

BARBARA TIEMI ARIMURA UTIGA

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA PARA A  
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO MUNICÍPIO DE ÁLVARES  
MACHADO - SP**

Presidente Prudente – SP

2024

BARBARA TIEMI ARIMURA UTIGA

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA PARA A  
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO MUNICÍPIO DE ÁLVARES  
MACHADO - SP**

Trabalho de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Ambiental, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (FCT- UNESP), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Presidente Prudente – SP

2024

U89a

Utiga, Barbara Tiemi Arimura

Aplicação de técnicas de bioengenharia para a recuperação de áreas degradadas no município de Álvares Machado - SP / Barbara Tiemi Arimura Utiga. -- Presidente Prudente, 2024

87 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: João Osvaldo Rodrigues Nunes

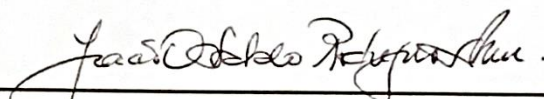
1. Erosão do solo. 2. Recuperação e remediação ambiental. 3. Bioengenharia. 4. Soils Analysis. I. Título.

## TERMO DE APROVAÇÃO

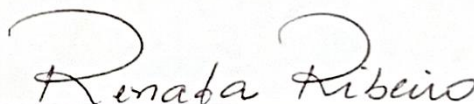
Barbara Tiemi Arimura Utiga

**"Aplicação de técnicas de bioengenharia para a recuperação de áreas degradadas no município de Álvares Machado - SP".**

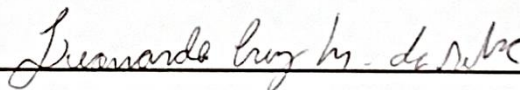
Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro(a) Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, câmpus de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes (Orientador)



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Ribeiro de Araújo



Prof. Me. Leonardo Cruz Mendes da Silva

Presidente Prudente, 06 de dezembro de 2024.

*Dedicatória:*

*Dedico esse trabalho à minha avó,  
Dona Amélia.*

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2022/14032-0.

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu pai, Edson, proprietário da área de estudo e que, sem sua ajuda e apoio, não seria possível a realização do trabalho. À minha mãe, Ivone e à minha irmã, Karina pelo apoio.

Agradeço também ao orientador, João Osvaldo, por acreditar na minha ideia mesmo no início sem ter a noção do que poderia ser feito, e por continuar confiando no meu trabalho.

Agradeço a meus amigos de sala, que serviram de apoio ao longo de todos os 5 anos de graduação, em especial um obrigada à Ana Karla, Lauren, Giovanna, Yasmin, Isabelly, Letícia, Mariana, Isadora e Lucas, sem vocês teria sido muito mais difícil essa jornada.

Agradeço ao Movimento Empresa Júnior, e à GeoAmbiental Jr. por me permitir viver momentos maravilhosos e enriquecedores, em especial como Diretora Presidente, e ao meu time da gestão 2023. Aos amigos maravilhosos que fiz ao longo dessa jornada linda e que irei levar para minha vida, em especial, obrigada Rebeca por continuar o meu legado e tornar tudo muito melhor, João Paulo, Rafael e Nicolas pela parceria e momentos de apoio, e um especial ao Túlio, por aguentar momentos de incertezas. Obrigada também às amigas de sempre Bianca, Letícia, Milenna, Amanda e Amanda.

Um obrigada especial ao técnico de laboratório Victor, pela ajuda em tempos de análise de amostras; à Mariana pela ajuda e paciência em me ensinar a realizar a análise morfológica; ao Leonardo, Gustavo e Pablo pela ajuda inicial nos trabalhos de campo.

*Barbara Tiemi Arimura Utiga*

*“Se eu vi mais longe, foi porque  
estava sobre os ombros de gigantes”*

*- Isaac Newton, 1675.*

## RESUMO

O processo de ocupação do Brasil, em destaque ao Pontal do Paranapanema, resultou no desmatamento desenfreado das matas nativas com objetivo de implementar atividades agrícolas, iniciando com o cultivo de café, e consolidando na atualidade, majoritariamente em áreas de pastagem e agricultura com pouco ou nenhum manejo conservacionista, acarretando a degradação do solo e intensificação de processos erosivos. Como estudo de caso, o município de Álvares Machado-SP possui uma área classificada como susceptível aos processos erosivos hídricos (lineares e laminares), tendo o registro de inúmeros casos em estágio avançado de degradação, como é o caso da área de estudo onde foi aplicado o presente estudo. Para fins de atenuação dos 4 processos de ravinamento ocorrendo no local, tem-se a aplicação das técnicas de bioengenharia, consolidadas como uma técnica acessível para estabilização do processo, aumento da infiltração e redução da energia cinética da água. De forma simultânea, foram realizados diagnósticos da área de estudo, visando a compreensão dos processos históricos responsáveis pelo quadro atual de degradação ambiental, análise física e químicas dos solos e restauração através de técnicas de plantio aleatório. Identificou-se que os solos são de textura arenosa, cuja origem está associada a processos deposicionais, que remontam o histórico de desgaste dos setores de montante, com a presença de fragmentos de carvão e rochas inconsolidadas. A partir do exposto, iniciou-se um processo de sucessão ecológica na área de estudo e caracterizou-se a área como depósito tecnogênico.

**Palavras-chave:** bioengenharia; erosão; análise do solo; depósitos tecnogênicos; áreas degradadas;

## ABSTRACT

The occupation process of Brazil, especially Pontal do Paranapanema, resulted in the unbridled deforestation of native forests with the aim of implementing agricultural activities, starting with coffee cultivation and consolidating today, mostly in pasture and agricultural areas with little or no conservation management, leading to soil degradation and intensification of erosion processes. As a case study, the municipality of Álvares Machado-SP has an area classified as susceptible to water erosion processes (linear and laminar), with records of numerous cases in an advanced stage of degradation, as is the case of the study area where this study was carried out. In order to mitigate the four ravine processes occurring in the area, bioengineering techniques have been applied, consolidated as an accessible technique for stabilizing the process, increasing infiltration and reducing the kinetic energy of water. Simultaneously, diagnostics of the study area were carried out, aiming at understanding the historical processes responsible for the current situation of environmental degradation, physical and chemical analysis of the soils and restoration through random planting techniques. It was identified that the soils are of sandy texture, whose origin is associated with depositional processes, which date back to the history of erosion of the upstream sectors, with the presence of fragments of coal and unconsolidated rocks. From the above, a process of ecological succession began in the study area and the area was characterized as a technogenic deposit.

**Keywords:** bioengineering; erosion; soil analysis; technogenic deposits; degraded areas;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grau do risco de ocorrência de erosões hídricas com enfoque no município de Álvares Machado .....	16
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo .....	17
Figura 3 – Geologia do extremo oeste paulista – destaque para o município de Álvares Machado .....	31
Figura 4 – Geomorfologia do extremo oeste paulista – destaque em verde para a propriedade rural .....	32
Figura 5 – Tipos de solos encontrados no município de Álvares Machado-SP .....	35
Figura 6 – Climatologia e histórico de previsão do tempo em Álvares Machado-SP .....	36
Figura 7 - Mapa das UGRHIs com destaque ao município de Álvares Machado-SP .....	37
Figura 8 – Mapa de áreas de drenagem do município de Álvares Machado-SP .....	38
Figura 9 – Mapa de uso e cobertura do solo do município de Álvares Machado-SP .....	39
Figura 10 – Local de implementação do estudo de caso .....	40
Figura 11 - Exemplificação da montagem dos barramentos .....	41
Figura 12 - Processo de retirada das ripas de bambu utilizadas na montagem dos barramentos .....	42
Figura 13 - Procedimento de plantio das mudas de espécies nativas .....	43
Figura 14 - Estrutura do Permeâmetro Guelph .....	44
Figura 15 – Exemplificação dos procedimentos em campo de análise da permeabilidade do solo .....	45
Figura 16 – Exemplificação do procedimento de coleta de amostras e anel volumétrico .....	45
Figura 17 – Exemplificação dos procedimentos laboratoriais de análise granulométrica .....	48
Figura 18 – Esboço de localização da Área de Estudo .....	51
Figura 19 – Esboço do relevo da área de estudo .....	52
Figura 20 – Perfil morfodinâmico da área de estudo .....	54
Figura 21 – Mapa de drenagem da Microbacia do Córrego do Macaco .....	55
Figura 22 – Montagem em campo dos barramentos e a disposição dos mesmos .....	57
Figura 23 – Períodos de montagem do barramento 1 .....	58
Figura 24 – Período de montagem dos barramentos 2 e 3 .....	59
Figura 25 – Período de montagem do barramento 4 .....	60
Figura 26 – Período de montagem do barramento 5 .....	61

Figura 27 – Barramentos construídos com auxílio de alunos (ravina 2 e 3 respectivamente)..	62
Figura 28 – Barramentos no dia 30/10/2023 (ravina 2 e 3 respectivamente) .....	62
Figura 29 – Mapa da localização e disposição das mudas plantadas e barramentos construídos .....	64
Figura 30 – Muda de Ipê no ato do plantio (20/12/2022); no dia 06/06/2023; em 30/10/2023; e em 15/05/2024 .....	65
Figura 31 – Embaúba: indicadora de zonas desmatadas em recuperação .....	65
Figura 32 – Perfil de solo da Ravina 1 com breve descrição de cada camada .....	69
Figura 33 – Granulometria e análise textural – Perfil de solo da Ravina 1 .....	70
Figura 34 – Perfil de solo da Ravina 2 com breve descrição de cada camada .....	71
Figura 35 – Granulometria e análise textural – Perfil de solo da Ravina 2 .....	71
Figura 36 – Perfil de solo da Ravina 3 com descrição de cada camada .....	72
Figura 37 – Granulometria e análise textural – Perfil de solo da Ravina 3 .....	72
Figura 38 – Perfil de solo da Ravina 4 com descrição de cada camada .....	73
Figura 39 – Granulometria e análise textural – Perfil de solo da Ravina 4 .....	73
Figura 40 – Granulometria e análise textural – Análise do Permeâmetro .....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – 1ª remessa de plantio do dia 20/12 .....	62
Quadro 2 – 2ª remessa de plantio do dia 04/03 .....	64
Quadro 3 – Análise química do solo composto da área de estudo .....	67
Quadro 4 – Granulometria, análise mecânica ou textural (método da pipeta) - amostra geral.	68
Quadro 5 – Densidades analisadas para os 4 perfis de ravinas .....	69
Quadro 6 – Classificação da condutividade hidráulica do solo .....	74
Quadro 7 – Caracterização Morfológica da Ravina 1 .....	77
Quadro 8 – Caracterização Morfológica da Ravina 2 .....	78
Quadro 9 – Caracterização Morfológica da Ravina 3 .....	78
Quadro 10 – Caracterização Morfológica da Ravina 4 .....	79
Quadro 11 – Caracterização Morfológica do Permeâmetro de Guelph .....	81

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo geral.....	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	19
3.1. Legislação ambiental aplicada à recuperação de áreas degradadas .....	19
3.2. Processos erosivos e morfodinâmica.....	22
3.3. Restauração e estágio de sucessão ecológica de áreas degradadas .....	24
3.4. Práticas conservacionistas .....	26
3.5. Depósitos tecnogênicos .....	28
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	30
4.1. Diagnóstico ambiental da Área Indiretamente Afetada .....	30
4.1.1. Geologia.....	30
4.1.2. Geomorfologia .....	32
4.1.3. Solo .....	33
4.1.4. Clima.....	35
4.1.5. Hidrologia .....	36
4.1.6. Histórico do uso e cobertura da terra .....	38
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	40
5.1. Levantamento bibliográfico .....	41
5.2. Trabalho de campo: montagem dos barramentos, plantio de mudas, coletas de amostras e ensaio de permeabilidade.....	41
5.3. Ensaio laboratoriais.....	46
5.4. Mapeamentos.....	49
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
6.1. Diagnóstico ambiental.....	51
6.1.1. Geologia e geomorfologia.....	51

6.1.2. Solo e cobertura vegetal .....	53
6.1.3. Hidrologia .....	55
6.2. Implantação de técnicas de bioengenharia .....	56
6.3. Restauração através de técnica de plantio livre .....	62
6.4. Análise do solo .....	66
6.4.1. Análise Química.....	66
6.4.2. Análise Física.....	67
6.4.3. Análise Morfológica .....	75
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	82
8. REFERÊNCIAS .....	83

## 1. INTRODUÇÃO

A ocupação da região do Oeste-Paulista se deu no início do século XX sob a influência das atividades agrárias como o plantio de café, e posteriormente ao estabelecimento da Estrada de Ferro Sorocabana na região. Com um grande incentivo governamental e econômico, as terras do Oeste-Paulista tiveram uma ocupação acelerada, ocasionando na substituição das coberturas vegetais de matas nativas pelo café (Ghirardello, 2002), bem como sua extração madeireira para fins comerciais (Monbeig, 1984).

Após a Segunda Guerra Mundial, houve um aumento significativo no valor e no consumo de carne, tanto internamente como externamente ao país, decorrendo no processo de alteração de foco econômico, onde atividades agrícolas passaram a ser substituídas por áreas de pastagens (Ghirardello, 2002).

Ainda, processos antrópicos de uso e ocupação da terra desenvolvidos de modo desordenado, acabaram por acarretar mudanças profundas dos ecossistemas. Como os sistemas degradativos, ocasionando diversos problemas como deslizamentos, enchentes e processos erosivos acelerados, agravados ainda pela ausência de ações conservacionistas e técnicas, gerando uma demanda de conhecimento para reversão destes problemas ambientais (Varcacel; Silva, 1997). Essa degradação é facilmente identificada pelos processos erosivos presentes na região do Oeste Paulista, bem como, no município de Álvares Machado, SP, Brasil.

Os processos erosivos em si são fenômenos naturais que envolvem a ação de vários fatores, sendo: do *splash*, que age primeiramente desagregando as partículas que compõem o solo diminuindo a porosidade e aumentando o escoamento superficial do solo desprotegido; da energia cinética proporcionada pela formação geomorfológica do terreno e que determina o potencial erosivo; da ruptura dos agregados, dada pela capacidade do solo de resistir aos impactos da chuva, determinado pelas propriedades intrínsecas e variáveis do solo, como o teor de matéria orgânica (onde com um maior teor de matéria orgânica mais estável é o solo); e por fim da formação de crostas que auxiliam na selagem dos solos, diminuindo a taxa de infiltração do solo, aumentando o escoamento superficial e a taxa de perda do solo (Guerra; Silva; Botelho, 1999). Contudo, de acordo com Guerra e Jorge (2013), os problemas com a erosão só se iniciam quando as taxas de perda do solo ultrapassam os níveis naturais, que decorrem das práticas humanas não cuidadosas.

De acordo com Araújo *et.al.* (2013, p.23), o conceito de degradação de terras “[...] *se refere à deterioração ou perda total da capacidade dos solos para uso presente e futuro [...]*”, sendo os processos erosivos decorridos das principais fontes de perdas e deteriorações químicas e físicas. A formação de ravinas é uma forma extrema da atuação do escoamento superficial da água na deformação do terreno, mas que depende também das condições naturais do entorno e do uso e ocupação desenvolvida no local. Toda a atividade que exija qualquer grau de desmatamento já é tida como agente causador de erosão, acabando por ser agravada ainda mais na criação de animais em sistema de pastagem, pelo pisoteio e retirada de toda a cobertura vegetal para alimentação constante (Silva, 2024).

Guerra, Silva e Botelho (1999) afirmam que o processo erosivo hídrico tem abrangência principalmente em áreas de clima tropical, devido à maior incidência de chuvas, como é o caso do Brasil. Aliando os processos de desmatamento que ocorreram na região do Oeste Paulista, historicamente devido ao plantio de cultivares como café, cana-de-açúcar e da formação de pastagens (Santos, 2001), com os totais pluviométricos elevados do clima tropical e a ausência de técnicas conservacionistas, ocorreram desordenadamente os processos de erosões laminares e lineares. Agravados ainda pelo conhecimento limitado dos impactos da gota da chuva no terreno descoberto, o efeito splash (Bertoni; Neto, 1999).

O escoamento linear se inicia à medida que a água, sem qualquer barreira, não consegue se infiltrar na camada superficial saturada do solo e desce em superfície pela ação da gravidade através de um caminho preferencial, comum em áreas de pastagens, onde o gado segue sempre por um mesmo caminho, causando a compactação do solo em um caminho (Guerra e Jorge, 2013).

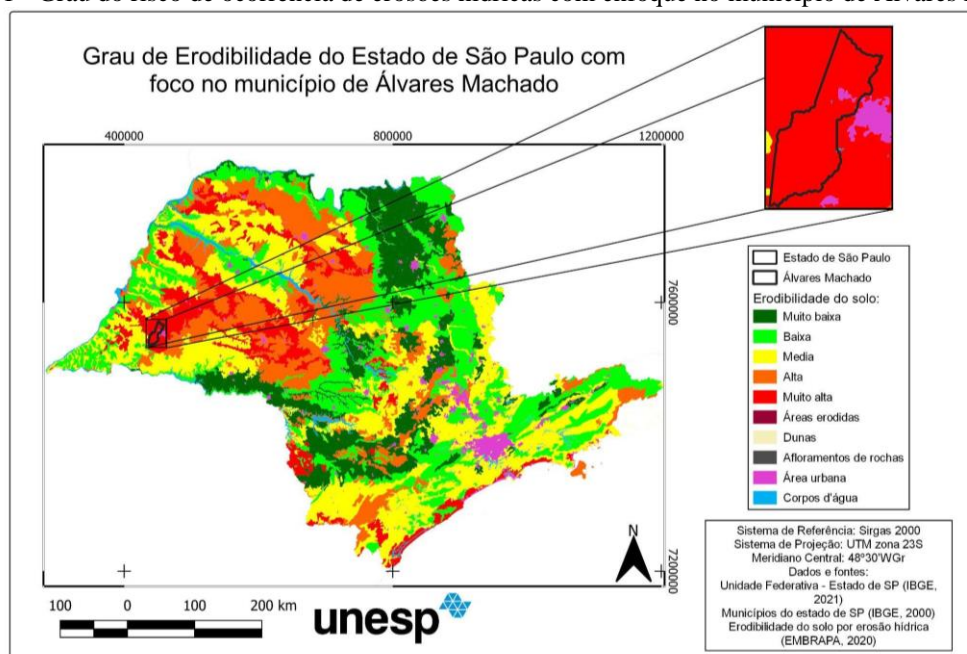
Conforme o volume de chuvas, o teor de umidade do local eleva-se ocasionando a saturação dos poros do solo, e posteriormente, na formação de poças e sulcos superficiais que escoam em enxurrada pelas vertentes do terreno até as áreas de fundo de vale, estas carregando consigo os sedimentos que se desprenderam acarretando os processos erosivos lineares. Caso não seja implementada nenhuma medida de manejo conservacionista, o fluxo concentrado, aprofunda os canais de escoamento aprofundados pela passagem do gado, formando estruturas de sulcos, que posteriormente, podem evoluir para ravinas, um estágio grave de erosão, a até o estágio de voçoroca, quando a erosão se aprofunda até o afloramento de água de subsuperfície, tendo uma difícil ou impossível recuperação (Guerra; Silva; Botelho, 1999).

Práticas de manejo conservacionistas que evitam a ocorrência ou agravamento da deflagração de processos erosivos são formulados a partir de características do local, como por exemplo: o tipo de solo que se tem na região e sua susceptibilidade aos processos e a presença ou não de cobertura vegetal, que auxilia na diminuição da energia cinética da gota de chuva (Guerra, 2017).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999) áreas de pastagem consolidada são predominantes em todo o mundo, representando 24% de todo o território, muito maior inclusive que as áreas cultivadas, que somam 10%. Ainda segundo os mesmos autores, a composição da pastagem é predominantemente de gramíneas, estas possuindo peculiaridades que contribuem para o seu valor como recurso natural, como a alta taxa de crescimento, capacidade de restaurar os níveis de nutrientes do solo e resistência a altos índices de umidade, mas também à seca e alcalinidade do solo. Contudo, o excessivo pastoreio consolidado no Brasil e a ausência das técnicas de conservação de áreas de pastagem, tais como rotação de piquetes e adubação verde ou orgânica, por exemplo, acabam por desacelerar o processo de revegetação e deixando os solos expostos à ação da chuva.

A EMBRAPA (2020), relaciona dados de erodibilidade do solo a intensidade dos processos erosivos, com um grau muito baixo para locais sem a identificação de focos erosivos, e grau muito alto aos locais com alta incidência de processos erosivos, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Grau do risco de ocorrência de erosões hídricas com enfoque no município de Álvares Machado



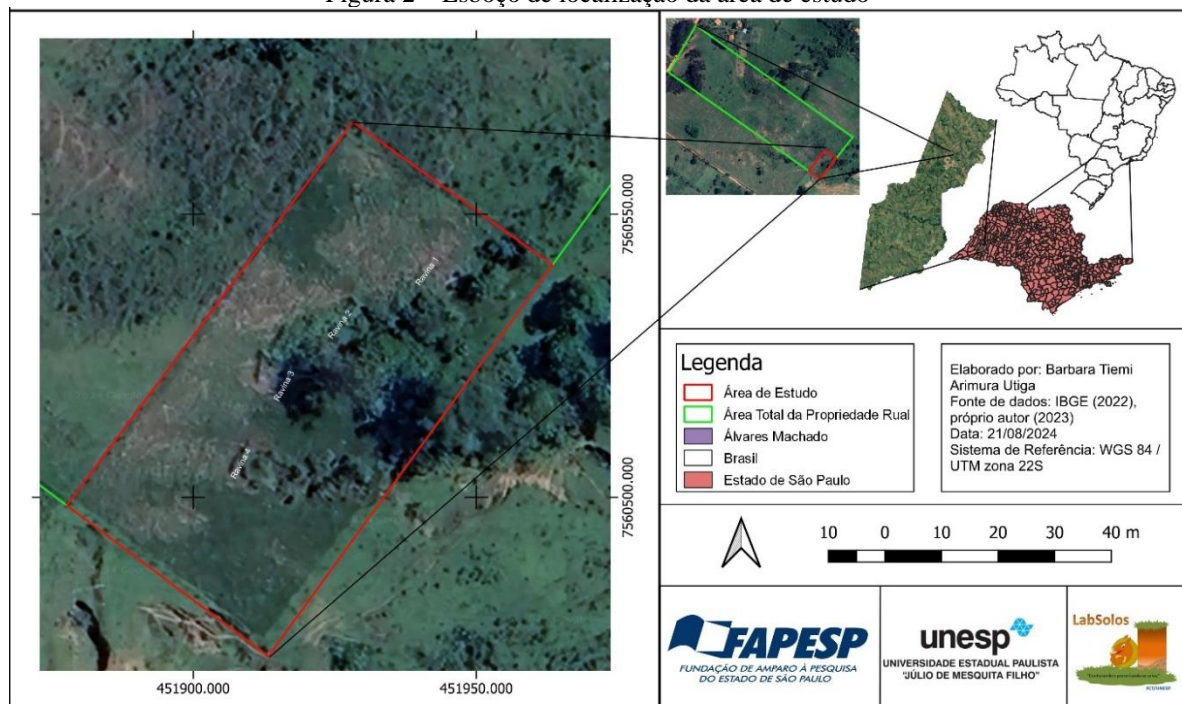
Fonte: EMBRAPA (2020).

