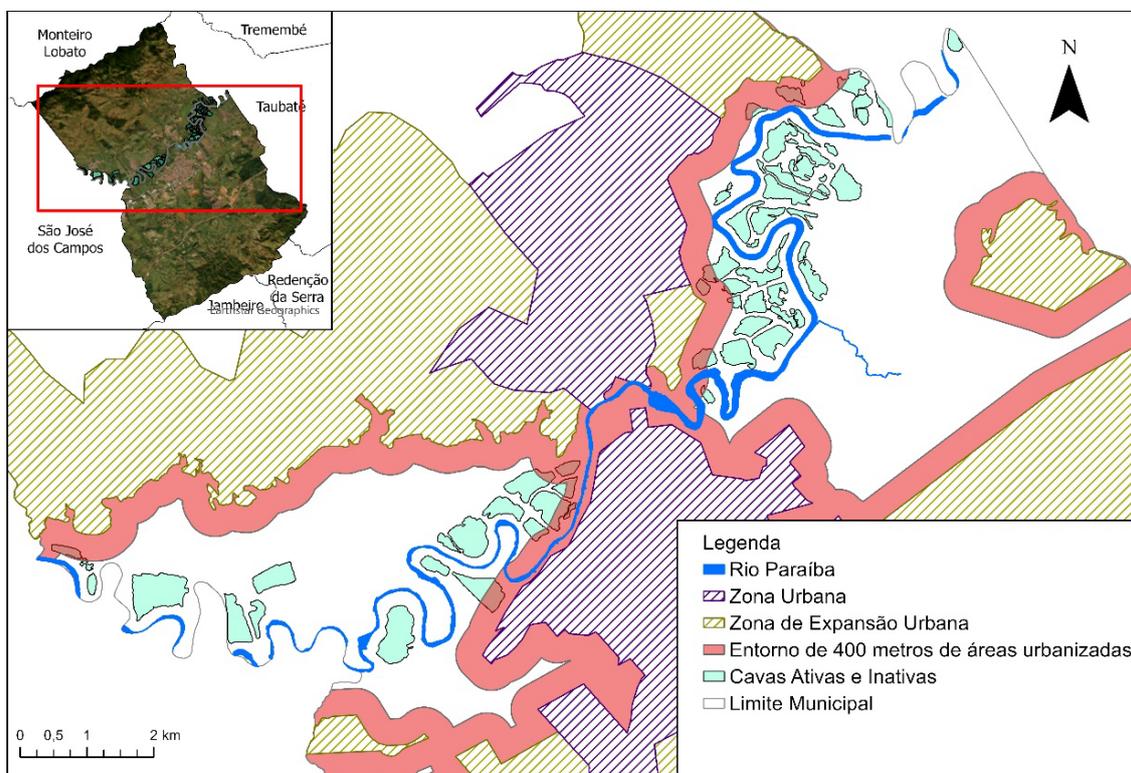
**Figura 4.** Proximidade entre as cavas de mineração e as APPs de 50 metros das nascentes, conforme exigido por lei (Lei Nacional nº 12.651/2012).

A partir da análise de proximidade verificou-se que todas as cavas de mineração respeitam a distância de APP de nascentes, sendo que a cava mais próxima de uma nascente está a 199,40 metros de distância (Tabela 2). Um indicador do alto nível de degradação das nascentes é a presença de atividades de extrativismo mineral (Auer et al., 2015). As cavas produzem grandes lagos abastecidos pela água do aquífero sedimentar quaternário (Diniz et al., 2010), podendo causar o rebaixamento do freático e o secamento das nascentes. Junqueira (2018) relata em seu estudo que diversas nascentes secaram em resultado das atividades de mineração na região de Cerrado, prejudicando a população local em período de crise hídrica.

As variáveis Zona Urbana e Zona de Expansão Urbana foram consideradas como áreas urbanizadas (consolidadas ou em expansão). Essas áreas devem estar a uma distância mínima de 400 metros das áreas de mineração, conforme determina a legislação estadual para as áreas urbanas consolidadas, definida pela densidade demográfica

de, no mínimo, 50 habitantes por hectares. No entanto, entende-se que as Zonas de Expansão Urbana possam atingir tal densidade demográfica rapidamente e se configurar com área urbana consolidada. Isso pode ser constatado pelo aumento de 13,51% da população do município dada pelo último censo demográfico (IBGE, 2022) quando comparado com o censo demográfico de 2010. Dessa forma, para as Zonas de Expansão Urbana priorizou-se o uso habitacional, com as mesmas características das Zonas Urbanas.