No mapa temático do Estado, as cores representam: em uma escala do vermelho para locais considerados com os piores graus, e verdes para os menores graus, tendo em destaque o município de Álvares Machado, possuindo sua totalidade, com exceção da área urbana, classificado em um grau de erodibilidade muito alto.

A partir da problemática apresentada, o presente trabalho visou a aplicação de práticas de manejo conservacionistas em estudo de caso para um local que apresenta processos avançados de ravinamento em uma propriedade rural no município de Álvares Machado. Além disso, foram realizadas uma série de estudos dos aspectos físico, químico e morfológicos para descrever o solo do local, com o objetivo de compreender, através de análises geomorfológicas, pedológicas, edáficas e históricas, o processo que remontou a consolidação dos níveis de degradação do local.

A área de estudo situa-se na porção mais ao sul do município de Álvares Machado, contido no Planalto Ocidental Paulista (Figura 2), onde desde a aquisição do local, em 2008, o processo erosivo já existia na propriedade. Na agropecuária do município ocorre o predomínio de cultivos temporários, como cana-de-açúcar, milho e mandioca (IBGE, 2019). Contudo, de acordo com Pereira e Gouveia (2017), a extensa predominância do uso e ocupação do solo no município é de pastagem consolidada sem manejo adequado, apresentando vários processos erosivos avançados.

Figura 2 – Esboço de localização da área de estudo



Fonte: Próprio autor (2020).

## **2. OBJETIVOS**

A partir do exposto, e considerando a área de estudo, apresentada na Figura 2, seguem-se os objetivos.

### **2.1. Objetivo geral**

Restauração ecológica de área degradada por erosões hídricas lineares em uma propriedade rural situada na estrada rural Alfredo Marcondes, comarca nº3, no município de Álvares Machado.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Verificar a existência de técnicas empregadas pelo proprietário para contenção dos processos erosivos na Área Diretamente Afetada (ADA);
- Analisar as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso e ocupação históricas da área de estudo, com enfoque nos processos de degradação;
- Caracterizar os atributos físicos, químicos, morfológicos e hidrológicos da área de estudo;
- Avaliar os resultados da implantação das técnicas de restauração ecológicas na contenção e estabilização dos processos erosivos, bem como na sucessão ecológica da vegetação na área de estudo.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A fim de embasar a discussão acerca das problemáticas ambientais relacionadas ao manejo inadequado dos solos, resultando em processos de degradação tidos essencialmente pela intensificação de ações humanas, apresenta-se um breve histórico do que se discute a legislação brasileira com relação à recuperação ou restauração de áreas degradadas.

Além da questão legal, faz-se necessária a apresentação da conceituação básica de processos erosivos, morfodinâmica, ecologia, estágios de sucessão, práticas conservacionistas, métodos de recuperação e o conceito de depósitos tecnogênicos.

#### **3.1. Legislação ambiental aplicada à recuperação de áreas degradadas**

Em âmbito mundial, a preocupação ambiental como agente norteador de políticas públicas toma como início da sua articulação a emergência crescente de preocupações globais e nacionais com a degradação ambiental e a necessidade de regulamentação e proteção do meio ambiente. A geopolítica internacional iniciava discussões sobre a temática a partir de conferências nacionais, à exemplo da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em Estocolmo (1972), que buscou através da discussão entre os mais diversos países, analisar uma problemática mundial em decorrência da vulnerabilidade do meio ambiente com relação às questões ambientais, em dicotomia da esgotabilidade dos recursos naturais (De Passos, 2009).

A preocupação nacional com a questão de uso e ocupação, em especial atrelado ao início da modernização de maquinários e crescimento econômico no início do século XX, trouxe consigo um crescimento exponencial nas taxas de desmatamento, causando uma preocupação política acerca da questão ambiental. Neste contexto, surge como pioneira para o início da legislação ambiental brasileira, o Código Florestal de 1934, por meio do Decreto nº 23.793, em um momento de preocupação com a preservação dos recursos naturais, especialmente as florestas, que eram vistas como fundamentais para a proteção do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade (Santos Filho *et. al*, 2015).

No contexto histórico da criação do primeiro Código Florestal, em todo o Brasil destaca-se a expansão agrícola, em especial para a região do Pontal do Paranapanema a cultura cafeeira, e a exploração madeireira desenfreada, gerando impactos diretos sobre as florestas e não tendo-se ainda nenhum tipo de delimitação legal para áreas de matas nativas, com o primeiro parque nacional criado somente em 1939 (Castella, 2017).

Em contrapartida, a ciência e pesquisa em questões ambientais ainda estava se desenvolvendo, e a conscientização sobre os efeitos da degradação ambiental era limitada, devido ainda à dificuldade para fiscalização e estrutura administrativa adequada. Evidenciando a iminência da problemática de degradação de solos, tem-se um pontapé inicial como uma abordagem política da questão com a definição do termo “*florestas de interesse público*” normatizando seu uso, no Decreto 23.793, em seu art. 1º, expressando a preocupação em considerar as florestas nacionais em seu conjunto, “*reconhecendo-as como de interesse social, um bem jurídico de interesse comum do povo brasileiro*” (Brasil, 1934).

O Brasil, seguindo com o avanço na questão florestal, aprovou em 1965 a reestruturação do Código Florestal, protocolado em 1965, pela Lei Federal nº 4.771, tendo como enfoque maior a preservação dos recursos hídricos e as áreas de risco (encostas íngremes e dunas) denominadas “*florestas protetoras*”. Além disso, definiu-se os termos Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal, criando dispositivos normativos, dando diretrizes e prevendo obrigações para os processos de penalização, controle e fiscalização (Santos Filho *et. al*, 2015).

Ainda no contexto da emergência do tema ambiental nas discussões da geopolítica mundial no Brasil, surge neste contexto a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) no ano de 1981, no contexto econômico de expansão. Aliando um crescimento eminente pelo processo de industrialização, o país absorveu neste período grandes projetos de infraestrutura, como a construção de rodovias, usinas hidrelétricas e a ocupação da Amazônia, onde sem uma política ambiental que precavesse as problemáticas que poderiam decorrer da construção destes empreendimentos, tem-se a geração de significativos impactos ambientais e a necessidade do estabelecimento da PNMA (Brasil, 1981).

A lei surge como uma norteadora para o estabelecimento de diretrizes de controle e fiscalização para o âmbito ambiental como um todo, estabelecendo o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Este, visa a união dos diversos atores de políticas públicas em prol de uma legislação mais integrada e participativa, levando em conta a escala de eventos ambientais. Ainda, estabelece o que se é considerado como degradação, consistindo na alteração adversa das características do meio, fundamentando a necessidade da recuperação de áreas degradadas que sofreram impactos ambientais e responsabilizando os devidos causadores do passivo para sua recuperação (Brasil, 1981).

Neste contexto surge ainda a Constituição Federal (Brasil, 1988), citado como princípio norteador do Direito Ambiental brasileiro, o art. nº 225 (cap. VI), estabelece que:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

A partir disso, diversas políticas públicas e leis ambientais com maior especificidade acabam por emergir com o objetivo de efetuar a articulação entre os diversos setores e atores com o interesse comum da preservação ambiental e desenvolvimento sustentável, de modo a desenvolver políticas mais direcionadas e restritivas.

Instituído pela PNMA, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) como um órgão consultivo e deliberativo pertencente ao SISNAMA, surge para assessorar e propor diretrizes para a normatização da política ambiental no Brasil, baseada não somente no estabelecimento de metas, a sistematização e norteamento dos processos fez-se necessária (Brasil, 1981). Abordando temas variados, desde a qualidade do ar até a regulamentação para disposição de resíduos sólidos de construção civil, cita-se em especial as resoluções: 01/1986, que dispõe sobre critérios para a análise de impactos ambientais, incluindo a necessidade de recuperação de áreas; 302/2002 e 303/2002, regulam a proteção de APPs em áreas urbanas e rurais e também contempla a recuperação de áreas de proteção degradadas; e a 429/2011, que estabelece diretrizes para recuperar de áreas de preservação permanente em imóveis rurais.

Além disso, diversas são as atualizações de legislação realizadas nos últimos anos, como é o caso do Código Florestal, a partir da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2012), que dá providências sobre proteção da vegetação nativa, alterando a supracitada Lei nº 4.771. Esta, estabelece ainda que propriedades rurais com menos de 80 hectares (4 módulos fiscais), com atividade consolidada agrossilvipastorias estão isentas de manter Reserva Legal com base no Código Florestal (Brasil, 2012). Quanto às áreas de preservação permanente (APPs), este protege nascentes perenes, e, na ausência de comprovação técnica na área, não há obrigação de destinar espaço para sua proteção. Essa dispensa reflete a intenção legislativa de equilibrar a preservação ambiental com a sustentabilidade de pequenos produtores rurais, desde que a propriedade esteja cadastrada no CAR (São Paulo, 2017; São Paulo, 2019).

A vinculação da questão dos solos muitas vezes, devido a sua interdisciplinaridade, se desloca do ponto de vista ambiental das florestas e perpassa como um recurso natural utilizado como base para atividades econômicas (Araújo et. al, 2013). Com esta linha de pensamento, surge a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), promovendo o avanço e

modernização de pesquisas na área agrícola e com o objetivo de tornar o país autossuficiente na produção de alimentos. Alinhada com uma expansão agrícola sustentável, o principal gargalo ambiental para este desenvolvimento, além de questões de apropriação de terras e alterações ecológicas, seriam a degradação contínua que ocorre pelo exaurimento do solo devido ao cultivo de monoculturas. Com a crescente expansão da agricultura, tem-se a fomentação de pesquisas nessa área, tornando a EMBRAPA como uma das principais fontes de pesquisa e material norteador das técnicas e práticas para recuperação de áreas degradadas (Viscoli, 2017).

### **3.2. Processos erosivos e morfodinâmica**

A erosão é descrita como um processo geológico de desgaste, transporte e deposição de partículas desagregadas de solo e rochas pela ação de agentes naturais (Queiroz, 2018). Desta forma, os processos erosivos são classificados como fenômenos de ocorrência natural em cinco tipos, a depender do agente natural que age especialmente nos processos de desgaste e de transporte das partículas atrelado a tal, sendo eles:

- Erosão hídrica, de ocorrência físico-química devido ao impacto da gota de chuva na superfície, escoamento superficial e fluxo de cursos d'água, subdivididos ainda em erosões do tipo laminar ou em lençol (por camadas horizontais uniformes), sulco (em caminhos lineares superficiais preferíveis descritos como canais, drenos ou escoadouros), ravina (processo de aprofundamento dos sulcos em estruturas mais profundas em extensão e profundidade) e voçorocas (intensificação ainda maior do processo com o atingimento de aquíferos freáticos suspensos);
- Erosão eólica, com o agente físico sendo os ventos, característico de locais áridos ou semiáridos com solos pouco coesos, secos e com textura fina na formação de dunas, subdividido em deflação (remoção de partículas finas de forma aérea) e corrosão (desgaste da superfície sólida pela ação da matéria por rolamento propiciado pelos ventos);
- Erosão glacial, característico de regiões polares com a presença de geleiras, onde o solo é congelado através da água localizada em seus poros, onde em movimentações de desprendimento em blocos, fragmentos de rochas e solos são transportados;
- Erosão gravitacional, que engloba os processos de deslizamentos, movimentos de massa e queda de rochas.

Dentre as tipologias de classificação das erosões, os processos são essencialmente caracterizados por intemperismo físico, modificando apenas o tamanho dos fragmentos minerais, em menores estruturas para facilitar o transporte e a deposição (Da Silva, 1995).

O Brasil, com clima tropical, é caracterizado principalmente pela erosão hídrica, devido a presença de uma estação chuvosa, onde além do fator *splash* proporcionado pela energia cinética de queda da gota, países tropicais como o Brasil ainda enfrentam a influência da soma do fator enxurrada, que consiste na soma do fator verão, marcado por grandes precipitações em um curto período, aliado à topografia de vertentes côncavas e convexas, além da forte presença de topos suavemente ondulados (Nunes, 2002).

Além do regime de chuvas e da topografia do local, outros fatores que influenciam a ocorrência e intensificação dos processos erosivos correspondem à existência da cobertura vegetal, naturalmente densa característica do bioma da Mata Atlântica que abrange a região do Pontal do Paranapanema. As florestas representam uma importante proteção para a diminuição na intensidade do processo natural, freando o impacto do fator *splash*, aumentando as taxas de infiltração e evapotranspiração, diminuindo o escoamento superficial e aumentando a matéria orgânica e a retenção de umidade (Da Silva, 1995).

A natureza do solo é outro fator de influência, com características intrínsecas, como o material de origem influenciando diretamente na susceptibilidade aos processos erosivos. Solos mais friáveis como os compostos por rochas sedimentares possuem uma taxa de formação mais rápida pela característica mais friável das rochas que o compõem, afetando diretamente nas propriedades de estrutura, textura, condutividade hidráulica e densidade (Da Silva, 1995).

Além do intemperismo físico, a ação da água é diretamente influente no fator de alteração química da composição dos solos. O intemperismo químico está atrelado à ação da água que se faz presente por um período nos solos, causando alterações na estrutura molecular da mesma, nos processos de dissolução oxidação e hidrólise (Guerra et. al, 1999).

Como fatores de formação do solo, além do material de origem, clima, relevo e organismos, a ação do tempo denota a formação de solos e o grau de desenvolvimento aplicado a eles. A percepção geológica de formação dos solos, exemplifica os processos de pedogênese de forma lenta e gradual, que corresponde a forma natural de sua ocorrência contribuindo diretamente para os perfil e horizontes que podem ser observados, assim como a capacidade física e química dos mesmo, denominado como morfogênese (Vinha, 2011).

A morfodinâmica engloba as atividades humanas como atuantes nas formas de relevo definidas pelo processo da morfogênese, acelerando o tempo geológico e atuando como modificadores da superfície terrestre, descrito por Vinha (2011), como a “*materialização do tempo no espaço geográfico*”.

### **3.3. Restauração e estágio de sucessão ecológica de áreas degradadas**

Partindo do princípio de Ecologia, definido por Odum (2006), como estudo da inter-relação entre grupos de organismos com os processos funcionais da Terra, considera-se a ecologia como sendo uma forma de representação da paisagem, representando a totalidade do homem e do ambiente. Desta forma, um dos princípios que move estudos de ecologia, é a sucessão ecológica, que descreve o grau de evolução do ecossistema de acordo com o nível de maturidade ou estágio de sucessão ao qual a vegetação e o ecossistema como um todo se encontram.

A sucessão consiste em um processo ordenado, natural e gradual de modificações do sistema, com estágios que podem ser identificados de acordo com indicadores, tendo como variável de análise principal a vegetação, que de forma macro, permite a percepção visual. A composição abrange toda a comunidade biótica que se desenvolve em cima de um território abiótico ao longo do tempo, iniciando em locais onde houve processos antrópicos ou naturais de formação de novos espaços, iniciando o processo de recuperação natural até que se atinja o clímax (Odum, 2006).

O primeiro estágio consiste na sucessão primária, onde locais inóspitos ou desprovidos de solos férteis, previamente desocupados como rochas erodidas, dunas de areia e campos de lava, iniciam-se o processo de ocupação por espécies pioneiras, sendo estas, espécies que aguentam condições inóspitas de umidade reduzida e incidência solar para iniciar os processos de ocupação do território, que naturalmente ocorrem através da presença de fragmentos florestais no entorno, com os processos de dispersão ocorrendo (Miranda, 2009).

Vale ressaltar que espécies consideradas como primárias, possuem pouca expectativa de vida, caracterizadas por uma fisiologia mais básica, com crescimento rápido inicialmente e pouca expectativa de vida, com o objetivo de preparar o local para novos estágios de sucessão, propiciando condições mais favoráveis, sendo capazes de sobreviver a condições edáficas estressantes (São Paulo, 2014).

Ainda de acordo com Miranda (2009), segue-se o processo natural para a sucessão secundária, que após um processo de ocupação inicial, após a ocorrência de perturbação e influenciada pelo tipo de espécie existente, em geral constituídos por uma composição de espécies mais bem desenvolvidas, de sucessão tardia, com crescimento lento e maiores expectativas de vida para a colonização efetiva de locais. Locais susceptíveis a esse estágio de sucessão podem ser como campos de agricultura abandonados e espaços que sofreram perturbações ambientais (como a abertura de clareiras em florestas).

Após longos períodos de ocupação por espécies diversificadas e em estágios de sucessão avançada, tem-se o estabelecimento de um equilíbrio dinâmico, onde, por exemplo, o local se torna resiliente e sobrevive com facilidade a espécies invasoras. Atingindo-se o que pode ser chamado de estabilidade máxima, com uma comunidade bem adaptada e específica para o ambiente ao qual ocupam, com fluxo de matéria e energia constantes (Miranda, 2009).

Contudo, processos de alteração da paisagem por ação antrópica alteram a dinâmica natural descrita. Acelerados processos de degradação ambiental acabam por ocorrer, tendo, portanto, ações humanas de manejos e uso e cobertura do solo atuando como agentes perturbadores do sistema natural, intensificando processos espontâneos e elevando o grau de degradação (Guerra, 2017).

A partir do manejo não adequado ou a isenção dele, há a formação de uma área com indícios de degradação, que devem ser combatidos logo no início a partir da adoção de técnicas conservacionistas, contudo, muitas vezes, estas atingem grau de perturbação que necessitam de intervenção e um manejo ambiental adequado. Com o primeiro estágio de sucessão para uma recuperação do local, deve-se inicialmente se atentar se já há uma continuidade para sucessão, pois em termos da gestão integrada da paisagem, os processos sucessionais têm sua ocorrência desencadeada muitas vezes devido a presença de fragmentos florestais no entorno, onde a fauna e flora, pelos métodos de dispersão realizam o processo de reocupação da área (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

Entretanto, em áreas degradadas, muitas vezes a questão territorial do entorno não possibilita tal ocorrência, de modo a se ter a necessidade da intervenção humana também para o processo de recuperação do local, através da remediação do problema e inserção de biodiversidade no local (Guerra, 2017).

Desta forma, se faz necessária a instauração de processo de restauração da ecologia do local. O processo de restauração ecológica trata-se do auxiliar na recuperação de ecossistemas degradados, danificados ou destruídos, visando reestabelecer sua funcionalidade ecológica, biodiversidade e resiliência (Odum, 2006).

Segundo Holl (2023), a restauração pode ser conduzida por diferentes abordagens, desde a regeneração natural até a implantação de espécies nativas, dependendo do grau de degradação da área. O Código Florestal (Brasil, 2012), programas estaduais (São Paulo, 2019), resoluções estaduais, como a SMA nº 32 (2014), além de legislações municipais, são os principais instrumentos legais que orientam a recuperação de APPs e Reservas Legais.

A intervenção humana no processo de restauração aumenta a garantia de reparação do ecossistema, sendo ainda uma oportunidade de promover a economia sustentável, ao integrar práticas de recuperação com atividades produtivas, destacada como uma ferramenta para enfrentar crises ambientais e gerar benefícios sociais e econômicos (Odum, 2006).

#### **3.4. Práticas conservacionistas**

As técnicas consistem em operações com o objetivo de conservar os solos, abrangendo desde ações simples até intervenções compostas, com enfoque nas técnicas de cultivo, como o cultivo em faixas, cordões de vegetação permanente ou barreiras vivas, rotação de culturas e faixas de retenção. Ou, com enfoque em técnicas de engenharia aplicada de caráter mecânico, tais como o cultivo em contorno, alternância de capinas, cordões de pedra (como terraços), banquetas individuais (utilizado na fruticultura, em patamares de meia lua), patamar (transformando o declive em escadas) e a mais comum, terraços ou terraceamento, as ditas curvas de nível (Da Silva, 1995).

O número de técnicas para recuperação de áreas degradadas tem aumentado gradativamente em todo o mundo, e vários são os materiais utilizados para isso, tendo ainda as práticas de caráter mecânico, das bioengenharias. Estas, além de recuperar as áreas, utilizam-se de fibras vegetais e plantas locais para a aplicação da conservação dos solos, atrelado ao ganho custo-benefício, substituindo técnicas de concreto da engenharia “*dura*” para a inserção de práticas edáficas (Guerra, 2017).

Além disso, diversos são os benefícios propiciados pela aplicação de práticas conservacionistas, sendo estas que consistem na diminuição da temperatura do solo, aumento da umidade, proteção e estabilização de superfícies instáveis, aumento da fauna endopodônica,

controle de queimadas, aproveitamento de resíduos culturais, cobertura morta, adubação orgânica, rotação de culturas, plantio direto, subsolagem, correção da acidez e da fertilidade do solo, pastagens, reflorestamento, distribuição dos cultivos de acordo com a capacidade de uso do solo, e muitas outras (Da Silva, 1995). Guerra (2017) afirma ainda que a existência de uma vegetação arbórea protege e estabiliza encostas, reforçando e retendo mecanicamente vertentes declivosas por meio das raízes e caules.

Diversas são as metodologias e técnicas aplicadas para a restauração ecológica de áreas degradadas, a Resolução SMA nº 32 descreve algumas, como a regeneração natural assistida, enriquecimento de regeneração natural, nucleação, plantio em linhas e plantio livre. Em áreas mais declivosas e sem uma morfologia adequada, o plantio livre é indicado para um processo inicial de restauração. Por se tratar de uma técnica que consiste na introdução de espécies vegetais nativas, sem um planejamento rígido ou restrição de espaçamento entre as plantas, busca uma recuperação mais espontânea e natural da vegetação (São Paulo, 2014).

A técnica do plantio livre é frequentemente utilizada em áreas onde o objetivo é aumentar a diversidade ecológica e estimular a regeneração natural, favorecendo a formação de um ambiente mais autossustentável, atentando-se para a seleção de espécies nativas, manejo e um monitoramento contínuo do local. Devendo ser aplicada especialmente quando a área já apresenta algum nível de regeneração natural, como com a presença de algumas espécies arbóreas (São Paulo, 2014).

Para Durlo e Sutili (2005, Apud Guerra, 1999, p.19):

O conhecimento das exigências e características biológicas da vegetação, especialmente sua capacidade para solução de problemas técnicos de estabilização de margens e encostas, combinado com a construção de obras de grande simplicidade característica, o que é chamado de Bioengenharia, também denominada Construção Verde ou Construção Viva.

Como uma das técnicas de bioengenharia, a paliçada é uma estrutura que compõem os métodos biotecnológicos de controle de erosão e estabilização de áreas instáveis, englobando elementos biológicos e mecânicos, descritas por Verdum (et. al., 2016, p.31) como:

Meios mais utilizados contra os efeitos da erosão hídrica de fluxo concentrado. Estas barreiras impedem o aprofundamento de sulcos, estabilizam o perfil longitudinal do solo e, simultaneamente, contribuem para a retenção de sedimentos, iniciando o processo de deposição do solo, preenchimento da feição erosiva e gradativa colonização vegetal do setor em tratamento.

Portanto, logo após sua implementação a estrutura da paliçada se encontra em estado vulnerável, mas ao longo do tempo adquire resistência às intempéries e age como pioneira no desenvolvimento de espécies nativas no entorno (Araújo, Almeida e Guerra, 2013).

Estas técnicas, além de cumprir com a mesma função de barreiras construídas e propostas pela engenharia dura, também auxiliam no aumento do teor de matéria orgânica e na biodiversidade da área (Nunes *et. al*, 2023). Segundo Santana (2011, *Appud* Nunes *et. al*, 2023):

[...] As metodologias utilizadas na bioengenharia são vantajosas principalmente pelos aspectos técnicos, pois possibilitam aumento da proteção da superfície degradada contra os processos erosivos superficiais, tanto laminares, como lineares, bem como melhoram a estabilidade das encostas. Ecologicamente, propicia melhores condições para o desenvolvimento de coberturas vegetais, melhorando os regimes hídricos do solo, a estrutura do solo, assim como criando habitats para espécies da fauna e da flora, pois utiliza materiais biodegradáveis. No aspecto econômico, reduzem custos de construção e manutenção de obras de contenção onerosas, e fazem com que as áreas voltem a ser produtivas do ponto de vista ecológico. No plano estético, as estruturas mecânicas e edáficas montadas, interagem com a paisagem, auxiliando na restauração e conservação de encostas e margens de cursos e corpos d'água.

### 3.5. Depósitos tecnogênicos

Desde muito cedo a ciência do solo tem como ramo principal a Pedologia. Iniciando a necessidade da busca pelo entendimento e estabelecimento de estudos acerca do diagnóstico e prescrição dos solos, o ramo da agricultura acabou por impulsioná-lo, e em um período mais recente, surge a outra visão da pedologia, a experimentação com objetivo da aplicação de métodos científicos sob os mesmos (Lepsch, 2021).

Diversas são as formas de caracterizar os solos, com técnicas e metodologias avançadas em conhecimento intrínseco essencialmente o responsável pela análise. Entretanto, a discussão entre a denominação somente se dá para formações pedológicas que remontam os processos naturais de formação dos solos (De Lemos e Dos Santos, 1996). Muitas vezes, análises geográficas abordam somente as consequências e impactos das atividades humanas, deixando de lado o entendimento científico do processo ambiental culminante (Ellis, 2017).

Como exemplo das consequências mencionadas, a existência de camadas argilosas mais superficiais e arenosas em profundidade, acaba por não-caracterizar o solo em nenhuma das 13 classes definidas pela EMBRAPA (Dos Santos, 2018), desta forma, ao não se enquadrar, há uma nova classificação sugerida por pesquisadores, que consiste em áreas alteradas denominadas como depósitos tecnogênicos.

De acordo com Silva (2024, p.45):

No Brasil, os primeiros estudos na área específica do Tecnógeno (já com essa nomenclatura) surgiram a partir da década de 1990 e se difundiram nas décadas seguintes. Cabe destacar alguns pesquisadores que se debruçaram sobre o tema, como Peloggia (1999; 2003), Oliveira (1994); Silva (2011); Dias (2015); Nolasco (1998); Cúrcio *et al.* (2004); Silva (2009; 2012; 2017) e Moura *et al.* (2023) além de outros estudos apenas para exemplificar.

Segundo Peloggia (1999, *Appud* Silva, 2024, p. 47):

[...] Oliveira (1990) propõe a classificação geral dos depósitos tecnogênicos em três tipos genéticos: construídos (resultantes diretos da ação humana, como aterros, corpos de rejeito e etc.), induzidos (resultantes de processos naturais modificados ou intensificados pela ação humana, como depósitos de assoreamento, aluviões modernas etc) e modificados (solos ou depósitos naturais alterados em sua constituição por componentes tecnogênicos, como efluentes, adubos etc.). Nolasco (1998) introduz uma quarta categoria à classificação de Oliveira, qual seja a de depósitos retrabalhados[...] (Peloggia, 1999 p.36).

A partir de Peloggia (1999), como um dos pesquisadores a trazer as primeiras classificações de depósitos tecnogênicos, como exposto por outros autores também, consiste em algo induzido e modificado pela ação humana, composto essencialmente por sedimentos tecnogênicos-aluviais depositados em camadas ao longo de um tempo que não pode ser considerado como o geológico, por se dar o processo de formação em um período que remonta a ocupação humana.

O assunto é ainda tratado como recente,, desta forma, a utilização de técnicas de análises física, química, morfológica e de caracterização é ainda remontada para o estudo da pedologia (Teixeira, 2017).

Mesmo que um processo considerado como mexido e essencialmente deposicional de ação antrópica, como os antropossolos, por características visuais de objetos antrópicos depositados em áreas de fundo de vale, como resíduos de construção civil, tem-se em alguns casos a não-presença evidente destes tipos de materiais, onde a um princípio visual de análise, não é possível a caracterização como uma área deposicional, este sendo realizado por análises ou imposição empírica por conhecimentos prévios de conceituação e histórico do local, muitas vezes associado ainda com a questão urbana e processos de ocupação de cidades (Miyazaki, 2014; Richter, 2015).

De modo geral Miyazaki (2014), descreve os processos de descrição e dedução para os estudos dos depósitos tecnogênicos ainda sendo muito utilizada a partir da caracterização das camadas depositadas na paisagem e os materiais constituintes. Portanto, a partir dessa descrição são realizadas deduções e hipóteses de análise do objeto, consistindo basicamente na formação daqueles depósitos, buscando compreender o que ocorreu com a paisagem, o processo ou fenômeno e os agentes responsáveis por sua origem.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A análise realizada por meio de um estudo de caso consistiu na aplicação de técnicas e monitoramento em uma propriedade rural localizada no município de Álvares Machado. A fim de entender os fatores do entorno que descrevem a área de estudo, para caracterização inicial, tem-se a adoção da área indiretamente afetada (AIA) como se tratando de toda a extensão administrativa do município.

### 4.1. Diagnóstico ambiental da Área Indiretamente Afetada

O município de Álvares Machado, pertence à 10ª região administrativa, com município sede em Presidente Prudente. Por delimitação de Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) pertence, na porção sul, ao Pontal do Paranapanema, teve seu processo de ocupação e crescimento populacional impulsionado com a chegada da Estrada de Ferro Sorocabana no ano de 1919, direcionando-se para as margens do rio Paraná, com o primeiro núcleo urbano do município iniciado em 1922. Contudo, o processo de territorialização se deu através do desbravamento do colonizador Manoel Francisco de Oliveira em 1916, que ocupou inicialmente às terras do que futuramente daria origem ao município (Trombeta, 2015), além da colônia japonesa que ocupava algumas terras da região administrativa.

Este processo desencadeou na retirada da cobertura vegetal nativa, no qual apresentava uma composição de “*madeiras de lei*”, com espécies como peroba, ipê, jacarandá, faveiro, angico, cedro, jatobá e canela, de grande interesse comercial e retirados para a exploração da madeira. Posteriormente, impulsionado pela expansão agrícola da cafeicultura e da pecuária (Trombeta e Soares, 2015).

Elevado à categoria de município no ano de 1944, pelo Decreto Estadual nº 9775 de 30 de novembro de 1944, Álvares Machado atualmente conta com uma população de mais de 27.000 habitantes. A maior movimentação da economia, representando pouco mais de 50% do todo, advém através da prestação de serviços, seguido de aproximadamente 20% para os setores da indústria e administração pública, tendo o setor da pecuária representando somente 7% de toda a movimentação (Caravela, 2024).

#### 4.1.1. Geologia

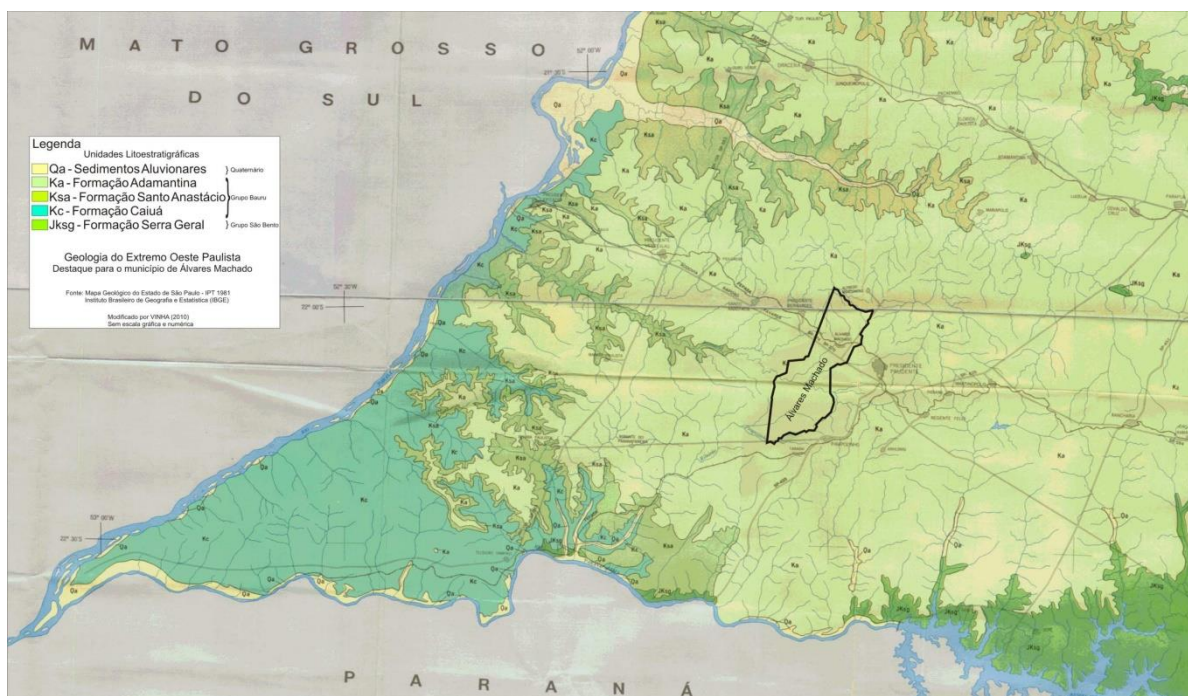
De acordo com o IPT (1981), morfoestruturalmente, pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná, a qual é constituída por rochas sedimentares e ígneas (mais profundas, com datação da

idade Mesozóica) e por depósitos recentes (compondo uma porção de rochas sedimentares e os horizontes superficiais, com datação da idade Cenozóica). Quanto à litologia, esta é formada, essencialmente, por arenitos e argilitos, com uma morfoescultura contendo índices de fragilidade do terreno médios, ou seja, que apresentam fortes processos erosivos.

A deposição recente compõe-se de rochas sedimentares da formação adamantina, cuja principal característica é a presença de bancos de arenito de granulação de fina a muito fina e coloração rosada a castanho. Demonstra ainda um processo de estratificação cruzada, por deposição aluvial de sedimentos, tendo camada de deposição com espessuras variando entre 2 e 20 metros (Vinha, 2011).

O mapa (Figura 3) possibilita a exemplificação da unidade litostratigráfica com destaque para a área indireta analisada, tendo uma composição inteiramente da Formação Adamantina (Ka), caracterizando uma área essencialmente deposicional, com caracterização principal de rochas sedimentares. Devido ao histórico de uso e ocupação do solo e rochas susceptíveis a processos morfogênicos, muitas dessas áreas apresentam um índice de fragilidade médio a alto.

Figura 3 - Geologia do extremo oeste paulista – destaque para o município de Álvares Machado



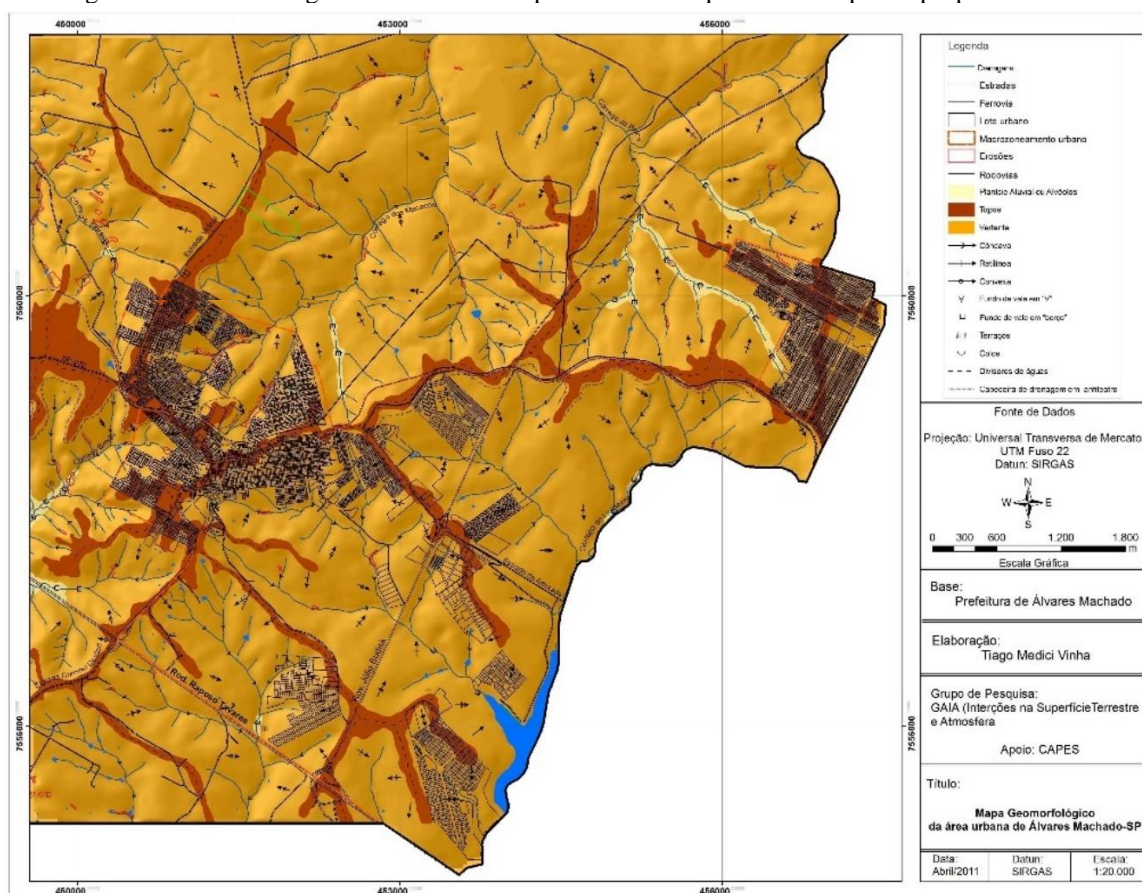
Fonte: Vinha (2011).

#### 4.1.2. Geomorfologia

Com relação ao Mapa Geomorfológico da área urbana da cidade de Álvares Machado (Figura 04), foram identificados os principais compartimentos de relevo (topos, vertentes e fundos de vale), representando os processos morfodinâmicos relacionados à dinâmica atual.

De modo a evidenciar a propriedade rural, adaptou-se o mapa de geomorfologia de Vinha (2011) para a Figura 4, que traz em um retângulo verde a propriedade rural, composta por áreas de topo à beira da estrada vicinal e duas vertentes, indicadas pela presença de um espigão na área central que separa os dois cursos de drenagem que se iniciam no centro da feição de topo. A vertente presente na área de estudo possui uma vertente convexa, com curvatura suave, predominante em regiões de colinas e morros mais elevadas (Vinha, 2011).

Figura 4 - Geomorfologia do extremo oeste paulista – destaque em verde para a propriedade rural



Fonte: Adaptado de Vinha (2011).

A geomorfologia do município apresenta topos extensos, porém, em sua maioria, são estreitos. A predominância é de uma morfologia suavemente ondulada e com declividades de 0 a 6% - se alargando mais no setor oeste da área de estudo, com a maioria das ocupações urbanas.

Os topos estendem-se de leste a oeste e norte e sul, sendo interligados por colos rasos e pouco alongados. Nas áreas de topos ocorre a presença de Latossolos e Argissolos (Vinha, 2011).

A área urbana e suas adjacências apresentam, de forma geral, colinas amplas suavemente onduladas. Em alguns trechos o relevo é mais movimentado/declivoso. Nas vertentes predominam declividades entre 6 e 20%. De acordo com Mapa Geomorfológico já apresentado, a morfologia dessas vertentes é côncavas, convexas e retilíneas, associadas à presença de cabeceiras de drenagem em forma de anfiteatro. Em algumas áreas é possível observar a presença de Argissolos e Neossolos litólicos, bem como o afloramento da rocha matriz (Vinha, 2011).

Na morfologia dos fundos de vales, predominam vales em “V” abertos, características de relevos suavemente ondulados. Nas áreas de planícies aluviais, os fundos de vales são amplos e muito assoreados, devido, principalmente, à carga de sedimentos transportados de montante. A declividade varia de 3 a mais de 20% em alguns locais, sendo possível observar a presença de Neossolos na baixa vertente próximo ao curso d’água. Foram identificados terraços fluviais e solos Hidromórficos. Nos fundos de vale estão presentes a maioria das erosões observadas (Trombeta e Soares, 2015).

#### **4.1.3. Solo**

O estudo de Vinha (2011), traz um esboço pedológico realizado com foco na porção urbana do município de Álvares Machado, identificando-se nos pontos analisados a presença de Argissolos, Latossolos, Neossolos Litólicos e Hidromórficos nos fundos de vale em áreas de planície aluvial com constante encharcamento do solo.

Desta forma, em grande parte dos locais, é possível observar a presença de Argissolos e Neossolos Litólicos, com constante afloramento da rocha matriz, especialmente em áreas de vertente desmatada. Nos fundos de vale estão presentes a maioria das erosões observadas, e a presença, muitas vezes de terraços fluviais e solos Hidromórficos. Em locais caracterizados por planícies aluviais, os fundos de vales são amplos e muito assoreados, devido, principalmente, aos sedimentos transportados de montante, sendo possível observar a presença de Neossolos na baixa vertente próximo à cursos d’água e áreas de várzea e deposição (Vinha, 2011).

De modo geral, os Argissolos:

[...] estão situados em relevos suavemente ondulados, em que predominam colinas com rampas de declives longos e topos levemente arredondados ou achatados, com morfologia de vales em “V” muito abertos. Já nas áreas de domínio de relevos ondulados, estes se encontram em colinas de menor declive e com topos levemente arredondados, com vales mais fechados em “V”. A variação de profundidade pode ocorrer de 2 a 3 metros, de caráter arenoso e bem moderadamente drenado, com transição clara entre os horizontes A, E e Bt (VINHA, p.85)

Os Latossolos:

[...] apresentam-se em relevos suavemente ondulados a ondulados. Nos relevos suavemente ondulados, as características dos topos são achatadas, com vertentes convexas e pouco declivosas e com variação entre 2 a 5%. Já nos relevos ondulados, os topos são arredondados, as vertentes convexas e os declives variam entre 5 a 15%. Possuem profundidade com mais de 3 metros e coloração vermelho-escura e são bem drenados, como o horizonte B latossólico. A textura varia de argilosa a média, com transição gradual e difusa (VINHA, p.85).

Os Neossolos Litólicos são:

[...] pouco evoluídos e rasos (normalmente 50 cm até o substrato rochoso). Geralmente apresenta o horizonte A raso em contato com a rocha ou cascalheira ou sobre horizonte C pouco espesso. Podem apresentar variação quanto ao horizonte A, sendo fraco, moderado, proeminente, chernozêmico ou húmico. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Ainda, por vezes, este tipo de solo pode apresentar horizonte B, porém de reduzida espessura (VINHA, p.86)

E os Hidromórficos:

[...] são formados em áreas de planície aluvial onde ocorre constante o encharcamento do solo, devido à proximidade da superfície do aquífero freático suspenso. Esses tipos de solos são mal drenados, provocando um acúmulo de matéria orgânica e/ou processo de gleização, que consiste na redução do óxido de ferro durante o seu desenvolvimento, fato que ocasiona uma coloração mais acinzentada. Por se encontrarem em áreas próximas a cursos d'água, não é permitido a ocupação nestes solos, reservando seu uso de áreas de preservação permanente (VINHA, p. 86).