Na figura 5 é possível observar essa distância de 400 metros, representada por uma faixa (em laranja), assim como as cavas de mineração que estão desconformes com a legislação ambiental estadual. Assim, verificou-se que cerca de 13% das cavas de mineração se encontram abaixo da Distância Mínima permitida em Zonas Urbanas e 19% das cavas de mineração estão localizadas abaixo da Distância Mínima permitida em Zonas de Expansão Urbana, locais estes que podem servir para uso habitacional em um futuro próximo (Tabela 2).



**Figura 5.** Proximidade entre as cavas de mineração e as variáveis Zona Urbana, Zona de Expansão Urbana e entorno de 400 metros definido pelo instrumento de licenciamento da atividade.

O desenvolvimento do centro urbano municipal nas proximidades da área de várzea do rio Paraíba do Sul, além de afetar o Zoneamento Municipal, fez com que as áreas de interesse para expansão urbana fossem ao encontro e, conseqüentemente, se aproximassem das áreas de

mineração do município, que já estava instalada em franca exploração de minério desde meados dos anos 80. Esse mesmo fato pode ser equiparado ao ocorrido no município de São Paulo, que teve por consequência a paralisação da extração de areia no rio Tietê e no rio

Pinheiros motivada pela expansão urbana (Reis et al., 2006).

Além disso, desencadeou sucessivas transferências e aberturas de novas cavas de areia (Bitar, 1997). Como a região do Vale do Paraíba é atualmente uma das regiões do Estado de São Paulo que mais cresce em termos de urbanização, a disputa por áreas vai além das áreas de mineração, mas também com as áreas agrícolas e industriais (Ronquim et al., 2017).

Outro importante problema em relação à proximidade entre as áreas urbanizadas e as áreas de mineração são os chamados impactos de vizinhança. Mesmo sendo permitida a operação de atividades extrativas nas proximidades de centros urbanos, ou por vezes até inseridos nestes, tais atividades podem apresentar consequências relacionadas à poluição sonora e visual, além da redução da qualidade do solo e do ar (Rentier & Cammeraat, 2022) resultantes das operações das máquinas e dos fluxos de caminhão na área de mineração, com ruídos e emissões de poeiras e

gases provenientes da queima de combustíveis, além de compactação do solo e consequente diminuição da infiltração de água (Coutinho et al., 2023).

Ainda, pode causar um impacto socioambiental negativo relacionado à perda de identidade entre as pessoas e o lugar, a chamada diminuição da topofilia (Annibelli & Souza Filho, 2006). Diante disso, pode-se afirmar que a distância encontrada entre as áreas urbanizadas no município de Caçapava e uma parcela das cavas de mineração se mostraram abaixo do limite mínimo de 400 metros de distância, determinado na legislação ambiental.

### Análise de intersecção

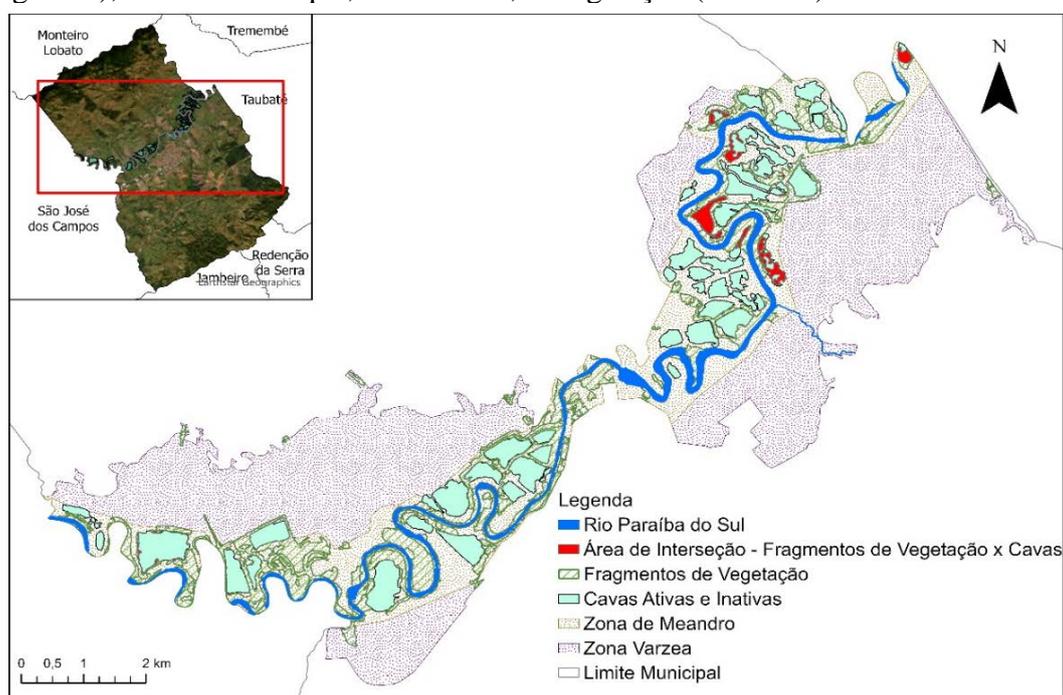
Os mapas sínteses das análises de intersecção são apresentados nas figuras 6 a 9. A tabela 3 apresenta os resultados numéricos da análise espacial indicando a área total de intersecção (em metros quadrados), a quantidade (número) e a porcentagem de cavas intersectantes na respectiva variável.