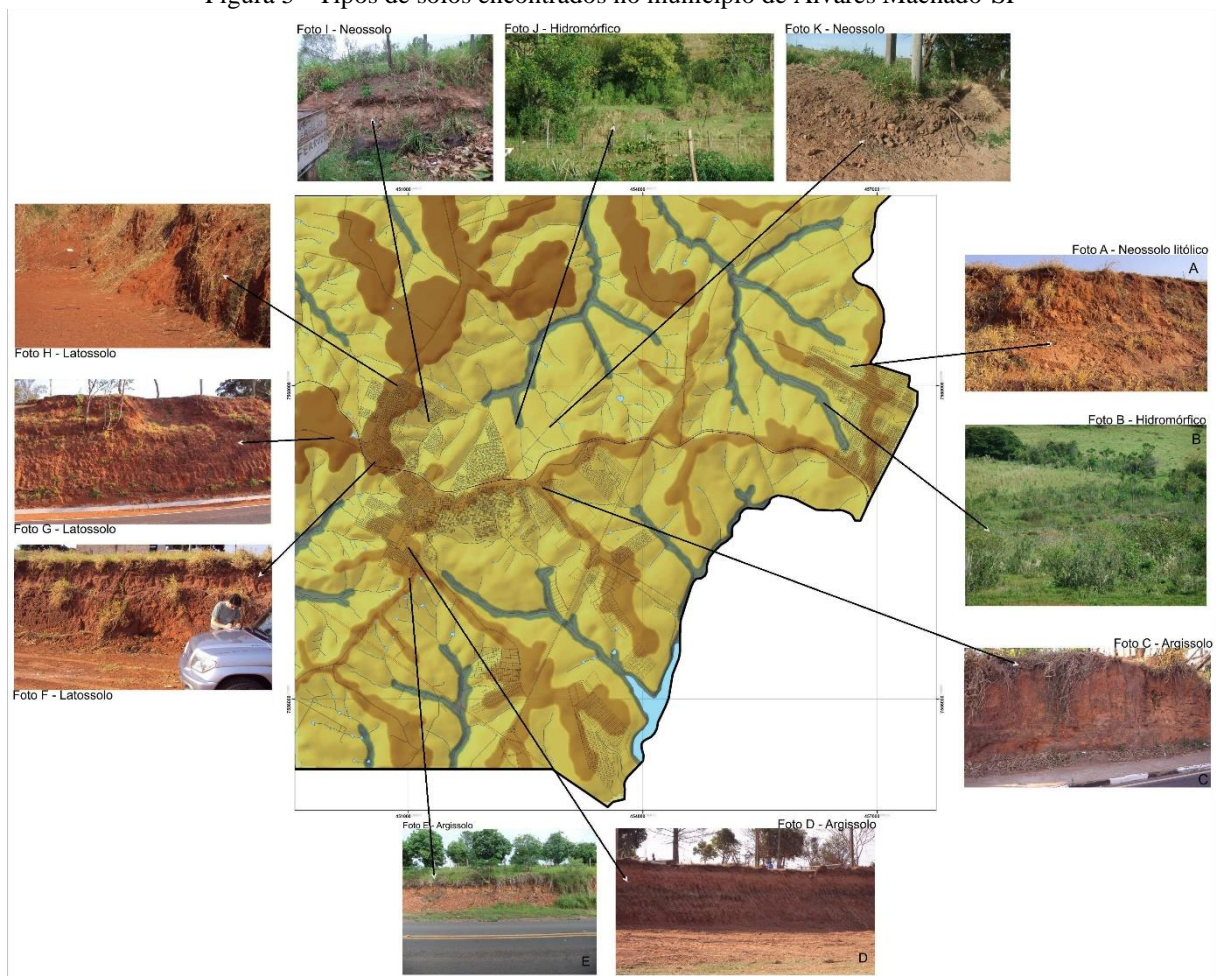
De acordo com Vinha (2011) na figura 5, o município de Álvares Machado apresenta dois tipos de solos: Argissolos Vermelho Amarelos (PVA) e suas variações, Latossolos Vermelhos (LV), solos Hidromórficos, Neossolos e Neossolos litólicos. Entretanto, como afirmado por Lepsch (2021), a classificação dos solos pode ser previamente descrita em campo, mas deve ser cuidadosamente analisada em sua composição morfológica.

Em análises de campo, com observações pontuais, como pode ser observado na Figura 5, determinou-se os tipos de solos para as feições geomorfológicas descritas no tópico anterior para a área central e urbanizada da cidade, onde também se localiza a área de estudo.

De acordo com Vinha (2011), a descrição pode se tornar ainda menos precisa devido às modificações que ocorreram na superfície, em destaque as áreas de impermeabilização do solo,

cultivos agrícolas e áreas de pastagem, tendo os locais observados e exemplificados nas fotos de A à K presentes na Figura 5 como sendo áreas que sofreram com a alteração antrópica, indo desde Neossolos litólicos em áreas de cortes para abertura de estrada e solos Hidromórficos onde se encontram as planícies aluviais coincidindo, portanto, com os locais de drenagem com atividades de agropecuária, até as áreas com formações mais consolidadas, como os Argissolos em áreas de vertentes e também cortes profundos para instalação de estradas pavimentadas e Latossolos com perfis profundos de áreas de topos e espigão de divisão principal (representados em coloração amarronzada mais escura).

Figura 5 - Tipos de solos encontrados no município de Álvares Machado-SP



Fonte: Vinha (2011).

#### 4.1.4. Clima

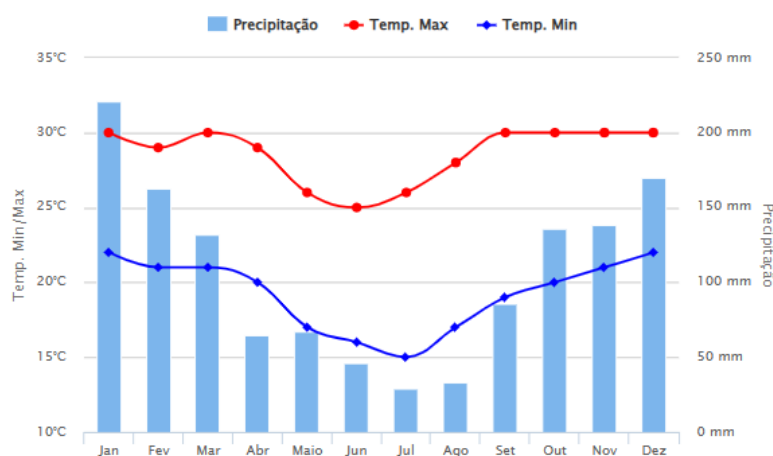
O município está inserido no clima tropical continental sub-úmido do centro sul do Brasil, sendo marcado por duas estações bem definidas durante o ano, com um verão longo, quente, abafado, chuvoso e céu quase sempre encoberto e um inverno curto, de temperaturas amenas, céu quase sem nuvens e sensação seca, ao longo do ano, a temperatura varia de 15°C

a 32°C e raramente é inferior a 10°C ou superior a 36°C, onde a porcentagem média de céu encoberto por nuvens sofre significativa variação sazonal ao longo do ano (Trombeta, 2015).

De acordo com Nunes (2002), a classificação de Köppen, que consiste em um esquema que divide os climas em cinco grupos principais, identificados pela primeira letra de uma palavra (sendo, A: Tropical, B: Seco, C: Temperado, D: Continental, E: Polar), o clima da região de Presidente Prudente é do tipo “Awa” – tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno, onde a temperatura no mês mais quente é superior a 22 °C, e a do mês mais frio é superior a 18 °C. O clima regional, classificado como “Aw”, tropical quente úmido, é perturbado pela circulação atmosférica regional, que confere a condição de transição climática, caracterizado por variabilidade pluviométrica, com flutuações no total de chuvas devidas a características geográficas locais (Trombeta, 2011).

Tal variabilidade pode ser observada na figura 6, que denota os índices pluviométricos no município e a relação de temperaturas mínimas e máximas ao longo do ano, tendo a estação de maior precipitação dura 5,1 meses, de 22 de outubro a 25 de março, e a estação seca dura 6,9 meses, de 25 de março a 22 de outubro.

Figura 6 - Climatologia e histórico de previsão do tempo em Álvares Machado-SP



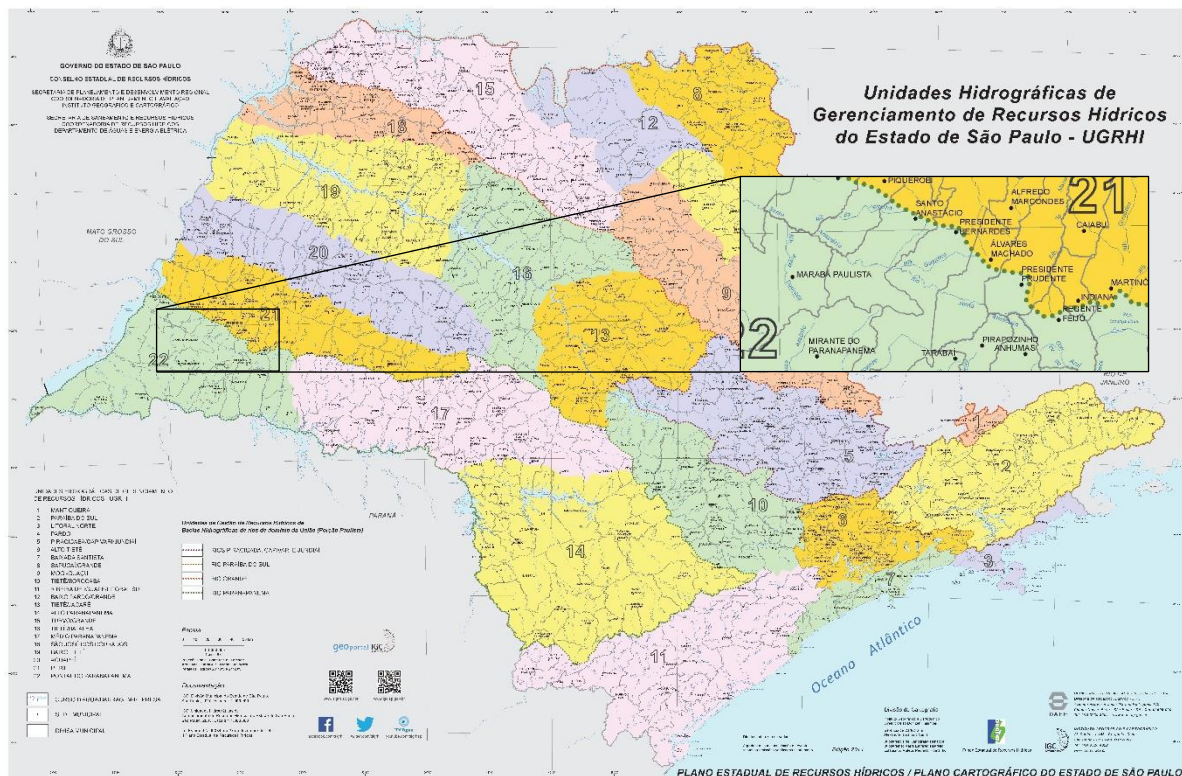
Fonte: Climatempo (2024).

#### 4.1.5. Hidrologia

Em respeito à hidrologia do local, o curso d'água principal no município é o Rio Santo Anastácio, que corta o município e desagua no rio Paraná. Entretanto, o município é ainda composto por diversos cursos d'água menores, se destacando entre eles: Córrego do Limoeiro, Córrego São Geraldo, Córrego do Macaco, Córrego do Matadouro, Córrego da Paca, Córrego do Brejão, Córrego Ouro Verde e Córrego Pirapozinho (Cobrape, 2020).

Na Figura 7, retirada do portal de Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, pode-se observar à sul a porção do município que corresponde à UGRHI 22, do Pontal do Paranapanema, tendo com curso principal o Rio Santo Anastácio, enquanto para a porção norte pertencente à UGRHI 21, do Aguapeí-peixe, não é possível observar um curso d'água de domínio “rio”, onde há somente córregos que se iniciam em um local de relevo de alto de escarpa, em região de divisão de duas zonas de drenagem do estado, seguindo o curso em direção à foz, no Rio do Peixe.

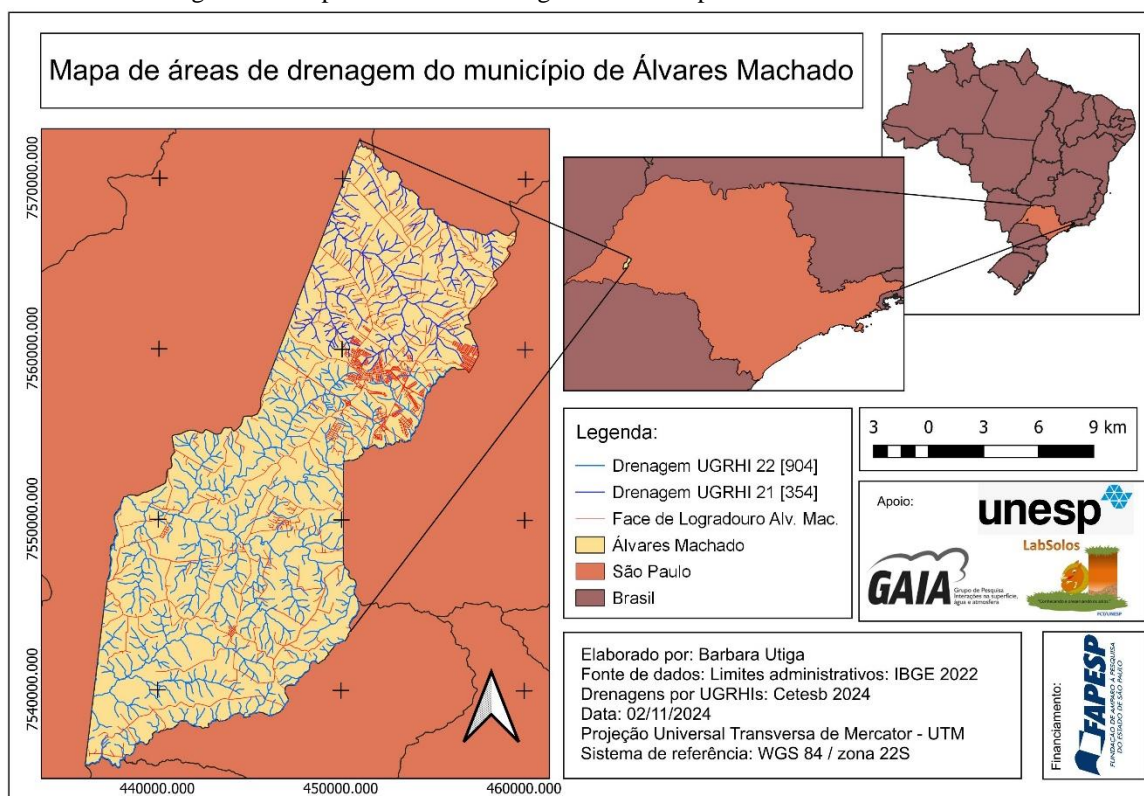
Figura 7 - Mapa das UGRHIs com destaque ao município de Álvares Machado-SP



Fonte: Adaptado de Portal SigRH (2024).

As Bacias Hidrográficas correspondem essencialmente a áreas de drenagem, que correspondem a região geográfica que coleta e direciona a água superficial para um ponto específico, como um rio, lago ou reservatório, sendo importante a definição de áreas e espaços relativos à delimitação geográfica para a discussões essenciais para discussão da gestão de recursos hídricos, para planejamento de abastecimento de água, irrigação, geração de energia e controle de enchentes. Desta forma, muitas vezes, limites administrativos podem transcender a questão natural de escarpas e divisores naturais sendo necessário, em especial para a discussão de problemas associados às drenagens das águas como os processos erosivos hídricos (Cobrape, 2020), como pode ser observado no município de Álvares Machado (Figura 8).

Figura 8 – Mapa de áreas de drenagem do município de Álvares Machado-SP



Fonte: Próprio autor (2024).

#### 4.1.6. Histórico do uso e cobertura da terra

De acordo com Santos (2001), até 1884 ainda restavam 79,7% da mata nativa na região do Pontal do Paranapanema. No entanto, ao longo dos anos, com destaque para décadas entre 1950 e 1970 (período de maior intensidade no desmatamento) só restava 6% deste montante. Em específico, o cenário em 1960 para o município de Álvares Machado era de 1,52% de mata, onde atualmente este número é menor do que 1%.

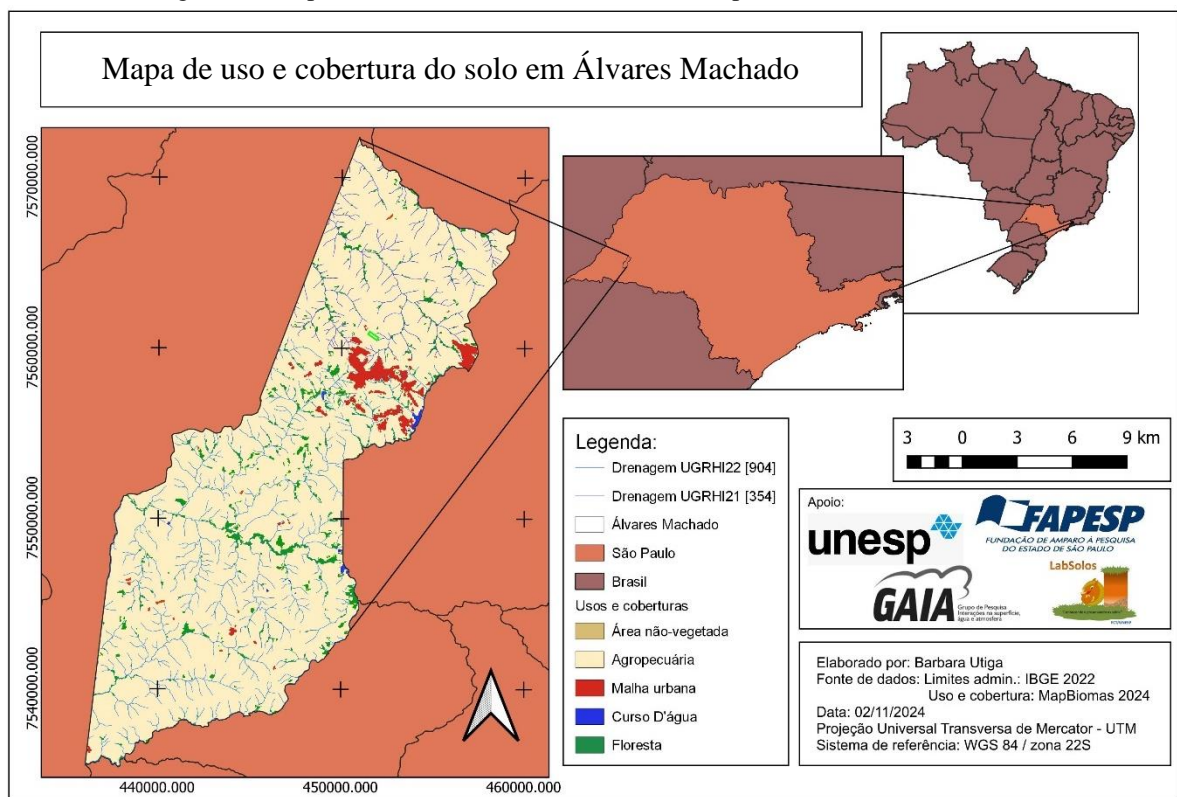
O impacto gerado pelo desmatamento, consistiu na retirada da Floresta Estacional Semidecidual Submontana ou Floresta Tropical Caducifólia que compunha a vegetação nativa (IBGE, 2004).

Durante todo o processo de colonização houve inúmeros cultivos registrados ao longo dos anos, sendo iniciado com os cafezais que, no entanto, levaram o solo a um processo de exaustão, aliado à crise do café de 1929, dando espaço a outros cultivos menos exigentes, como cereais, menta, cítricos, algodão, amendoim e atualmente a pecuária (IBGE, 2019). Com grandes áreas de pastagem consolidada pelo município, há atualmente, aproximadamente 68% do território do município descrito como sendo destinado à áreas de pasto, enquanto 22% correspondem a um mosaico de pastagem e agricultura, os outros 10% se subdividem em: 5%

para formações florestais, 2% para plantio de cana-de-açúcar e malha urbana, e outros 1% para demais usos, como rios, silviculturas e outras lavouras temporárias (Caravelas, 2004).

Através do observado na Figura 9, tem-se a malha urbana representada em vermelho, as áreas de drenagem em linhas azuis mais final, com a presença de grandes concentrações de água em destaque para o Rio Santo Anastácio e Balneário da Amizade, e concentração de vegetação nas margens do Rio, tendo o restante das áreas com cursos d'água, como córregos, sem uma proteção adequada dos mananciais.

Figura 9 – Mapa de uso e cobertura do solo do município de Álvares Machado-SP



Fonte: Próprio autor (2024).

## 5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o objetivo inicial de reconhecimento da área de estudo e diagnóstico da intensidade dos processos erosivos presentes no local, foram realizados campos com início no ano de 2022. A estrutura em si consiste em apenas uma ravina, com braços que seguem para a área de estudo, e, à jusante, tem-se uma estrutura profunda localizada na propriedade à divisa ao fundo da propriedade rural. Desta forma, a aplicação de estudos e procedimentos em campo foi apenas realizado à montante da ravina, de forma a evitar o avanço e intensificação dos braços da mesma.

A partir do diagnóstico inicial, partiu-se para a definição do plano de ação e definição das metodologias de estudo a serem aplicadas para obtenção de dados amostrais, que serão destrinchadas no tópico seguinte. Para a contenção das ravinas, foi adotada a implementação de técnicas de bioengenharia, na área de estudo (Figura 10), como descrito no tópico 3.4., que se utiliza de elementos naturais, como as ripas de bambu e eucalipto para a construção de barreiras físicas que contenham a energia cinética de águas pluviais.

Figura 10 – Local de implementação do estudo de caso



Fonte: Próprio autor (2023).

Para tal, foram adotadas as construções de paliçadas à montante e no interior dos processos erosivos; técnicas edáficas de reconstituição da paisagem para reestabelecimento do processo de sucessão ecológica na área de estudo; análises em campo para caracterização das vertentes das ravinas, com subdivisão em camadas para a realização dos estudos; análises granulométricas para denotar a concentração de areia, argila e silte de cada amostra; análise da densidade das amostras; morfologia de cada camada; análise de permeabilidade do solo, para o estabelecimento do coeficiente de condutividade hidráulica e dados de grau de compactação; análise composta do solo à montante, com análise textural e química da composição.

### 5.1. Levantamento bibliográfico

Inicialmente, antes da implementação e realização da parte prática, foi realizado um levantamento bibliográfico de conceituação de terminologia básica, definição do escopo e elaboração do plano de atividades foram iniciados no ano de 2022, em concomitância com o início do processo da FAPESP (2022 14032-0).

### 5.2. Trabalho de campo: montagem dos barramentos, plantio de mudas, coletas de amostras e ensaio de permeabilidade

Para a implementação de técnicas de controle de erosão, foram montadas barreiras de paliçadas de bambus com mantas de sombrite de polietileno exterior das erosões e no interior das ravinas, foram utilizados eucaliptos, considerando a dimensão das mesmas (profundidade e largura), com procedimento expresso na Figura 11.

Figura 11 - Exemplificação da montagem dos barramentos.



Fonte: Lopes e Silva (2022).

O processo de retirada das ripas de bambu pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Processo de retirada das ripas de bambu utilizadas na montagem dos barramentos.



Fonte: Próprio autor (2022).

Para a construção das paliçadas, foi adotada a metodologia de Nunes (2023), com a utilização de duas ripas mais grossas fixadas no terreno como estruturas de apoio com auxílio de cavadeiras manuais, com as demais ripas sendo empilhadas horizontalmente e amarradas com Arame Galvanizado de fio 14 (2,10mm) e a ferramenta chave turquesa ou torquês armador para melhor fixação e suporte. Posteriormente, são colocadas as mantas de sombrite de polietileno e presas com abraçadeiras de nylon cobrindo as barreiras, com o intuito de diminuir a energia potencial do fluxo de escoamento superficial, bem como de reter os sedimentos. As paliçadas são a estrutura primária para a recuperação dos processos erosivos, estabilizando as vertentes das ravinas, por meio da diminuição da energia cinética do escoamento superficial, ocasionando a concentração de sedimentos a montante do barramento.

Seguindo os procedimentos metodológicos, realizou-se o cercamento da área de estudo e posteriormente a implementação das técnicas edáficas no local, iniciando com o processo de limpeza do local, onde foram retiradas as gramíneas em um raio de 2 metros, a fim de se fazer o coroamento, evitando que a muda seja suprimida pelo crescimento de outras espécies vegetais. Em segundo momento é realizado uma cava de 40 cm de profundidade, para o plantio da muda. Como o solo já se encontrava úmido, devido ao período chuvoso, não foi necessário regar as mudas nas semanas seguintes. Por fim, a matéria orgânica extraída do capinamento da coroa, foi posta ao entorno das mudas, de modo a manter a umidade do solo. A metodologia utilizada foi baseada nos documentos consultado da EMBRAPA (2021) e a Resolução SMA nº 32 (São Paulo, 2014), e os procedimentos foram exemplificados na Figura 13.

Figura 13 - Procedimento de plantio das mudas de espécies nativas



Fonte: Próprio autor (2022).

Seguindo, para o ensaio de permeabilidade do solo, foi utilizado o Permeômetro de Guelph constituído por tripé; tubo de suporte; tubo de ar e reservatório na parte central e tubo superior de entrada de ar (Takenaga; Ribeiro; Fernandes, 2014). A Figura 14 representa bem o esquema do permeômetro de *Guelph*.

Figura 14 - Estrutura do Permeâmetro Guelph.



Fonte: Takenaga; Ribeiro; Fernandes (2019).

De acordo com o descrito por Takenaga (et. al, 2019), o procedimento se inicia com a escolha do local de análise, preferencialmente que represente a área como um todo, seguido de uma limpeza do local de encaixe do permeâmetro e abertura de uma cavidade de 10cm de diâmetro e uma profundidade de 70cm, seguido da montagem do aparelho (Figura 15), preenchimento do recipiente com água (evitando a presença de bolhas de ar) e abertura do aparelho ajustada para solos arenosos.

As análises consistem na obtenção de um valor da carga hidráulica a partir da permeabilidade de um solo saturado. O nível de água do aparelho é alterado conforme há a saída de água em regime constante no interior da cavidade realizada com o trado, originando um “bulbo” de saturação d’água a partir da sua base, que pode também ser chamado de zona, onde, após a sua saturação, o volume de água que infiltra no solo passa a ser constante em uma unidade de tempo determinada (Santos, 2005).

O procedimento se dá, desta forma, a partir da leitura na variação no nível de água no reservatório (em centímetros), para o estudo, monitoradas a cada 2 minutos, até que se tenha quatro leituras constantes desta diferença, com no mínimo 20 minutos de observação ou a obtenção de 4 leituras seguidas e iguais, pós abertura da válvula de alívio de pressão. Para o estudo, foi analisada as cargas hidráulicas com níveis de pressão à 5cm e à 10cm, tendo as essas cargas como representação da altura da coluna d’água acima da zona de saturação do solo, usada para avaliar a taxa de infiltração e determinar o valor de condutividade hidráulica, o uso de duas cargas diferentes melhora a precisão dos cálculos ao permitir uma melhor estimativa das forças matriciais do solo, que variam com a profundidade e as características do material. (Takenaga; Ribeiro; Fernandes, 2014).

O valor é expresso em centímetros por segundo, sendo a energia potencial da água armazenada em coluna e expressa pelo valor de altura, pelo tempo em que leva para se infiltrar no solo.

Figura 15 – Exemplificação dos procedimentos em campo de análise da permeabilidade do solo.



Fonte: Próprio autor (2023).

Para a caracterização de perfis de solo em campo, utilizou-se de bibliografia dos autores De Lemos e Dos Santos (1996), com o processo se iniciando com a limpeza da parede, em uma profundidade de retirada da camada superficial (em 20cm à dentro do solo), até que se obtenha uma estrutura perpendicular (Figura 16).

Figura 16 – Exemplificação do procedimento de coleta de amostras e anel volumétrico.



Fonte: Próprio autor (2023).

Com base nas características texturais, de consistência, intensidade de penetração da faca e de cor apresentada, os perfis de solos são subdivididos em camadas, enumeradas iniciando com a camada 1 superficial até o atingimento de uma homogeneidade aparente para a última camada. Após, aproveita-se a limpeza do perfil para as retiradas de amostras em torrões de solos para a realização das análises granulométricas de cada camada analisada, bem como a coleta de amostras com os Anéis de *Kopecky* para análise de densidade (Claessen, 1997).

Para amostragem de solo composta, são realizadas diversas coletadas com o auxílio de um trado do tipo holandês, a uma profundidade de 20cm, retiradas em trajeto de *zig zag* com o objetivo de recobrir toda a área e após, as amostras precisam ser homogeneizadas, destorroadas e separadas, necessitando de uma alíquota de 100 gramas para análise textural e outra de mesmo peso para seguir à análise química.

O procedimento de análise textural será descrito no tópico seguinte, em realização laboratorial no Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solo da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Unesp, enquanto a análise química seguiu para o Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia da UNESP de Ilha Solteira.

### **5.3. Ensaios laboratoriais**

Com a obtenção de amostras em campo, os torrões seguem para análise morfológica, com os procedimentos realizados de acordo com a bibliografia De Lemos e Dos Santos (1996), iniciando com análise superficial em campo da característica da transição de camadas e da determinação das dimensões (profundidade e espessura), em laboratório, os torrões são descritos através das características de cor, estrutura, porosidade e consistência.

Desta forma, estabelece-se a espessura entre as camadas, coincidindo o zero da trena com a camada superficial. A transição se refere à nitidez e contraste de separação em graus que vão desde abruptas, claras, graduais até difusas e relativo à topografia: plana, ondulada, irregular ou quebrada (De Lemos e Dos Santos, 1996).

A análise da cor utiliza-se da Carta de Munsell, que subdivide as tonalidades de acordo com fatores de matriz (ou cor), tonalidade (ou valor) e croma (intensidade de saturação), sendo realizadas com os torrões em local com boa iluminação, sendo analisado para amostras secas e úmidas (De Lemos e Dos Santos, 1996).

A estrutura do torrão define a forma, com o tamanho definindo a classe de estrutura e o desenvolvimento com grau da estrutura. A análise realizada em escala de macroestrutura, podem ser classificadas como laminar, prismático, blocos angulares, blocos subangulares e granular ou esferoidal. Além disso, as unidades estruturais são ainda classificadas como muito pequena, pequena, média, grande e muito grande, para cada classificação tendo um valor pré-estabelecido de diâmetro. Por fim, o último parâmetro da estrutura diz respeito ao grau de desenvolvimento, podendo ser classificado como fraca, moderada e forte (De Lemos e Dos Santos, 1996).

A caracterização da porosidade é observada com relação aos macroporos e a densidade deles ao longo da amostra, classificadas como: sem poros visíveis (mesmo com uma lupa de aumento de 10x) e contendo poros, subdivididos ainda como pouco poros, poros comuns e muitos poros, e ainda quanto ao diâmetro dos mesmos, em escalas milimétricas como muito pequenos, pequenos, médios, grandes e muito grandes (De Lemos e Dos Santos, 1996).

A análise morfológica observa a consistência, que analisa a propriedade física da coesão e adesão das partículas de solos presentes na amostra de torrão. Cada amostra é analisada seca e úmida, para as características de: consistência quando seca (ou tenacidade), classificados como solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura e extremamente dura; quando úmidas, classificadas como solta, muito friável, friável, firme, muito firme e extremamente firme; e quando molhadas, para um campo de plasticidade, classificados como não-plástica, plástica, ligeiramente plástica e muito plástica. Além disso, quando molhada, é ainda analisada quanto a sua pegajosidade: não-pegajosa, ligeiramente pegajosa, pegajosa e muito pegajosa (De Lemos e Dos Santos, 1996).

Por fim, analisa-se a variável da textura, com o procedimento de análise granulométrica descrito pelo Método da Pipeta (Teixeira, 2017). Com o objetivo de evitar erros, as amostras são triplicadas, com a margem de descarte de uma delas a partir de uma eventual amostra destoante das demais.

A Figura 17 exemplifica os procedimentos: que se inicia com a secagem das amostras por pelo menos 3 dias em local seco e arejado; destorroamento e homogeneização do solo seco com almofariz e pistilo, passando por uma peneira com abertura de 2,00mm; seguido com a pesagem de uma alíquota de 10 gramas em Erlenmeyer, adicionando-se 20mL de água destilada com uma proveta de 25mL e em seguida 10mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1M; com os Erlenmeyers sendo agitados durante 6 horas para ativação do hidróxido e separação

das sessões granulométricas; após a agitação, as amostras são lavadas com água deionizada e passada por uma peneira com abertura de 0,053mm; depositada em uma proveta de 1000mL, que contém a fração dissolvida, portanto, da argila e silte (Teixeira, 2017).

Figura 17 – Exemplificação dos procedimentos laboratoriais de análise granulométrica.



Fonte: Próprio autor (2023).

Todas as frações de areia são retidas na peneira, sendo transferida para placas de Petri, levadas para a estufa por 24 horas e resfriadas no dessecador. As placas são pesadas antes e após os procedimentos, atentando-se para a ausência de umidade, onde o peso de argila na amostra sendo obtido através da diferença de pese entre os pesos da placa (Teixeira, 2017).

A fração de argila é obtida por meio da alíquota contida na proveta de 1000mL, sendo agitadas para uniformização da amostra e retirada de uma alíquota de 5mL da solução a 5cm de profundidade, após a espera de um tempo de decantação de acordo com a temperatura média

no dia da análise, seguindo o princípio da Lei de Stockes. As alíquotas são transferidas para um béquer seco e pesado e deixadas para secagem em estufa por 24 horas a 105°C, transcorrido este tempo deixe esfriar num dessecador e pese a o béquer com a argila, onde o peso de argila da amostra é feito por cálculos utilizando o peso específico da argila (Teixeira, 2017).

Após a obtenção das porcentagens de argila e areia da amostra, o valor de silte é obtido através da relação de “100% - %areia - %argila”, considerando a alíquota de 10g de solo e o peso específico do silte (Teixeira, 2017).

Finalizando as análises laboratoriais, para a caracterização química foram analisadas as variáveis de: Índice de acidez (pH em CaCl<sub>2</sub>); Teor de matéria orgânica, expresso em mmolc/dm<sup>3</sup>; Fósforo (P) – resina, expresso em mmolc/dm<sup>3</sup>; Teor de potássio (K), expresso em mmolc/dm<sup>3</sup>; Teor de cálcio (Ca), expresso em mmolc/dm<sup>3</sup>; Teor de magnésio (Mg), expresso em mmolc/dm<sup>3</sup>; H+Al, expresso em mmolc/dm<sup>3</sup>; Soma de bases (SB = K + Ca + Mg), expresso em mmolc/dm<sup>3</sup>; Capacidade de Troca Catiônica (CTC = SB + H + Al), em mmolc/dm<sup>3</sup>; porcentagem de Cálcio (Ca) na Capacidade de Troca Catiônica (CTC = SB + H + Al), em porcentagem; Saturação por bases (V), expressa em porcentagem e dada pela fórmula:  $V = 100 (SB/T)$ ; Saturação de alumínio (m), expresso em porcentagem.

#### 5.4. Mapeamentos

Com a utilização do CorelDraw X4® de 2024 e obtenção do perfil longitudinal do relevo através do GoogleEarth, foi construído um perfil morfodinâmico do relevo da propriedade rural, com início do perfil no ponto A na estrada rural que beira o local até o ponto B, que corresponde à 80 metros após o limite da propriedade. Em destaque ainda, está apontada a área de estudo.

Utilizando-se do mesmo *software*, o CorelDraw X4® de 2024, foi realizado o esboço de relevo, com descrição simbólica definida por convenções cartográficas (Verstapen e Zuidam, 1975) e cores (Nunes, 2014) e observação realizada através da utilização da técnica de restituição 3D utilizando-se de um par estereoscópico, obtido por meio do Sistema de orientação e restituição de imagens digitais “*Pushbroom*”.

A partir da metodologia descrita no IBGE (2009), inicia-se o processo de amostragem com a análise de drenagem do local, definindo as ações que tomam as água correntes perenes e intermitentes da área de influência, para tal delimitando geograficamente a porção de estudo ao qual se compreenderia as análises.

Após, parte-se para uma interpretação de imagens em meio digital através do par estereoscópico e interpretação visual para identificação dos parâmetros espaciais passíveis de identificação. Seguido, de uma identificação e delimitação dos modelados e formas de relevo, identificando duas feições de relevo que descrevem a extensão do interflúvio local, sendo elas: Topos suavemente ondulados das colinas convexizadas e Domínios das vertentes côncavas, convexas e retilíneas. Também, delimita-se o perfil topográfico descrito por meio das curvas de nível com cota de altitude de 10m, desta forma, realizando a elaboração efetiva da carta através do software de design CorelDraw, que possibilita a realização de desenhos vetoriais bidimensionais.

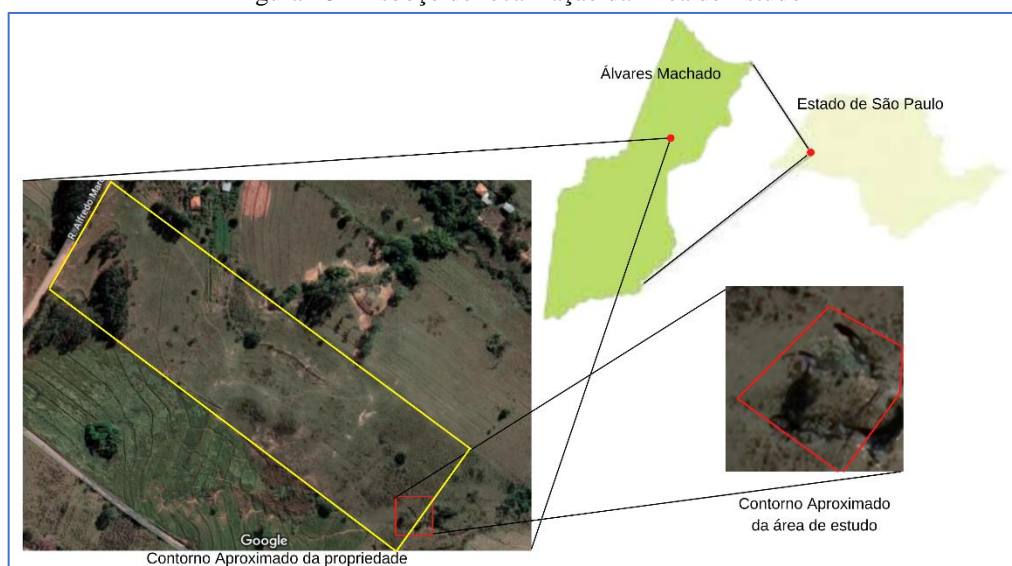
## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos foram as análises e estudos realizados para o estudo de caso, que vão desde ações práticas na efetiva recuperação e atenuação da problemática de degradação ambiental da área, até análises laboratoriais e caracterizações em campo com a finalidade de entender os resultados obtidos.

### 6.1. Diagnóstico ambiental

A área de estudo está inserida em uma propriedade rural no município de Álvares Machado, como é possível observar no esboço da figura 18.

Figura 18 – Esboço de localização da Área de Estudo



Fonte: Próprio autor (2022).

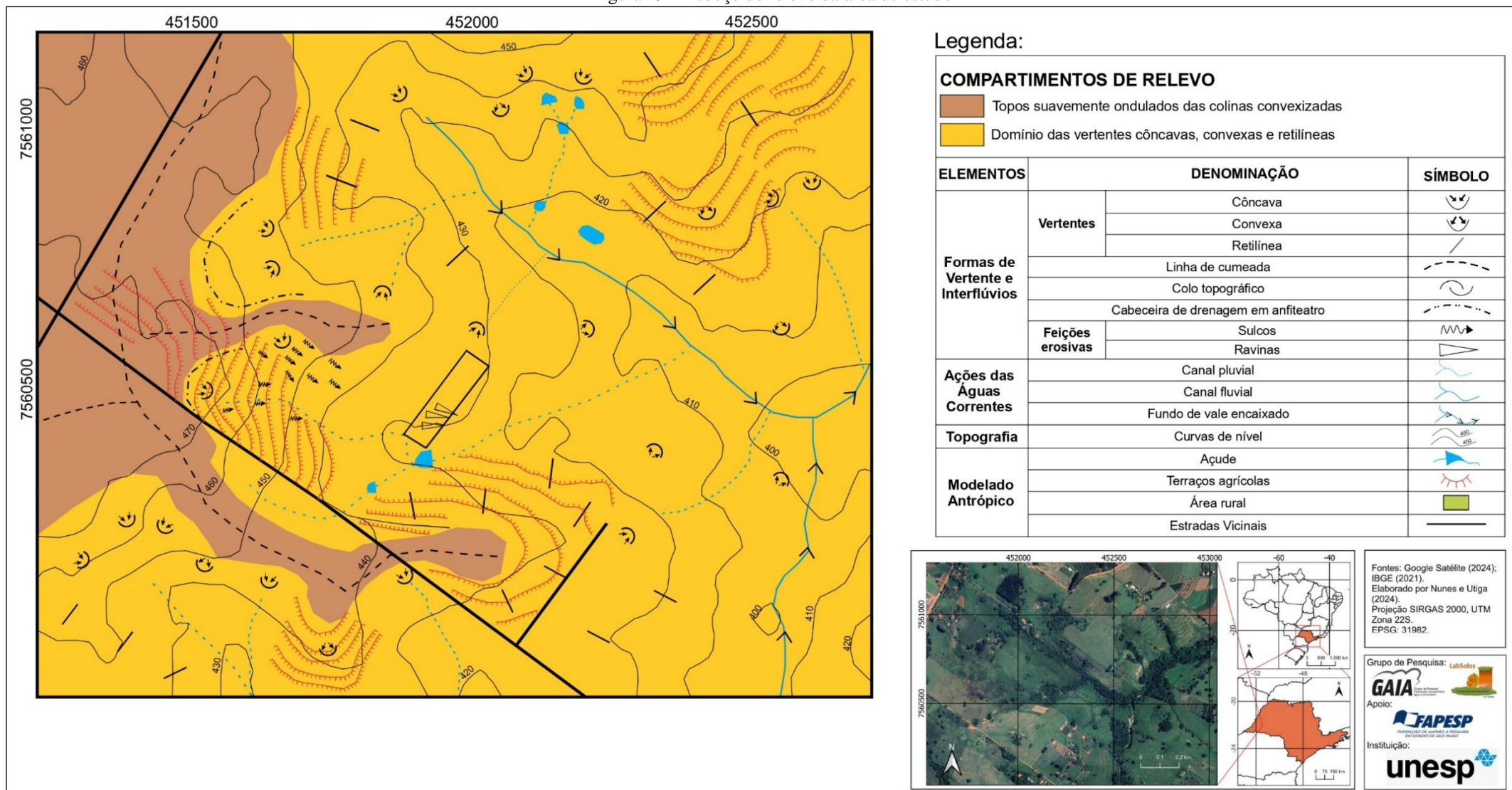
#### 6.1.1. Geologia e geomorfologia

Como citado no tópico 4.1.1., que descreve o processo de formação geológica tido no município, não há especificidades na composição da unidade litroestratigráfica, sendo tido por rochas sedimentares advindas da Formação Adamantina (Ka).

Para Tricart (1965), utilizado como referência metodológica para o mapeamento geomorfológico realizado na pesquisa, o processo da confecção de mapas que descrevem o relevo geomorfológico associado com a construção histórica geológica do local, fazem parte de um processo inicial de compreensão das relações espaciais.

A figura 19 representa um esboço do relevo da área de estudo e áreas de influência do entorno.

Figura 19 – Esboço do relevo da área de estudo



Fonte: Próprio autor (2024)

Na figura acima, destaca-se os topos com colinas convexas suavemente ondulados e a seu entorno galerias de anfiteatro, representadas por estruturas de vertente côncavas, responsáveis pela drenagem pluvial das águas de montante que se concentram no centro da vertente, seguidos na direção da área de estudo, evidenciando ainda uma vertente íngreme que acaba por favorecer a formação de processos erosivos à remontante. O estudo geomorfológico, aborda ainda as estruturas de rede de drenagem que perpassam pela vertente de anfiteatro e ao fundo da área de estudo, com deságue no córrego do macaco destacado em linha azul contínua, que comprova a causa principal do processo erosivo: o escoamento superficial, denotando assim a problemática do local, que consiste em estruturas de ravinas por erosão hídrica.

A partir de uma análise comparativa com o esboço produzido por Vinha (2011), pode-se observar a área de topo correspondente à estrada vicinal, com uma diferença para a escala maior esboçada neste estudo, com a continuidade da vertente no interior da área de estudo e propriedade vizinha. Também, há uma análise para processos erosivos de menor grau, como os sulcos e pequenas ravinas, e técnicas conservacionistas de terraços agrícolas.

Vale ainda ressaltar a inexistência de indícios ou curso d'água fluvial à jusante da área de estudo, como definido ainda por Vinha (2011). Os cursos d'água apresentam somente o escoamento de águas fluviais em regimes chuvosos, denotados em distinção de representação cartográfica em análise apresentada na Figura 19.