**Tabela 3** - Resultados numéricos obtidos para as análises de intersecção.

Variável	Área total de intersecção (m <sup>2</sup> )	Número de cavas intersectantes	% de Cavas intersectantes
Área de Preservação Permanente (APP)	166.456,01	25	40
Fragmentos de Vegetação	386.883,39	39	63
Zona de Várzea	311.103,32	8	13
Reserva Legal	88.493,72	26	42

Ao analisar a intersecção entre a variável Fragmentos de Vegetação e as cavas de mineração (Figura 6), verificou-se que, atualmente,

63% das cavas ou 386.883,39 metros quadrados intersectam áreas de antigos fragmentos de vegetação (Tabela 3).

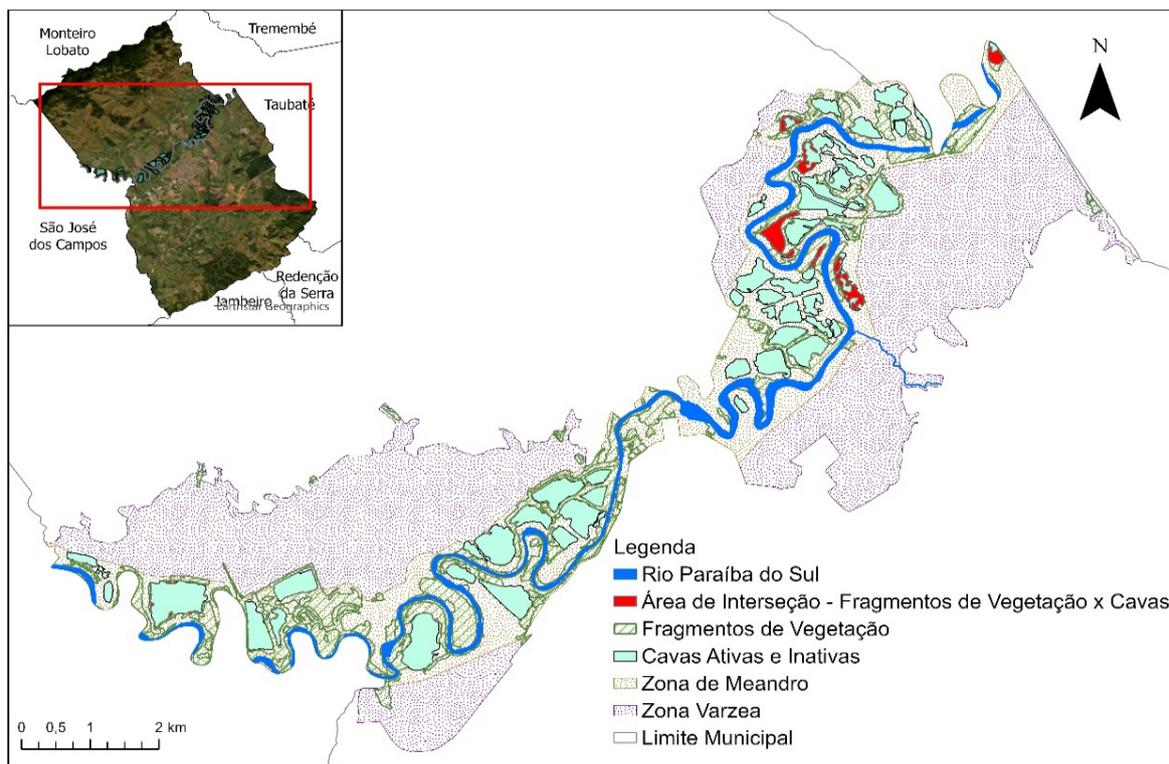


**Figura 6.** Intersecção entre cavas de mineração e a variável Fragmentos de Vegetação.

A supressão da vegetação nativa é um impacto diretamente conectado à atividade de extração mineral, mesmo que de forma controlada ou licenciada, uma vez que a ação influencia diretamente na infiltração da água do solo e no ciclo da água (Ferrer et al., 2021). Além disso, as áreas degradadas pela abertura de lagoas artificiais são dificilmente regeneradas completamente.