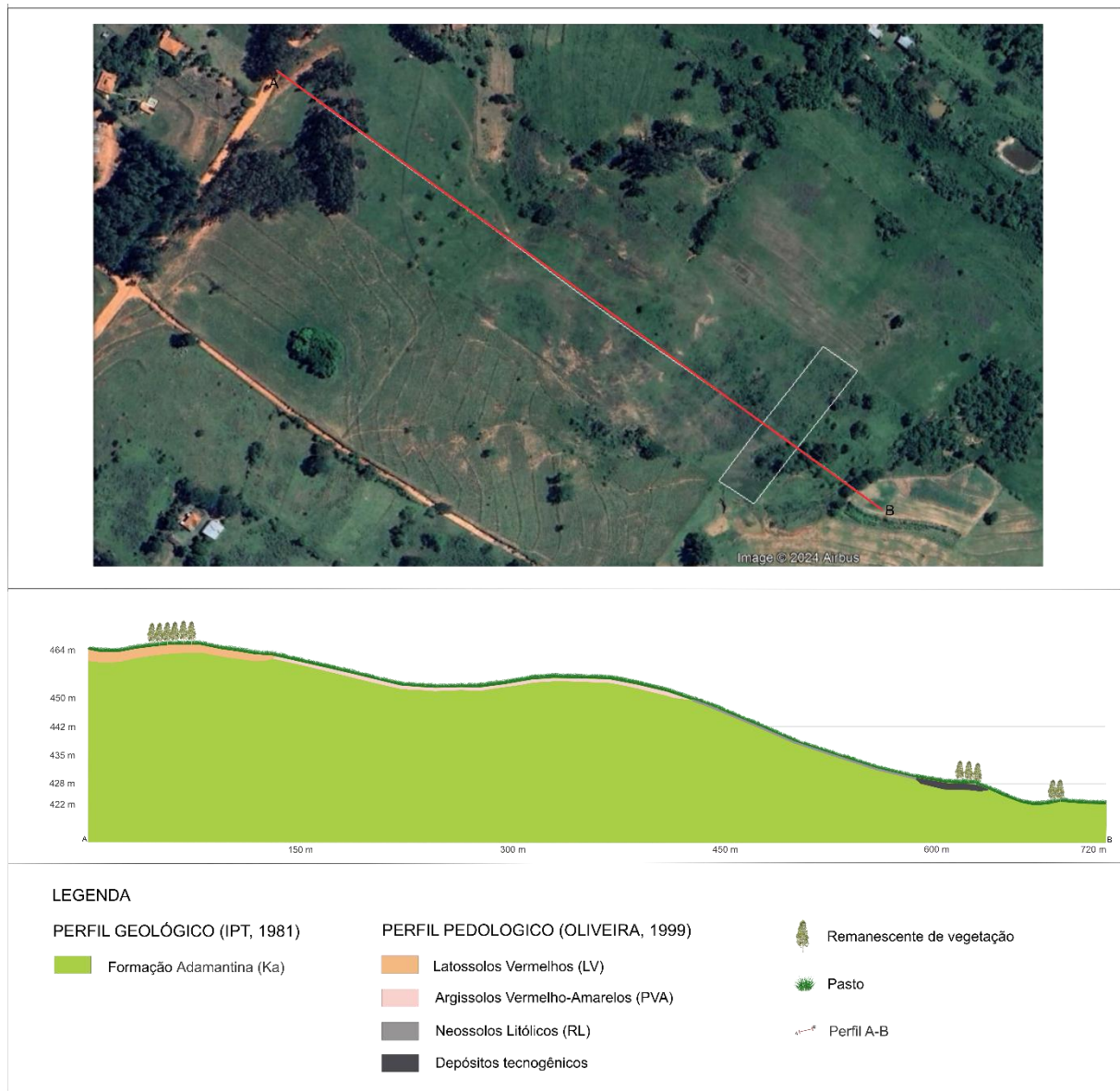
### **6.1.2. Solo e cobertura vegetal**

Diversos são os métodos para classificação dos solos, com a finalidade de se ter a classificação pedológica convencional em uma das treze classificações. As análises que podem ser realizadas para tal dependem de diversos fatores, tais quais a profundidade, textura, mineralogia, fertilidade, coloração e outros (De Lemos e Dos Santos, 1996), contudo, como descrito por Silva (2024), a classificação pretendida de acordo com o analisado em campo, engloba técnicas de descrição do solo de acordo com a geomorfologia do local e análise em campo da área, com a visualização da composição de camadas obtidas por ensaio manual, visual e laboratorial descritos nos resultados da metodologia aplicada.

A visualização do tipo de solo é dada por uma inicial visita de campo, como pode ser observado na Figura 20, com a presença de Latossolos Vermelhos em áreas de topo compostas por solos mais profundos, Argissolos vermelho-amarelos na vertente do topo suavemente ondulado e espigão totalmente desprovido de cobertura vegetal (somente com uma gramínea

rasa), com menos profundidade que os Latossolos, mas ainda com composição maior de areia. A encosta da vertente retilínea com declividade mais acentuada (destacada de cinza) é composta por Neossolos Litólicos, solos empobrecidos com composição edáfica ruim e com formação recente.

Figura 20 – Perfil morfodinâmico da área de estudo



Fonte: Próprio autor (2024).

O perfil remonta ainda uma composição do solo no fundo de vale onde se localiza a área de estudo, que é composto essencialmente por sedimentos que se depositaram da vertente e topo de morro, sendo composto por um depósito tecnogênico dos sedimentos remontados da montante.

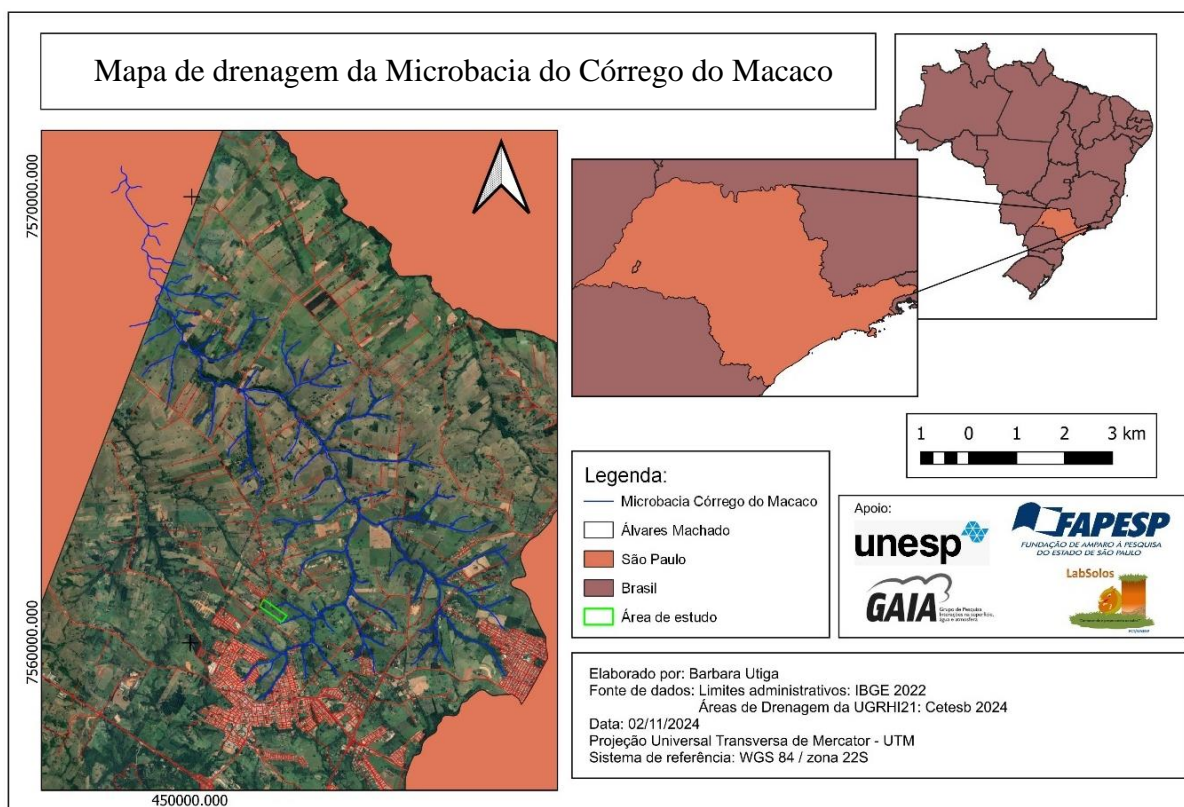
Como exemplificado, o uso e ocupação do solo demonstrado através da Figura 20, apresenta o remanescente da vegetação sendo denotado pela atividade de silvicultura, somente em fragmentos na porção frontal da propriedade rural, no interior da estrutura da ravina e na propriedade que faz fundo com a área de estudo. O restante do perfil analisado é composto principalmente de vegetação herbácea, essencialmente gramínea rasteira, característica de áreas de pastagem consolidadas, sendo a atividade econômica realizada no local de estudo.

Assim como o mapa apresentado na Figura 9, pode-se observar na área de estudo um uso consolidado de áreas destinadas à atividade de agropecuária, atestada em campo com uma conversa com o proprietário da área de estudo, onde afirma o amostrado pelo MapBiomias é consolidado, com a atividade exercida no local sendo arrendatária, com atividade predominante sendo a pecuária, sem que haja qualquer técnica ou prática conservacionista no local.

### 6.1.3. Hidrologia

A microbacia ao qual a área de estudo está inserida consiste no Córrego do Macaco, em destaque na Figura 21.

Figura 21 – Mapa de drenagem da Microbacia do Córrego do Macaco



Fonte: Próprio autor (2024).

A área de drenagem possui como cabeceira da microbacia, as áreas de nascente ocorrendo nas delimitações da porção urbana do município, seguindo pela área rural e seguindo para desaguar no Córrego do Gurucaia. Para a área de estudo, é remontado através do mapeamento de drenagem fornecido pela CETESB (2024), que estas continham a presença de nascentes onde se localiza o estudo de caso apresentado. Contudo, a inexistência de nascentes ou afloramentos de aquíferos suspensos de subsuperfície, denotam a degradação que ocorreu na área e a ausência de formações florestais como uma prerrogativa para a ausência deles.

A existência de cursos de drenagem na área que compõe a área de estudo, onde, de acordo também com relatos colhidos pelo proprietário vizinho, há décadas a área de estudo era composta efetivamente por uma área de drenagem com fluxo intermitente, mas, com a retirada da cobertura nativa à montante, o curso d'água acabou secando. Desta forma, pode-se afirmar que a estrutura profunda de um processo de ravinamento observado à jusante da área de estudo, corresponde a um leito fluvial escavado, e o processo erosivo que avança à montante, remonta o solapamento de estruturas de vertente fluvial.

Estes, como analisado no esboço geomorfológico, correspondem à um leito pluvial de drenagem preferencial das águas da chuva, sem quaisquer registros de afloramento de aquífero freático suspenso de águas de subsuperfície. Contudo, áreas semelhantes descritas por Nunes (*et. al.* 2023), denotam área semelhante de planície aluvial, mas ainda com a presença de um curso d'água, onde o processo já evoluiu para um nível posterior de voçorocamento.

## **6.2. Implantação de técnicas de bioengenharia**

Após a realização dos primeiros campos para a análise da área e a realização de pesquisas sobre o modo de operação e melhores práticas para um efetivo resultado, realizou-se nos dias 01 e 15 de outubro de 2022 o corte de ripas de bambu, com o auxílio de motosserra, trator e facão como pode ser observado na Figura 22.

A construção dos barramentos ocorreu no dia 25/10/22. Conforme observa-se na Figura 22, e colocação das telas de sombrite ocorreram no dia 30/10/22, com o auxílio das braçadeiras de nylon para evitar os desgastes propiciado pelo arame. Neste dia, foram construídas as estruturas localizadas à montante das 4 erosões lineares (ravinas), sendo a Ravina 3 constituída por dois braços, havendo desta forma, a necessidade da implementação de 5 estruturas de paliçadas. Todas construídas após uma observação a montante das direções do escoamento.

Figura 22 – Montagem em campo dos barramentos e a disposição dos mesmos.



Fonte: Próprio autor (2022).

O primeiro barramento, pode ser observado na Figura 23, com a área correspondendo a um processo erosivo ainda não consolidado, onde só é possível observar a existência de uma pequena porção de solo rebaixado. A estrutura construída possui comprimento de 4,2 metros, e altura de 60cm.

A partir da figura 23 (imagens b, c e d) é possível observar o crescimento da matéria orgânica no entorno da estrutura, onde na sua implementação (imagem a) há apenas a presença de uma vegetação rasteira de 5cm, com uma quantidade maior de biomassa crescendo no entorno da estrutura. Pode-se afirmar que a barreira física efetivamente consegue infiltrar uma maior quantidade de água e sedimentos, auxiliando na aceleração da taxa de crescimento da vegetação.

Além disso, a vegetação do entorno, que se encontrava seca e com poucas folhas, atualmente se encontra com muitas folhas e verde, com o solo mais úmido e um microclima mais agradável, a árvore retomou o processo de sucessão e realizou o processo de dispersão nas proximidades, sendo possível notar a presença de mudas não-plantadas ao entorno.

Figura 23 – Períodos de montagem do barramento 1.



Fonte: Próprio autor (2024).

Ainda no barramento 1, é possível observar o processo de solapamento intensificado ao redor do local de implementação, ocasionado pelo aumento da infiltração, onde há registros de infiltração interna e processos erosivos sendo consolidados no local, com a observação de pequenos buracos para infiltração preferencial da água retida no local barrada pela paliçada além de se observar o rebaixamento de solo no local.

Tratando da ravina 3, o segundo processo erosivo possui dois braços, tendo na esquerda um comprimento de 5,3 metros e uma altura de bambus empilhados de 0,6 metros, e na direita, uma estrutura com comprimento de 4,5 metros e 0,6 metros de altura (Figura 24).

Figura 24 – Período de montagem dos barramentos 2 e 3.



Fonte: Próprio autor (2024).

De forma análoga, há uma maior quantidade de biomassa crescendo nos arredores das estruturas da ravina 3, como pode ser observado na Figura 24 (imagem a.1). Nesta ravina também foram observados os processos de quedas de blocos ainda ocorrendo, mas agora com um avanço lateral das vertentes. Além disso, no interior das ravinas há uma presença massiva de biomassa e crescimento vegetativo, não sendo mais possível observar onde é o solo e matéria vegetal.

O barramento da quarta ravina (Figura 25), foi construído mais à frente das demais, onde no período de implementação apresenta um processo de solapamento em ocorrência, sendo este portanto, o processo erosivo com maior avanço, mesmo com a presença de um eucalipto em avançado estágio de sucessão no interior da ravina. A estrutura possui 5,2 metros de comprimento e 60 centímetros de altura. Na imagem c, é possível observar a estabilização do processo de solapamento, com a estrutura permanecendo ainda estável e com a identificação de uma rica camada de biomassa no local.

Figura 25 – Período de montagem do barramento 4.



Fonte: Próprio autor (2024).

O quinto barramento, possui a maior paliçada construída, com 6 metros de comprimento e 70 centímetros de altura (Figura 26). Nesta situação, houve a única danificação evidenciada no último campo realizado (Imagem d), tendo o apodrecimento da estaca de apoio do lado direito como a causa do rompimento de barreira, acabando por se ter todo o peso das estacas horizontais como intensificadores do desgaste, agravados e ocasionados ainda pela ação das chuvas torrenciais registradas nas últimas semanas. O processo de solapamento que ocorreu no local, obteve uma estabilização que pode ser observada nas imagens, mas ainda com registro de quedas de pequenos blocos, sendo atenuados pelo acúmulo de biomassa e sedimentos no interior da estrutura erosiva.

A partir do exposto na construção dos barramentos à montante, pode-se concluir que houve estabilização dos taludes da erosão linear, sem nenhuma grande queda de bloco sendo registrada. Ainda, a distância entre o início da erosão e a montagem do barramento mantidas e estáveis para todas as vertentes de ravinas (1 metro), demonstrando a eficiência das estruturas de paliçadas de bioengenharia, que não necessitaram de manutenção ao longo de 2 anos de implementação.

De modo semelhante ao que ocorre neste implementação, Nunes (*et. al.*, 2023) e Nakata (*et. al.*, 2016), descrevem para o período de 2 anos resultados qualitativos semelhantes, com o crescimento de gramíneas, deposição de sedimentos e retenção de materiais vegetais (como folhas e galhos) à montante dos barramentos, e a conseqüente recuperação das erosões lineares. Desta forma, pode-se afirmar também que após o período analisado, manutenções relativas ao apodrecimentos das estruturas de bambu são necessárias, como a substituição das estacas de

apoio, como no estudo. Estruturas mais firmes para as paliçadas, como com o uso de eucaliptos, podem ser indicados para a necessidade de uma manutenção com menos periodicidade delas.

Figura 26 – Período de montagem do barramento 5.



Fonte: Próprio autor (2022).

Houve ainda a montagem de 2 barramentos no interior da ravina 2 (braços 2) e ravina 3, como uma atividade prática para os alunos do curso de Engenharia Ambiental, sendo a atividade de campo para a disciplina de Geomorfologia no dia 22/06/2023 (Figura 27), visando uma maior retenção de água e biomassa no interior dos processos erosivos. Com a situação atual apresentada na Figura 28, apresentando o crescimento de gramíneas em maior proporção para as porções à montante. O barramento construído na Ravina 3 auxiliou ainda com o processo de solapamento que estava ocorrendo no local, firmando e estabilizando a estrutura.

Figura 27 – Barramentos construídos com auxílio de alunos (ravina 2 e 3 respectivamente).



Fonte: Próprio autor (2023)

Figura 28 – Barramentos no dia 30/10/2023 (ravina 2 e 3 respectivamente)



Fonte: Próprio autor (2023)

### 6.3. Restauração através de técnica de plantio livre

Utilizando a técnica descrita pela Embrapa (2021) e Resolução SMA nº 32 (São Paulo, 2014), foi realizado o plantio de 80 mudas, adquiridas por meio de doações, sendo o primeiro plantio realizado (20/12/2022) com mudas adquiridas com o Horto Florestal da Secretaria Municipal do Meio Ambiente da Prefeitura de Álvares Machado-SP, onde, por este motivo, há a presença de uma diversidade de espécies essencialmente frutíferas (Quadro 1).

Quadro 1 – 1ª remessa de plantio do dia 20/12

Catalogagem de mudas para a restauração da área degradada						
Nome Popular	Espécie	Total	Plantado	Nativa	Bioma	Classe sucessional
Coqueiro-acuri	<i>Scheelea phalerata</i>	1	1	Floresta latifoliada semidecídua	Cerrado	Pioneira
Côco da Bahia	<i>Allagoptera arenaria</i>	3	3	Restinga	Mata Atlântica	Pioneira
Amora	<i>Rubus rosifolius</i>	1	1	Floresta Ombrófila Densa; Florestas ombrófilas mista e Densa Almontana; Floresta Estacional Semidecidual; Cerrado e Áreas Antrópicas;	Mata Atlântica Cerrado	Não-pioneira
Umbuzeiro	<i>Spondias tuberosa Arruda</i>	1	1	Árvore heliófita, decídua durante a maior parte do ano (época da estiagem)	Caatinga	Secundária tardia

Romã	<i>Punica granatum</i>	1	1	Climas tropicais e subtropicais aos temperados e mediterrânicos. Resiste às temperaturas baixas	Ásia ocidental	Exótica
Graviola	<i>Annona muricata</i>	1	1	Clima tropical e subtropical	Mata Atlântica	Secundária tardia
Manga	<i>Mangifera indica L.</i>	4	4	Clima tropical	Mata Atlântica	Pioneira
Jasmin	<i>Hillia parasitica</i>	1	1	Floresta Ombrófila Densa; Florestas ombrófilas mista e Densa Altomontana; Mata Ciliar;	Mata Atlântica	Pioneira
Jacarandá	<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	2	2	Floresta Estacional Semidecidual	Cerrado	Pioneira
Pitanga	<i>Chusquea tenella Nees</i>	5	5	Restinga; Floresta Estacional Semidecidual;	Cerrado	Não-pioneira
Ipê	<i>Tabebuia obtusifolia</i>	15	15	Floresta Estacional Semidecidual;	Cerrado	Não-pioneira
		Total	35			

Fonte: Próprio autor (2023).

Após o plantio, houve um período constante de chuvas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, deste modo, as mudas fixaram suas raízes e tiveram tempo de se estabilizar, como pode ser observado na Figura 30, contendo a muda testemunha, que consiste em uma muda de ipê plantada neste primeiro momento.

De modo análogo ao processo citado, foi realizado outro plantio de mudas no dia 4 de março (Quadro 2), com priorização na escolha não somente de mudas nativas, mas tendo escolhidas mudas devido ao seu caráter frutífero, visando atrair animais (em especial pássaros, mas roedores também) que são agentes fundamentais na dispersão de sementes (Skorupa, 2021). Durante idas a campo, pode-se observar a intensa presença de animais no local, essencialmente pássaros e pequenos roedores, como lebres.

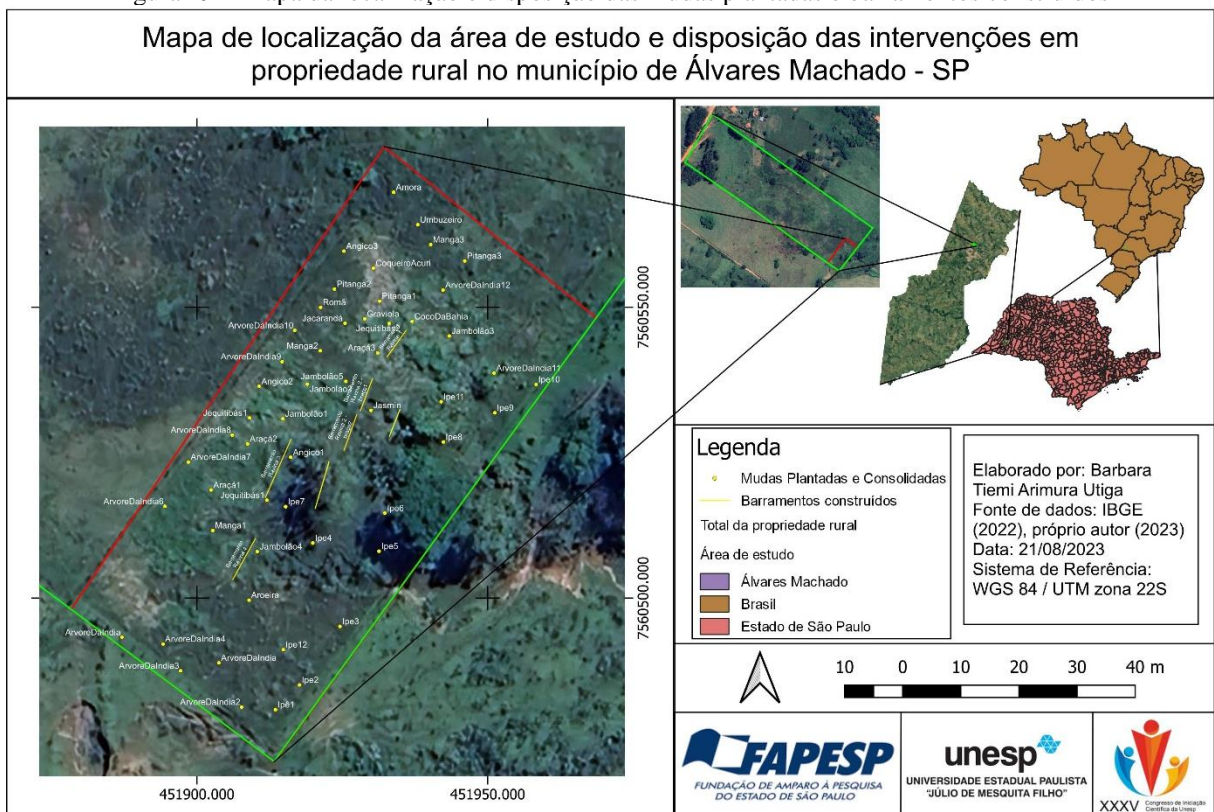
Após o período chuvoso intenso, com o cercamento da área experimental impedindo a entrada de animais de maior porte (gado), as gramíneas cresceram rapidamente cobrindo o coroamento das mudas. Com isto, foram realizadas roçagens periódicas, com maior intensidade para períodos chuvoso, com a finalidade de realizar a manutenção dos coroamentos ao redor das mudas (2m<sup>2</sup>) e uma mais pesada com utilização de maquinário no dia 13 de maio de 2023, com gramíneas que chegavam a 2 metros de comprimento.