Em relação à variável Zona de Várzea, foi verificada 13% de intersecção com as cavas de mineração (Figura 7), ou seja, 13% das cavas estão em Zona de Várzea.

Apesar da legislação municipal não proibir a atividade de extração mineral nessa área, é importante destacar que há alta incidência de áreas agrícolas na região, que possui como principal atividade a cultura de arroz de várzea (Ronquim et al., 2017). Tal atividade é concorrente com a atividade de mineração e, devido esta proximidade, potencializa a vulnerabilidade socioeconômica da população adjacente que depende da área de várzea para suas atividades, devido maior a exposição a eventos que podem trazer a contaminação da água e do solo.

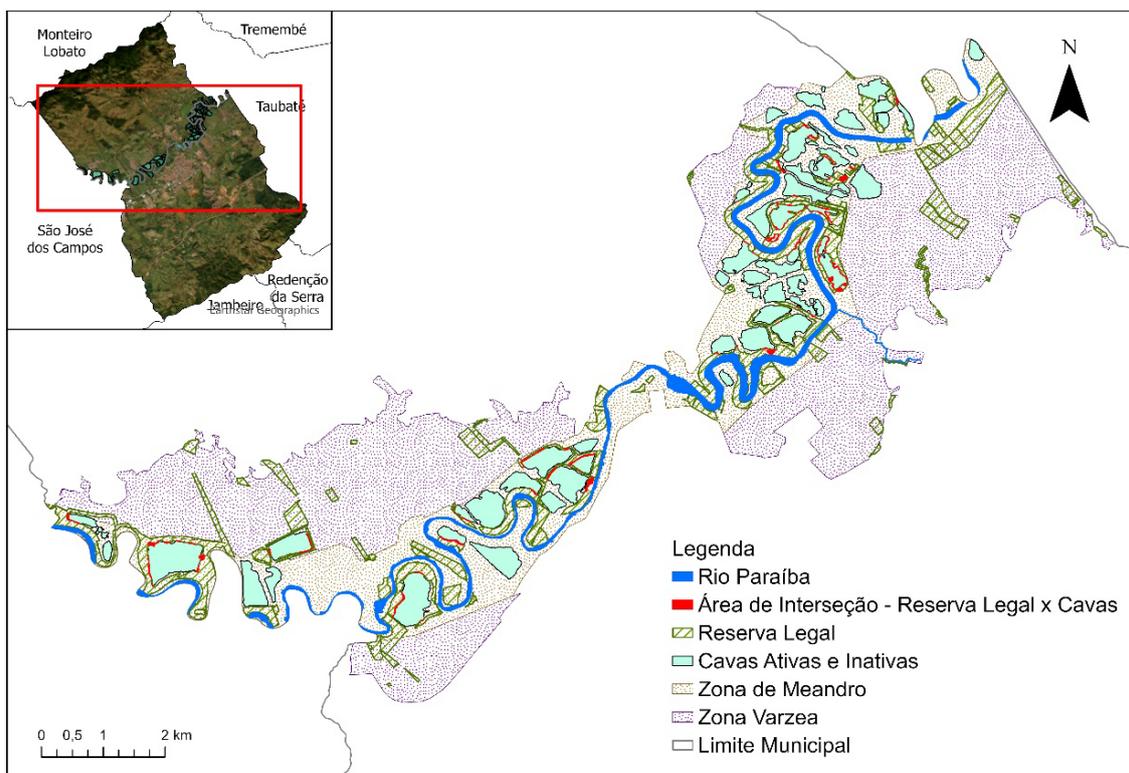


**Figura 7.** Intersecção entre cavas de mineração e a variável Zona de Várzea em desacordo com limites legais.

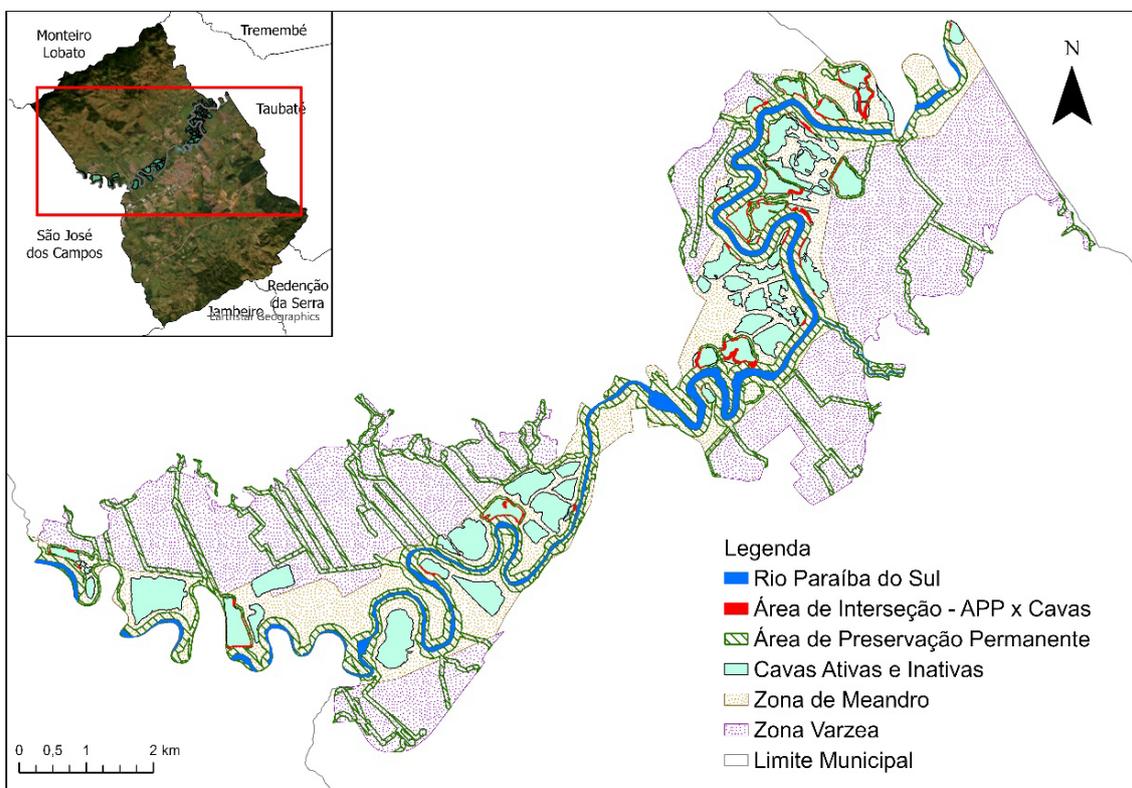
Na análise de intersecção entre as cavas de mineração e a variável Reserva Legal (Figura 8) verificou-se que, em comparação com a demais variáveis, essa apresentou menor área de intersecção com as cavas de mineração, com 26 cavas e 88.493,72 8 metros quadrados (Tabela 3). Mesmo com menor valor em área absoluta, observa-se que 42% das cavas têm uma intervenção considerável com a variável Reserva Legal. A área de Reserva Legal, instituída pelo Código Florestal (Brasil, 2012), corresponde