Quadro 2 – 2ª remessa de plantio do dia 04/03

Catalogagem de mudas para a restauração da área degradada						
Nome Popular	Espécie	Total	Plantado	Nativa	Bioma	Classe sucessional
Nim	<i>Azadirachta indica</i>	12	12	Resistente a seca com interesse econômico	Sul da Ásia	Pioneira
Aroeira	<i>Schinus terebinthifolia</i>	4	4	Floresta Aluvial; Floresta Ombrófila Mista; Restinga; Floresta Estacional Semidecidual	Cerrado, Mata Atlântica, pampa	Pioneira
Jambolão	<i>Syzygium cumini</i> <i>Lamarck</i>	6	6	Continental, Equatorial, Subtropical e Tropical	Índia	Pioneira
Jequitibás	<i>Cariniana legalis</i>	5	5	Florestas tropicais e subtropicais	América do Sul	Secundária
Araçá	<i>Psidium cattleyanum</i>	6	6	Biomias da Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia, Pantanal e Caatinga	Brasil	Pioneira
Angico	<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	6	6	Amazônia, a Caatinga, o Cerrado, a Mata Atlântica e o Pantanal	América do Sul	Secundária
		Total	45			

Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 29 – Mapa da localização e disposição das mudas plantadas e barramentos construídos



Fonte: Próprio autor (2023).

Toda a biomassa gerada com os capinamento foi deixado no local, a fim de auxiliar na retenção da umidade do solo e posterior agregação de matéria orgânica. A muda testemunha (Figura 30), obteve um crescimento favorecido devido ao sombreamento proporcionado pelas espécies arbóreas remanescentes, ainda no interior dos processos erosivos, demonstrando a importância da existência de vegetação, mesmo que exóticas, para o processo de sucessão ecológica de locais degradados, devendo-se somente se atentar a não-inserção de espécies inibidoras. Na área de estudo, tem-se a presença da embaúba, não plantada e de surgimento espontâneo no decorrer do período de análises, sendo espécie pioneira na sucessão ecológica e indicador de recuperação, simbólica, como indicativo, do processo de recuperação da área de estudo (Figura 31).

Figura 30 – Muda de Ipê no ato do plantio (20/12/2022); no dia 06/06/2023; em 30/10/2023; e em 15/05/2024



Fonte: Autores, 2024.

Figura 31 – Embaúba: indicadora de zonas desmatadas em recuperação



Fonte: Autores, 2024.

## 6.4. Análise do solo

O solo do local, foi analisado de 3 formas distintas, tendo os resultados químicos, físicos e morfológicos.

### 6.4.1. Análise Química

Como abordado, a amostra composta do solo da área de estudo foi enviada para a Faculdade de Engenharia da UNESP de Ilha Solteira, Laboratório de Fertilidade do Solo, onde foram realizados os procedimentos de análises químicas do mesmo, de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (Da Silva, 2009).

Dentre os parâmetros analisados, o único a apresentar um resultado abaixo do indicado, foi o valor de pH. Um valor pH igual a 5,0 indica a presença de um solo ácido, tendo esse valor de acidez do solo podendo interferir na forma como os vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal estão disponíveis, favorecendo ou limitando sua liberação para uso pelas plantas (Da Silva, 2009).

Os valores (Quadro 3) apresentados de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) variaram entre nível de médio à alto, sendo considerados aceitáveis para áreas condicionadas por processos de degradação. Onde níveis considerados baixos estão em destaque vermelho, em níveis médios em destaque azul e para valores considerados em alta concentração, são destacados em verde.

No solo, o fósforo ( $\text{PO}_4^{3+}$ ) contribui de maneira favorável na divisão das células; floração e frutificação (formação de sementes quando há); maturação das culturas; desenvolvimento do raizame e crescimento no geral; fortalecimento da palha nas culturas de cereais; qualidade das culturas, especialmente de forragens e legumes; e resistência a certas doenças (Massaretto, 2010), onde para a área de estudo apresentou um valor considerado médio, podendo indicar a reposição do mesmo para que se tenha valores mais altos de concentração.

A presença de potássio ( $\text{K}^+$ ) no solo, em geral em sua forma mineral de feldspatos e micas, para a análise em um alto valor registrado, está relacionada diretamente com o matiz e o vigor dos vegetais em crescimento, além disso, o potássio neutraliza a influência nociva do nitrogênio amoniacal em quantidades prejudiciais ao solo (Buckman; Brady, 1968, p. 494, Appud Massaretto, 2010).

Em uma alto valor associado na análise, o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) possui efeito direto sobre o desenvolvimento dos vegetais e capacidade de CTC, sendo um dos nutrientes essenciais e

indiretamente influenciando no valor do pH do solo (MELLO et al,1989, p.282, Appud Massaretto, 2010).

Entretanto, o valor de cálcio, mesmo que adequado, a proporção em relação à CTC, de 42%, está abaixo valor considerado como ideal para solos férteis (50%-70%). De modo isolado, o valor de CTC pode ser considerado como alto, positivo para a retenção de nutrientes no solo e fertilidade geral (Teixeira, 2017). A CTC é determinada a pH padrão (7,0 ou 8,2) ou no pH natural do solo (CTC efetiva), que reflete melhor as condições para as raízes. A CTC pode ser melhorada com matéria orgânica e calagem em solos ácidos (Da Silva, 2019).

Quadro 3 – Análise química do solo composto da área de estudo

Sigla	Análise	Resultado	Unidade de medida
P	Fósforo	15	mg/dm <sup>3</sup>
MO	Matéria orgânica	15	g/dm <sup>3</sup>
pH	Potencial Hidrogeniônico	5,0	CaCl <sub>2</sub>
K <sup>+</sup>	Potássio	3,6	mmolc/dm <sup>3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio	30	mmolc/dm <sup>3</sup>
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio	16	mmolc/dm <sup>3</sup>
H+Al	Ac. Potencial (Alumínio trocável)	22	mmolc/dm <sup>3</sup>
Al <sup>3+</sup>	Alumínio	4	mmolc/dm <sup>3</sup>
SB	Soma de bases	49,6	mmolc/dm <sup>3</sup>
CTC	Capacidade de Troca de Cátions	71,6	mmolc/dm <sup>3</sup>
V	Saturação de bases	69	%
Ca/CTC	Cálcio em relação à Capacidade de Troca Catiônica	42	%
Mg/CTC	Proporção de magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) em relação à CTC	22	%
m	Saturação de alumínio	7	%

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo (2024).

Em relação à potencialidade tóxica de metais, como é o caso do alumínio (Al<sup>3+</sup>) analisado, a porcentagem de alumínio trocável no solo é considerada como um valor baixo, porém não interferindo de modo significativo no complexo de troca catiônica, mas sendo potencializado em solos ácidos. Contudo, a presença de matéria orgânica (MO) forma um complexo estável no com o metal.

#### 6.4.2. Análise Física

Por meio da Análise de Granulometria e Análise textural, realizadas através do Método da pipeta (Teixeira, 2017), descreveu-se a fração de areia, argila e silte presente nas amostras, em cada uma das camadas de cada um dos 4 perfis analisado, podendo-se deduzir o processo

de deposição do solo tecnogênico que compõe o processo de deposição de sedimentos da região de fundo de vale onde se localiza a porção à montante do processo erosivo com foco de recuperação do estudo.

Todas as coletas ocorreram entre os dias 04 e 18 de setembro. Após o procedimento de coleta das amostras, seguiram para os procedimentos laboratoriais, realizados no Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solo da FCT-Unesp, utilizando o “Método da pipeta” (Teixeira, 2017).

#### 6.4.2.1. Amostra composta

A amostragem consistiu no recolhimento de 25 amostras na área de estudo, visando a obtenção de uma análise da área como um todo e sua posterior classificação, este processo prático foi realizado no dia 10/07/2023. Para análise textural da amostra composta foram obtidos os seguintes valores de areia, argila e silte, levando em conta que a amostragem é realizada em triplicata, eliminando a amostra 1', que menos se aproximou dos valores das demais (Quadro 4). Deste modo, identificou-se percentuais de 67,53% de areia, 15,10% de argila e 17,37% de silte, classificado como pertencente a classe textural Franco Arenoso.

Quadro 4 – Granulometria, análise mecânica ou textural (método da pipeta) - amostra geral

08/10/2023	Argila	Areia	Silte
	g/Kg	g/Kg	g/Kg
1	148	672,20	179,8
1'	156	699,91	144,09
1''	154	678,48	167,52

Fonte: Próprio autor (2023)

A composição descreve uma grande presença de areia nas camadas superiores da área, tendo em vista esta é uma amostra homogeneizada de toda a área em uma profundidade de até 20cm, remontando processos deposicionais recentes com maior concentração de areias.

#### 6.4.2.2. Densidade pelo Anel de Kopeck

A partir do exposto no tópico 5.2., que descreveu os processos de coleta de amostras, incluindo com a utilização dos anéis de *Kopeck* para a obtenção das densidades, tem-se que o mesmo processo foi repetido à cada uma das camadas presentes nos 4 perfis de solo analisados, tendo o cálculo da densidade referente à massa obtida pela pesagem do conjunto individual de cada anel antes e após a coleta, e posterior média obtida entre eles, como procedimento para obtenção dos dados apresentados no Quadro 5.

Em média, o grau de compactação entre as ravinas é semelhante, com destaques às camadas compostas com maior concentração de argila, que serão apresentadas no tópico seguinte para maiores valores no grau de compactação.

Quadro 5 – Densidades analisadas para os 4 perfis de ravinas

Camada	Ravina 1		Ravina 2		Ravina 3		Ravina 4	
	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
C1	68,93	1,62	67,21	1,58	72,67	1,66	70,28	1,60
C2	75,51	1,61	73,11	1,56	73,77	1,68	71,94	1,70
C3	73,06	1,61	70,77	1,56	77,82	1,83	74,29	1,75
C4	66,7	1,57	68,58	1,62	67,36	1,59	76,25	1,80
C5	65,03	1,48	-	-	63,61	1,50	72,23	1,65
C6	63,44	1,44	-	-	64,16	1,47	68,17	1,61
C7	69,75	1,64	-	-	-	-	65,09	1,53
C8	-	-	-	-	-	-	69,83	1,54
Média	-	1,57	-	1,58	-	1,62	-	1,65

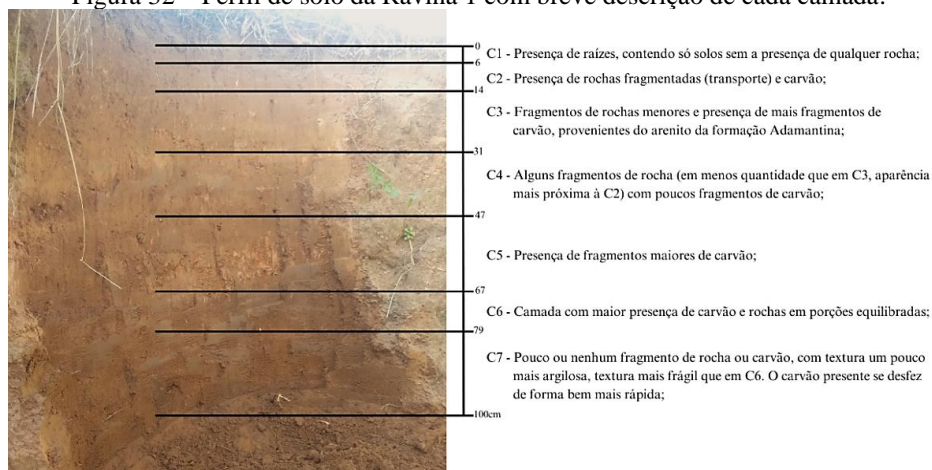
Fonte: Próprio autor (2023)

Contudo, em processo de retirada do material e posterior análise da amostra seca, consegue-se observar a grande concentração de areia na composição, tornando os solos extremamente friáveis e susceptíveis a degradação acelerada. Os valores de densidade elevados denotam que há um grau de compactação na área de estudo, devido ao intenso pisoteio por parte do gado que utilizava a área de estudo.

#### 6.4.2.3. Descrição por perfil de solo, granulometria e análise textural

Como forma inicial de descrição do processo de caracterização realizado em campo, serão também apresentadas imagens referentes à cada um dos perfis de solo analisados, com a descrição feita em campo para que fossem efetivamente tomadas a divisão de cada uma das camadas analisadas (Moreno, 2022).

Figura 32 – Perfil de solo da Ravina 1 com breve descrição de cada camada.

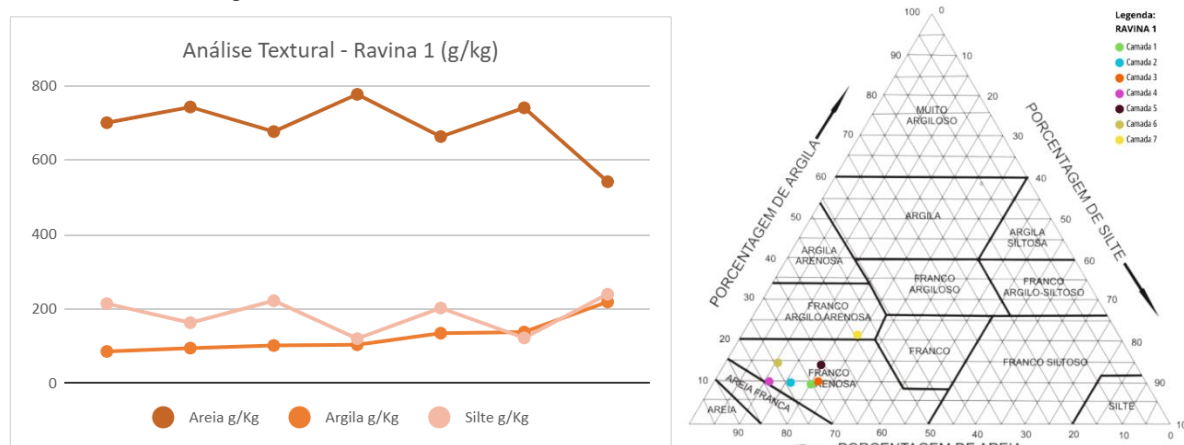


Fonte: Próprio autor (2023)

Os perfis foram abertos no terço superior da cabeceira de cada ravina descrita. A ravina 1, apresenta densidades menores nas camadas 5 e 6, indicando um menor grau de compactação, que podem ser justificados pela presença de materiais mais grosseiros (como fragmentos maiores de rochas e carvão), observados na análise em campo (Figura 32). Outro fator interessante é a relação da densidade maior na camada 7, explicada pelo fator da diminuição da porcentagem de areia e aumento de argila e silte.

A partir da Figura 33 pode-se observar que o perfil da vertente encontrada na ravina 1 é classificada como Franco Arenoso, onde somente a camada 7 pertence a classe dos Franco Argiloarenosa, que pode denotar um processo pedogenético mais antigo neste perfil, tendo a maior concentração de argila remontando as camadas interiores através do processo de lixiviação vertical, que forma solos mais maduros com o decorrer do tempo, característicos de Latossolos (IBGE, 2015).

Figura 33 – Granulometria e análise textural – Perfil de solo da Ravina 1.



Fonte: Próprio autor (2023)

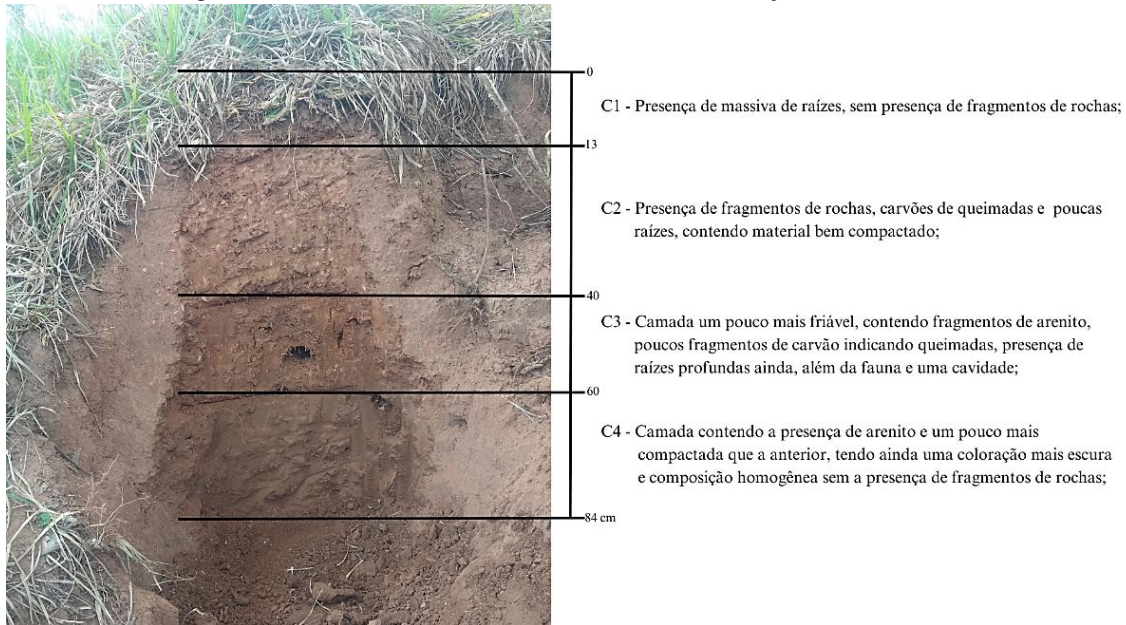
Contudo, ainda pode-se observar processos antrópicos que ocorreram no local, como na presença de fragmentos de carvão maiores em camadas inferiores, fortalecendo a tese para classificação em Depósito tecnogênico que será apresentada.

A Figura 34 apresenta o perfil de solo da ravina 2, composta ainda por dois braços ravinados, sendo analisado o braço 1. Observa-se que há a presença de muitos fragmentos rochosos e de carvão, que, presentes em camadas inferiores à superficial, podem indicar a realização de queimadas remotas no local.

A presença maior de raízes em camadas inferiores, como a C3, pode ser a explicação do porquê a profundidade da cavidade da erosão é menor em comparação com as demais, além da

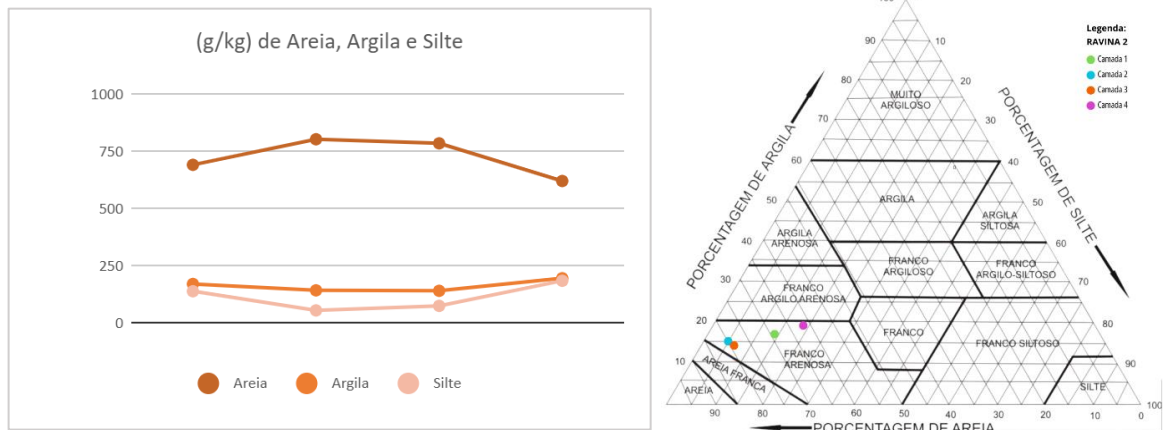
quebra da força cinética da água entre os dois braços. Outro fator observado é de que a densidade aumenta em C4 por explicações análogas às dadas na ravina 1. A partir da Figura 35, é possível concluir que o solo é classificado como Franco Arenoso.

Figura 34 – Perfil de solo da Ravina 2 com breve descrição de cada camada.



Fonte: Próprio autor (2023)

Figura 35 – Granulometria e análise textural – Perfil de solo da Ravina 2



Fonte: Próprio autor (2023)

A partir da Figura 36 é possível observar maior uniformidade com relação às cores e presença de fragmentos apenas nas camadas inferiores. Outro ponto com relação à análise da ravina 3 é de que, diferente dos demais perfis analisados anteriormente, as camadas inferiores possuem menor tendência à compactação, que pode ser tratado principalmente pela quantidade de argila e silte que se mantêm, com um ponto de destaque para a camada 4, com maiores índices de areia analisados no estudo e demonstrado em coloração mais clara na Figura 36.





influenciado diretamente pelas áreas de topos à montantes e a caracterização de uma vertente em anfiteatro que direciona o caminho preferencial das águas para a área de estudo, denotando dessa forma processos deposicionais recentes e em intensidade maior do que uma formação pedogenética de ocorrência natural.

#### 6.4.2.4. Permeâmetro

O ensaio foi realizado no dia 18/09, onde, para a primeira carga hidráulica constante de 5cm, a estabilização de 3 leituras de diferenças seguidas se fixou em 5cm, enquanto para a carga de 10cm, realizada em mesma posição e após a primeira análise (considerando um grau de saturação do solo), a diferença se fixou em 4cm.

Após a obtenção dos dois valores, foi realizada a média entre eles, obtendo, portanto, o valor de condutividade hidráulica saturada em campo ( $k_{fs}$ ), de 0,000978cm/s ( $10^{-4}$ ), ou  $9,78 \times 10^{-4}$  cm/s, considerado como um solo com baixo grau de permeabilidade de acordo com o que pode ser observado na Quadro 6, tendo em vista que este grau pode não estar diretamente correspondente somente à classificação de composição por tipo de solo, tendo-se em vista a formação não-natural por meio da intervenção do ser humano para a sua composição, atrelado ainda à fatores de carreamento dos sedimentos das cabeceiras de anfiteatro sem proteção de cobertura arbórea.