à obrigação legal que todo imóvel rural deve manter de cobertura vegetal nativa. No caso da região de estudo é adotado o percentual de 20% dos imóveis rurais. O Artigo 14º da mesma lei, diz respeito aos fatores que devem ser levados em conta no estabelecimento desta área e a fragilidade ambiental é um destes parâmetros

(Brasil, 2012).

Segundo o Código Florestal (Brasil, 2012), a APP é uma área protegida legalmente que pode ser coberta ou não por vegetação nativa, que tem como objetivo a redução de diversos impactos, seja à biodiversidade, aos corpos hídricos, à estabilidade dos solos e à preservação da paisagem. Na APP estão incluídas as matas ciliares, que tem a função de proteger e minimizar os processos de erosão e os eventos de enchentes. A análise de intersecção entre as cavas de mineração e a variável APP (Figura 9) resultou em 40% das cavas intersectando as matas ciliares da APP, sendo um total de 25 cavas que se localizaram em parte ou totalmente nas APP (Tabela 3). Reverte et al. (2020) também observaram que muitas cavas ao longo do rio Paraíba do Sul ocupam as APP.



**Figura 8.** Intersecção entre cavas de mineração e a variável Reserva Legal em desacordo aos limites da legislação.



**Figura 9.** Intersecção entre cavas de mineração e a variável Áreas de Preservação Permanente (APP) indicando cavas em desconformidade com o novo Código Florestal.

As cavas muito próximas à mata ciliar representam um risco perene de rompimento da barragem de areia, causando impacto no abastecimento de água da população a jusante do rio (Ferrer et al., 2022).

Esta situação já ocorreu em 2016, no município

de Jacareí e provocou a interrupção de água e desabasteceu 75% da população do município vizinho à jusante (São José dos Campos), devido a alguns índices de qualidade da água (IQA) estarem acima do limite permitido pela CETESB (Ferrer et al., 2018).

A análise espacial permitiu verificar que para as quatro variáveis ambientais ocorre a intersecção com as áreas de mineração, sendo que as variáveis Fragmentos de Vegetação, APP

e Reserva Legal tem embasamento legal de não intervenção mais restritivo e porcentagem de intersecção significativa (63, 40 e 42% respectivamente).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao considerar os resultados obtidos segundo as análises espaciais, foi observada quantidade e porcentagem de intersecção significativa com as variáveis ambientais APP de mata ciliar, área de Reserva Legal e Fragmentos de Vegetação e a atual atividade de mineração de areia no município de Caçapava. Considerando a Resolução SMA nº 42, de 16 de setembro de 1996 e a Resolução SIMA nº 55, de 09 de agosto de 2019, que dispõem quanto ao licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração de areia na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, pode-se verificar que a recuperação ambiental das cavas de areia é um desafio perene a ser enfrentado. Em relação às análises de proximidade, as cavas de mineração se mostraram com distâncias menores que a legislação vigente, para as variáveis Zona Urbana e Zona de Expansão Urbana. Além disso, a legislação municipal de Caçapava impede a mineração em áreas urbanizadas. Vale ressaltar que a proximidade se dá principalmente pela Zona de Expansão Urbana.

O cenário encontrado no município de Caçapava é que a extração de areia é frequentemente desenvolvida em locais de alta vulnerabilidade, visto a proximidade com os corpos hídricos, apesar do órgão licenciador classificar a atividade como de baixo impacto ambiental. O método proposto serve como importante ferramenta de apoio para o órgão fiscalizador ambiental - CETESB, haja vista que possibilita análise prévia com informações atualizadas, antes da diligência para verificação em ações de fiscalização, por exemplo, da supressão da

vegetação pela abertura de cavas.

Sem a análise incisiva e frequente da paisagem, os impactos causados pela extração de areia podem se acentuar, ocasionando danos como a aceleração de processos erosivos, a contaminação hídrica, a compactação do solo, a fragmentação de habitat, além de impactos visuais. Apesar da criação de resoluções específicas que tem o intuito de controlar e restringir os impactos da atividade minerária na Bacia do Rio Paraíba do Sul, (por exemplo, a Resolução SMA nº 28, de 22 de setembro de 1999) e a restrição municipal de Caçapava para abertura de novos empreendimentos minerários, as operações minerárias existentes representam grande potencial de impactos ambientais negativos.

Diante da indiscutível importância e relevância do assunto, há pouca literatura atual pertinente quanto às questões ambientais trazidas pela atividade na região, mesmo havendo o incisivo monitoramento de áreas específicas. O método de análise em ambiente de SIG é uma importante ferramenta para o monitoramento constante dessas áreas e que pode auxiliar órgãos ambientais fiscalizadores na tomada de decisões mais assertivas. Ademais, o método pode ser replicado e adequado a outras áreas e pode ser um ponto de partida para mais investigações no sentido de monitorar as atividades minerárias no cumprimento da legislação vigente. Do apresentado, como perspectivas futuras é proposta a ampliação da região de análise para a bacia do rio Paraíba do Sul de forma a abranger todas as legislações municipais e relacioná-las.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. PIA-Produto 2021: minério de ferro permanece o principal produto e indústria alimentícia lidera entre as atividades industriais. 19 mar 2023. Disp. em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37247-pia-produto-2021-minerio-de-ferro-permanece-o-principal-produto-e-industria-alimenticia-lidera-entre-as-atividades-industriais#:~:text=Os%20dez%20principais%20produtos%20concentraram,brutos%20de%20petr%C3%B3leo%20em%202020>. Acesso em 23/11/2023.
- ANNIBELLI, M.B.; SOUZA FILHO, C.F.M. Mineração de areia e seus impactos sócio-econômico-ambientais. In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI. @006, Florianópolis. Atas...Florianópolis: Conpedi, p. 4205-4217, 2006.
- AUER, A.M.; GALVÃO, F.; RODERJAN, C.V.A Ocupação das Áreas de Preservação Permanente dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Barigui. *Revista Geografar*, v. 10, n. 1, p. 50-71, 2015.
- BITAR, O.Y. *Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo*. São Paulo, 1997. 185 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Centro Gráfico, 1988. Disp. <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em agosto de 2023.
- BRASIL. Decreto-Lei Nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Da nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas), 1967. Disp. em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del0227.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm)>. Acesso em agosto de 2023.

- BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1 (Código Florestal), 2012. Disp. em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em agosto de 2023.
- BRASIL. Lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 2012a. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 202, 18 outubro 2012. Seção 1, p.1, 2012. Disp. em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm)>. Acesso em agosto de 2023.
- BRASIL. Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Cria a Agência Nacional de Mineração (ANM); extingue o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); altera as Leis nº 11.046, de 27 de dezembro de 2004, e 10.826, de 22 de dezembro de 2003; e revoga a Lei nº 8.876, de 2 de maio de 1994, e dispositivos do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Brasília, 2017. Disp. em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/113575.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113575.htm)>. Acesso em agosto de 2023.
- CAÇAPAVA, Prefeitura Municipal. Lei Complementar nº 254, de 05 de julho de 2007. Institui o Plano Diretor de desenvolvimento do Município de Caçapava e dá providências correlatas. Caçapava, 2007.
- CAÇAPAVA, Prefeitura Municipal. Secretaria de Obras. **Dados sobre o Zoneamento Municipal**. Caçapava, 2007. Disp. em <<https://cacapava.sp.gov.br/geoprocessamento-downloads>>. Acesso em agosto de 2023.
- COUTINHO, R.R.; CASTRO, C.M. Aspectos socioambientais e econômicos da indústria extrativa de areia em Seropédica (RJ). **Revista Continentes**, n. 22, p. 186-206, out. 2023.
- DA SILVA, E.F.; BENTO, D.F.; MENDES, A.C.; MOTA, F.G.; MOTA, L.C.S.; FONSECA, A.I.T.; ALMEIDA, R.M.; SANTOS, L.O. Environmental impacts of sand mining in the city of Santarém, Amazon region, Northern Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, p. 47-60, 2020.
- DINIZ, H.N.; GALINA, M.H.; BATISTA, G.T.; TARGA, M.S. Hidrogeologia da Várzea do Rio Paraíba do Sul: estudo de caso de uma área de mineração no município de Tremembé, SP, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 5, n. 3, p. 76-107, 2010.
- FBDS - FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Dados sobre hidrografia e área de preservação permanente**. 2012. Disp. em <<https://www.fbds.org.br/>>. Acesso em agosto de 2023
- FERRER, L.M.; MONTEIRO, A.M.V.; AMARAL, S. Indicador de vulnerabilidade social urbana ao desabastecimento de água (IVSUD), São José dos Campos, SP. In: II SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO PARAÍBA DO SUL, 2018, Juiz de Fora. **Atas...**Juiz de Fora, Minas Gerais, 2018.
- FERRER, L.M.; RODRIGUEZ, D.A.; FORTI, M.C.; ANDRADE, M.R.M.; OLIVEIRA, M.A. Composition of the social urban water shortage vulnerability index (SUWSVI) applied to São José dos Campos, SP, Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 13, p. 173-188, 2022.
- FERRER, L.M.; RODRIGUEZ, D.A.; FORTI, M.C.; CARRIELLO F. The anthropocene landscape and ecosystem services in the closure of sand mining: Paraíba do Sul River basin–Brazil. **Resources Policy**, v. 74, p. 102405, 2021.
- GALEANO, E. **As veias abertas da América Latina**. L&PM Editores, 2015.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disp. em <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em setembro de 2023.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disp. em <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em outubro de 2023.
- IPA - INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS. **Dados quanto ao inventário florestal e fragmentos de vegetação remanescente**. 2020. Disp. em <<https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/#>>. Acesso em agosto de 2023.
- JUNQUEIRA, D.A. **O impacto da mineração em ecossistemas do tipo Murundus no oeste de Minas Gerais**. Rio Claro, 2018. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) - Instituto de Biociências de Rio Claro. Universidade Estadual Paulista.
- KOEHNKEN, L.; RINTOUL, M.S.; GOICHOT, M.; TICKNER, D.; LOFTUS, A.C.; ACREMAN, M.C. Impacts of riverine sand mining on freshwater ecosystems: A review of the scientific evidence and guidance for future research. **River Research and Applications**, v. 36, n. 3, p. 362-370, 2020.
- LUPINACCI, C.M.; DA CONCEIÇÃO, F.T.; PASCHOAL, L.G. Geomorphic responses due to the second-largest global producer of ceramic tiles in the State of São Paulo, Brazil. **Catena**, v. 218, p. 106550, 2022.
- MECHI, A.; SANCHES, D.L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados**, v. 24, p. 209-220, 2010.
- MILANEZ, B. Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 16, 2017.
- REIS, B.J.; BATISTA, G.B.; DIAS, A.J. Recuperação de área degradada pela extração de areia no vale do Paraíba Paulista. **Taubaté: CETESB**, v. 28, 2016. Disp. em: <https://www.ceivap.org.br/downloads/Beneditoeoutros.pdf>
- RENTIER, E.S.; CAMMERAAT, L.H. The environmental impacts of river sand mining. **Science of the Total Environment**, v. 838, p. 155877, 2022.
- REVERTE, F.C; GARCIA, M. DA G. M., BRILHA, J., PELLEJERO, A.U. Assessment of impacts on ecosystem services provided by geodiversity in highly urbanised areas: A case study of the Taubaté Basin, Brazil. **Environmental Science & Policy**, v. 112, p. 91-106, 2020.
- RIBEIRO, R.M. **A exploração em cavas de areia no Vale do Paraíba: Atores e conflitos–Estudo de caso de Jacaré e São José dos Campos**. São José dos Campos, 2010. 185 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Universidade Vale do Paraíba.
- RONQUIM, C.C; CORDEIRO, G.P.L.; AMORIM, M. DE, TEIXEIRA, A.H. DE C.; LEIVAS, J.F., GALDINO, S. Competition between agricultural, urban, and sand-mining areas at the Paraíba do Sul basin in southeastern Brazil. In: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX. SPIE, 2017. **Proceeding...** SPIE, 2017, p. 356-362.
- RÓZKOWSKI, J.; RAHMONOV, O.; SZYMCZYK, A. Environmental Transformations in the Area of the Kuźnica Warężyńska Sand Mine, Southern Poland. **Land**, v. 9, n. 4, p. 116, 2020.
- RUDKE, A.P.; SOUZA, V.A.S.; SANTOS, A.M. DOS; XAVIER, A.C.F.; ROTUNNO FILHO, O.C.; MARTINS, J.A. Impact of mining activities on areas of environmental protection in the southwest of the Amazon: A GIS-and remote sensing-based assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 263, p. 110392, 2020.
- SÃO PAULO. Decisão de Diretoria nº 25/2014/I/C, de 24 de janeiro de 2014. Dispõe sobre a disciplina para o licenciamento ambiental das atividades minerárias no território do Estado de São Paulo. São Paulo, 2014. Disp. em <[https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/Decis%C3%A3o-de-Diretoria-25\\_14-Licenciamento-Minera%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/Decis%C3%A3o-de-Diretoria-25_14-Licenciamento-Minera%C3%A7%C3%A3o.pdf)>. Acesso em agosto de 2023.
- SÃO PAULO. Resolução SIMA nº 55, de 09 de agosto de 2019. Disciplina o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração de areia na Várzea da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e altera dispositivos da

- Resolução SMA nº 28, de 22 de setembro de 1999. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 10 ago. 2019. Seção 1, p. 47.
- SÃO PAULO. Resolução SMA nº 28, de 22 de setembro de 1999. Dispõe sobre o zoneamento ambiental para mineração de areia no subtrecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul inserido nos municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba e dá outras providências correlatas. São Paulo, 1999. Disp. em <[https://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1999\\_9\\_Res\\_SMA\\_28.pdf](https://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1999_9_Res_SMA_28.pdf)>. Acesso em agosto de 2023.
- SÃO PAULO. Resolução SMA nº 7, de 18 de janeiro de 2017. Dispõe sobre os critérios e parâmetros para compensação ambiental de áreas objeto de pedido de autorização para supressão de vegetação nativa, corte de árvores isoladas e para intervenções em Áreas de Preservação Permanente no Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 20 jan. 2017. Seção 1, p. 54/57.
- SICAR - SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO AMBIENTAL RURAL. **Dados quanto a Reserva Legal dos imóveis locais.** 2023. Disp. em <<https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>>. Acesso em agosto de 2023.
- VIEIRA, F.C.A.A. **Recuperação de uma área degradada por mineração no município de Pindamonhangaba.** Belém, 2012. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Lavra e Tecnologia Mineral) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.

*Submetido em 3 de novembro de 2023*

*Aceito para publicação em 5 de março de 2024*