Quadro 6 – Classificação da condutividade hidráulica do solo

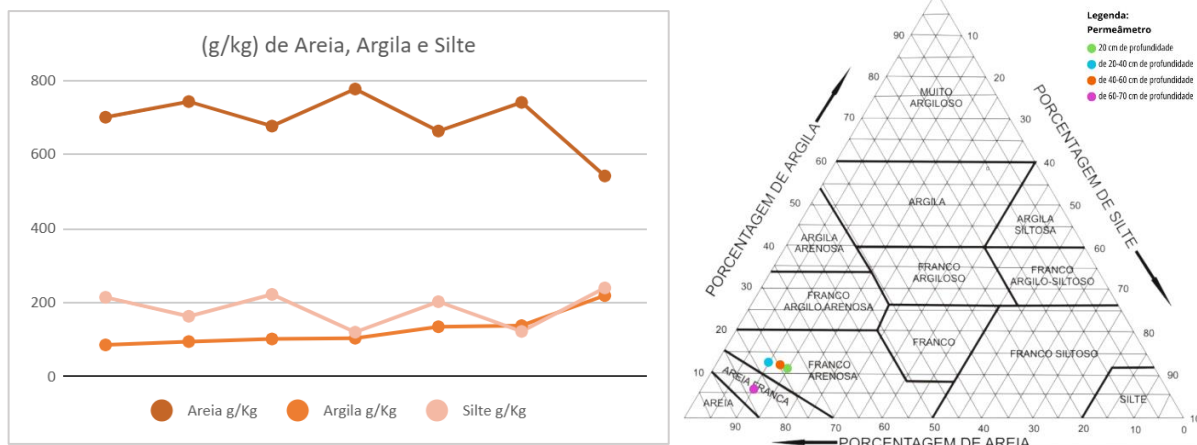
Coefficiente de Permeabilidade K (cm/s)	Grau de Permeabilidade Terzaghi & Peck (1967)	Tipo de Solo Mello & Teixeira (1967)
$10^9$ a 1	Alta	Pedregulhos
1 a $10^{-1}$		Areias
$10^{-1}$ a $10^{-3}$	Média	
$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Baixa	
$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Muito Baixa	
$< 10^{-7}$	Praticamente Impermeável	Argilas

Fonte: Santos, 2005.

Por outra classificação, uma classificação de permeabilidade como sendo considerada ‘rápida’ (Soil Survey Staff, 1993). De modo análogo ao apresentado no tópico anterior, com a retirada de solo para a análise do permeâmetro à uma profundidade de 70cm, a cada retiradas de 20cm de solo, separou-se em amostragem para realizar a análise textural do perfil. Desta forma, para o perfil, houve maior porcentagem de areia para as camadas mais profundas (como observado na vertente da ravina 4), sendo classificado como Franco Arenosa. Dentre as 4

amostras analisadas, somente a de representação de 60 à 70cm de profundidade, obteve uma porcentagem de areia maior que 80%, classificado como Areia franca (Figura 40).

Figura 40 – Granulometria e análise textural – Análise do Permeâmetro.



Fonte: Próprio autor (2023)

### 6.4.3. Análise Morfológica

Visando uma análise complementar das camadas e perfis de solo, foi realizado um estudo das características morfológicas das camadas (De Lemos e Dos Santos, 1996), após uma análise inicial superficial da transição de camadas por observação em campo, determinação das dimensões (profundidade e espessura) e a classe ao qual pertence (comentada no parágrafo anterior), definiu-se as características analisadas, sendo elas: cor, estrutura, porosidade e consistência, apresentados nos Quadros 7, 8, 9, 10 e 11.

Para tal, foi realizada a coleta de torrões retirados com cuidado dos perfis das ravinas, definindo as cores pela utilização da Tabela de Munsell, relacionando o número correspondente à matriz: roxo (P), roxo azulado (PB), azul (B), azul-esverdeado (BB), verde (G), verde-amarelado (GY) amarelo (Y), alaranjado (YR) e vermelho (R), com valores de tonalidade (que relaciona com as partes de branco e preto presentes na cor) e croma (ou intensidade em uma matriz de cinzas, representado na escala horizontal, variando de 0 à 8).

A análise constatou essencialmente tons de marrom, denominados de tons Brunados para os fragmentos secos, enquanto os úmidos, permaneceram todos com uma variação YR, entre o amarelo e vermelho, com predominância de tons vermelhos amarelados, relacionados com a presença de um solo mais arenoso denotado pela classificação granulométrica apresentada.

As estruturas de torrões foram ainda analisadas em questão estrutural, visual de porosidade e uma análise maior da consistência, que analisa a questão física de coesão e adesão das partículas do solo conforme os graus de umidade (De Lemos e Dos Santos, 1996).

Iniciou-se a análise com o solo seco e sua propriedade de agregação, seguido de uma análise da consistência com a amostra ligeiramente úmida, partindo para análise da amostra molhada, em termos de plasticidade (capacidade de formar uma estrutura coesa) e por fim a análise da pegajosidade após uma leve pressão entre os dedos polegares e indicador.

Desta forma, pode-se concluir para a ravina 1, relação direta com as características de consistência mais dura para as 3 camadas iniciais, até 31 cm de profundidade, exemplificadas ainda com valores de densidade maiores para essas camadas, o mesmo ocorre para a camada 7, com profundidade de mais de 80 cm, e uma porcentagem maior de argila em níveis mais profundos.

A Ravina 2 (Quadro 8), apresenta somente camadas Franco arenosas em uma profundidade menor, com uma transição de cores mais evidentes, descritas com intensidade da camada 4 mais amarelada com relação às outras três.

O quadro 7 representa o perfil de solo referente à Ravina 3, com camadas distintas do ponto de vista laboratorial, com um destaque à camada 3, com maior valor de densidade e consistência plástica na camada 3, e logo abaixo, seguido de uma camada de areia. O perfil 4 analisado, inicia-se de uma forma convencional com uma maior taxa de presença de argila com uma estrutura muito dura, expressa ainda por uma coloração mais escura e considerada e maior retenção de umidade indicada por observação, que pode ser ocasionado por conta das propriedades coloidais das argilas.

Quadro 7 – Caracterização Morfológica da Ravina 1.

Camada	Profundidade (espessura)	Classe	Transição das camadas		Caracterização Morfológica				
					Cor	Estrutura	Porosidade	Consistência	
Ravina 1	C1	0-6 cm (6 cm)	Franco Arenosa	1-2	Gradual e plana	Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno	Blocos angulares	Muitos poros	Dura (seca)
									Muito friável (úmido)
						Úmido: 7.5YR 2,5/3 - Bruno muito escuro	Média	Poros pequenos	Ligeiramente plástica (molhada)
	Fraca	Ligeiramente pegajoso (molhada)							
	C2	6-14 cm (8 cm)	Franco Arenosa	2-3	Gradual e plana	Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Dura (seca)
									Muito friável (úmido)
						Úmido: 7.5YR 3/3 - Bruno escuro	Média	Poros pequenos	Ligeiramente plástica (molhada)
	Fraca	Ligeiramente pegajoso (molhada)							
	C3	14-31 cm (17 cm)	Franco Arenosa	3-4	Difusa e ondulada	Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Dura (seca)
									Ligeiramente friável (úmido)
						Úmido: 7.5YR 3/4 - Bruno escuro	Grande	Poros pequenos	Ligeiramente plástica (molhada)
	Moderada	Ligeiramente pegajoso (molhada)							
	C4	31-47 cm (16 cm)	Franco Arenosa	4-5	Gradual e ondulada	Seco: 7.5YR 4/4 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Ligeiramente dura (seca)
									Muito friável (úmido)
Úmido: 7.5YR 2,5/3 - Bruno muito escuro						Grande	Poros pequenos	Ligeiramente plástica (molhada)	
	Moderada	Ligeiramente pegajoso (molhada)							
C5	47-67 cm (20 cm)	Franco Arenosa	5-6	Gradual e ondulada	Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Ligeiramente dura (seca)	
								Muito friável (úmido)	
					Úmido: 7.5YR 3/4 - Bruno escuro	Grande	Poros pequenos	Ligeiramente plástica (molhada)	
Moderada	Ligeiramente pegajoso (molhada)								
C6	67-79 cm (12 cm)	Franco Arenosa	6-7	Gradual e plana	Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Ligeiramente dura (seca)	
								Muito friável (úmido)	
					Úmido: 7.5YR 2,5/3 - Bruno muito escuro	Muito grande	Poros pequenos	Ligeiramente plástica (molhada)	
Moderada	Ligeiramente pegajoso (molhada)								
C7	79-100+ cm (21 cm +)	Franco Argiloarenosa		-	Seco: 7.5YR 4/4 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Dura (seca)	
								Friável (úmido)	
					Úmido: 7.5YR 3/4 - Bruno escuro	Grande	Poros pequenos	Plástica (molhada)	
Moderada	Ligeiramente pegajoso (molhada)								

Fonte: Próprio autor (2024).

Quadro 8 – Caracterização Morfológica da Ravina 2.

Camada	Profundidade (espessura)	Classe	Transição das camadas		Caracterização Morfológica				
					Cor	Estrutura	Porosidade	Consistência	
Ravina 2	C1	0-13 cm (13 cm)	Franco arenosa	1-2	Gradual e plana	Seco: 7.5YR 4/4 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Ligeiramente dura (seca)
						Úmido: 7.5YR 2,5/3 - Bruno muito escuro	Grande Moderada	Poros médios	Solta (úmido)
	C2	13-40 cm (27 cm)	Franco arenosa	2-3	Clara e plana				Seco: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte
						Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno escuro	Média Forte	Poros pequenos	Muito friável (úmido)
	C3	40-60 cm (20 cm)	Franco arenosa	3-4	Clara e plana				Seco: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte
						Úmido: 7.5 YR 3/3 - Bruno escuro	Média Forte	Poros médios	Ligeiramente dura (seca)
	C4	60-84+ cm (24 cm +)	Franco arenosa	-	-				Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno
						Úmido: 10 YR 4/6 - Bruno-amarelado-escuro	Média Forte	Poros pequenos	Não plástica (molhada)

Fonte: Próprio autor (2024).

Quadro 9 – Caracterização Morfológica da Ravina 3.

Camada	Profundidade (espessura)	Classe	Transição das camadas		Caracterização Morfológica				
					Cor	Estrutura	Porosidade	Consistência	
Ravina 3	C1	0-11 cm (11 cm)	Franco Arenosa	1-2	Gradual e plana	Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno	Granular	Muitos poros	Muito dura (seca)
						Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte	Média Moderada	Poros médios	Friável (úmido)
	C2	11-25 cm (14 cm)	Franco Arenosa	2-3	Gradual e plana				Seco: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte
						Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte	Grande Forte	Poros pequenos	Não-pegajosa (molhada)
									Friável (úmido)
								Não plástica (molhada)	
								Não-pegajosa (molhada)	

	C3	25-35,5 cm (10,5 cm)	Franco Arenosa	3-4	Abrupta e plana	Seco: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte	Blocos angulares	Poucos poros	Muito dura (seca)
						Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte	Grande	Poros pequenos	Friável (úmido)
	C4	35,5-49 cm (13,5 cm)	Areia	4-5	Clara e plana	Seco: 10 YR 5/6 - Bruno-amarelado	Granular	Muitos poros	Plástica (molhada)
						Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte	Média	Poros pequenos	Não-pegajosa (molhada)
	C5	49-60 cm (11 cm)	Franco Arenosa	5-6	Clara e plana	Seco: 7.5 YR 3/4 - Bruno-Forte	Blocos subangulares	Poucos poros	Dura (seca)
						Úmido: 10 YR 4/6 - Bruno-amarelado-escuro	Média	Poros médios	Friável (úmido)
	C6	60-72+ cm (12 cm +)	Franco Arenosa		-	Seco: 7.5 YR 4/3 - Bruno	Granular	Poucos poros	Não plástica (molhada)
						Úmido: 7.5 YR 3/3 - Bruno escuro	Média	Poros pequenos	Ligeiramente pegajosa (molhada)
									Não-pegajosa (molhada)

Fonte: Próprio autor (2024).

Quadro 10 – Caracterização Morfológica da Ravina 4.

	Camada	Profundidade (espessura)	Classe	Transição das camadas	Caracterização Morfológica				
					Cor	Estrutura	Porosidade	Consistência	
Ravina 4	C1	0-13 cm (13 cm)	Franco Argiloarenosa	1-2	Gradual e plana	Seco: 7.5YR 4/3 - Bruno	Granular	Poucos poros	Muito dura (seca)
						Úmido: 7.5YR 3/4 - Bruno-forte	Pequeno	Poros pequenos	Muito friável (úmido)
	C2	13-20,5 cm (7,5 cm)	Franco Arenosa	2-3	Gradual e irregular	Seco: 7.5YR 4/4 - Bruno	Blocos subangulares	Muitos poros	Não plástica (molhada)
						Úmido: 7.5YR 3/4 - Bruno-forte	Média	Poros pequenos	Ligeiramente pegajosa (molhada)
									Ligeiramente dura (seca)
									Friável (úmido)
								Plástica (molhada)	
								Ligeiramente pegajosa (molhada)	

C3	20,5-25 cm (4,5 cm)	Franco Arenosa	3-4	Clara e irregular	Seco: 10 YR 4/6 - Bruno-amarelado-escuro	Blocos angulares	Poucos poros	Dura (seca)
					Úmido: 7.5YR 3/4 - Bruno-forte	Média	Poros pequenos	Friável (úmido)
C4	25-33 cm (8 cm)	Franco Arenosa	4-5	Gradual e plana	Seco: 7.5 YR 5/6 - Bruno-forte	Granular	Muitos poros	Plástica (molhada)
					Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte	Pequeno	Poros pequenos	Ligeiramente pegajosa (molhada)
C5	33-43,2 cm (10,2 cm)	Franco Arenosa	5-6	Clara e plana	Seco: 7.5 YR 5/6 - Bruno-forte	Blocos subangulares	Poucos poros	Ligeiramente dura (seca)
					Úmido: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte	Médio	Poros pequenos	Muito friável (úmido)
C6	43,2-56 cm (12 cm)	Areia franca	6-7	Gradual e plana	Seco: 7.5YR 4/4 - Bruno	Blocos subangulares	Poucos poros	Ligeiramente plástica (molhada)
					Úmido: 7.5 YR 2,5/3 - Bruno muito escuro	Médio	Poros pequenos	Não-pegajosa (molhada)
C7	56-59 cm (21 cm)	Areia franca	7-8	Clara e plana	Seco: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte	Blocos angulares	Poucos poros	Ligeiramente dura (seca)
					Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte	Grande	Poros médios	Muito friável (úmido)
C8	59-129+ cm (70 cm +)	Areia franca		-	Seco: 7.5YR 4/4 - Bruno	Granular	Poucos poros	Não plástica (molhada)
					Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte	Pequeno	Poros pequenos	Ligeiramente pegajosa (molhada)

Fonte: Próprio autor (2024).

Quadro 11 – Caracterização Morfológica do Permeâmetro de *Guelph*.

	Profundidade (espessura)	Classe	Caracterização Morfológica			
			Cor	Estrutura	Porosidade	Consistência
Permeâmetro de <i>Guelph</i>	0-20 cm (20 cm)	Franco arenosa	Seco: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte	Blocos angulares	Poucos poros	Muito dura (seca)
			Úmido: 7.5 YR 3/3 - Bruno escuro			Firme (úmida)
	20-40 cm (20 cm)	Franco arenosa	Seco: 7.5 YR 5/8 - Bruno-forte	Granular	Poucos poros	Ligeiramente dura (seca)
			Úmido: 10 YR 3/6 - Bruno-amarelado-escuro			Muito friável (úmido)
	40-60 cm (20 cm)	Franco arenosa	Seco: 7.5 YR 4/6 - Bruno-forte	Blocos angulares	Muitos poros	Ligeiramente plástica (molhada)
			Úmido: 10 YR 3/6 - Bruno-amarelado-escuro			Pegajosa (molhada)
	60-80 cm (20 cm +)	Areia franca	Seco: 7.5YR 4/4 - Bruno	Blocos subangulares	Poucos poros	Macia (seca)
			Úmido: 7.5 YR 3/4 - Bruno-forte			Muito friável (úmido)

Fonte: Próprio autor (2024).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do histórico de ocupação do local, com uma área consolidada desde iniciais processos humanos na área de Estudo denotam que o desmatamento remontado há décadas influenciou diretamente na formação da paisagem no local, com uma modificação das planícies aluviais onde se encontram os processos erosivos em estado de ravinamento, remontando ainda uma área de drenagem ainda constante em bancos de dados de recursos hídricos.

Áreas consolidadas com processos erosivos avançados são uma problemática ainda muito presente em locais que possuem como uso e ocupação as atividades de pecuária, com gramíneas rasas e quase nenhuma técnica conservacionista empregada, o solo se degrada de forma muito rápida. Grande parte de locais com essas condições são de pequenos produtores, e pessoas que praticam atividades de subsistência, como é o caso da área de estudo, um local arrendado para subsistência de uma família.

Desde a aquisição do local, em 2008, o processo erosivo já existia na propriedade. Onde antes havia um canal de drenagem e áreas de nascentes nos setores a montante, acabou por secar e se transformar em um local de solapamento, onde antes eram locais de margens fluviais, avançando então para a área de estudo.

De modo a realizar a implementação de uma metodologia simples e de baixo custo agregado, escolheu-se as técnicas de bioengenharias, que, ao utilizar-se de elementos edáficos presentes nos entornos da propriedade, contribui para a estabilização dinâmica dos processos erosivos, e o avanço da sucessão ecológica do local.

O ramo da bioengenharia, comprovado pelo estudo, consolida áreas de recuperação e introduz estágios sucessionais da vegetação, em áreas modificadas por ações antrópicas sem fragmento florestal presente no entorno. Mesmo em condições consideradas como adversas, com solos arenosos, predominantemente Franco Arenosos e com um baixo índice de pH, elevado grau de compactação, e pouca permeabilidade, a implementação adequada de técnicas de bioengenharia, possibilita a recuperação ambiental das áreas.

O presente estudo, mostra que a aplicação de técnicas simples de implementação e manutenção, causam impactos significativos na paisagem e nas condições locais, tanto de microclima, fauna e flora propiciando também, o desenvolvimento de atividades econômicas de baixo impacto no local.

## 8. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G.H. de S.; ALMEIDA, J.R. de; GUERRA, A.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. ed. 9. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. ed. 4. Paulo: Ícone, 1999.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. **Decreto nº 23.793**, de 23 de janeiro de 1934. Institui o Código Florestal Brasileiro. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, 23 jan. 1934.
- BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989, e dá outras providências. Acesso em: 10 dez. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 6.931**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Acesso em: 4 de nov. 2024.
- Caravelas. **A economia do Município de Álvares Machado – São Paulo**. 2024. Disponível em: <<https://www.caravela.info/regional/%C3%A1lvares-machado---sp>>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- CASTELLA, Paulo Roberto. **Cronologia histórica meio ambiente**. Paraná: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017.
- CLAESSEN, Marie Elisabeth Christine et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997., 1997.
- COBRAPE. **Subsídios Técnicos para o Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Relatório Final Volume 3, insumos do PERH. Financiamento FEHIDRO. Nov. de 2020. Disponível em: <<https://drive.google.com/drive/folders/1rVnS5RBiM2Kg0HCySf0IEjlkqFkf1Xc->>. Acesso em 26 de out. 2024.
- CURCIO, Gustavo Ribas; LIMA, Valquimi Costa; GIAROLA, Neyde Fabiola Balarezo. **Antropossolos**: proposta de ordem (1ª aproximação). 2004.
- DA SILVA, Fábio Cesar et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009., 2009.
- DA SILVA, Maria Sonia Lopes et al. **Estudos da erosão**. EMBRAPA-CPATSA, 1995.
- DE LEMOS, Raimundo Costa; DOS SANTOS, Raphael David. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 3ª Ed. Campinas-SP. 1996.
- DE PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon. **A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente**. Revista Direitos Fundamentais & Democracia, v. 6, 2009.

ELLIS, Erle C. **Physical geography in the Anthropocene**. Progress in Physical Geography, v. 41, n. 5, p. 525-532, 2017.

GHIRARDELLO, N. **À beira da linha: formações urbanas da Noroeste Paulista** [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2002. 235 p. ISBN 85-7139-392-3. Disponível em: SciELO Books <<http://books.scielo.org>> Acesso em: 30 de março de 2015.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Oficina de Textos, 2017.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. da; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004). **Mapa de vegetação do Brasil**. 3ª ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas\\_e\\_Mapas/Mapas\\_Murais/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/)>. Acesso em 25 agosto 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Manual Técnico de Geomorfologia**. Segunda edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Manual Técnico de Pedologia**. Terceira edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 428p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 4).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Álvares Machado: informações completas**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/alvares-machado/pesquisa/24/76693>> Acesso em: 27 de maio de 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do Estado de São Paulo: 1:500.000**. São Paulo: IPT, vol. I, 1981, p.46-8; 69 (Publicação IPT 1184).

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia**. Oficina de textos, 2021.

MASSARETTO, Nivea. **Impactos do plantio de cana-de-açúcar no Pontal do Paranapanema-SP: alterações físico-químicas nos solos dos assentamentos rurais Santa Teresinha da Alcídia, Laudenor de Sousa e Vô Tônico**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) –Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologias de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2010.

MIRANDA, Jean Carlos. **Sucessão ecológica: conceitos, modelos e perspectivas**. SaBios-Revista de Saúde e Biologia, v. 4, n. 1, 2009.

MIYAZAKI, Leda Correia Pedro. **Caraterização dos principais compartimentos geomorfológicos e os impactos ambientais decorrentes da ocupação do relevo no perímetro urbano do município de Ituiutaba/MG e adjacências**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 6913-6924, 2017.

MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo**. São Paulo, Hucitec - Polis, 1984.

Nakata, A. A. M., Nunes, J. O. R., & Julian, C. (2016). **Aplicação da bioengenharia para recuperação de uma voçoroca** provocada por erosão hídrica, localizada no distrito de Amadeu Amaral, Marília-SP. In Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332 (Vol. 8, No. 3, pp. 13-20).

NUNES, João Osvaldo Rodrigues; et al. **Estabilização de erosão hídrica em Antropossolos com técnicas de bioengenharia na Área de Proteção Ambiental de Uso Sustentável do Timburi**, município de Presidente Prudente - SP, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 00, 2023. Acesso em: 21 de maio. 2024.

NUNES, João Osvaldo Rodrigues. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada à escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente-SP**. 2002.

ODUM, Eugene Pleasants et al. **Fundamentos de ecologia**. 2006. PEREIRA, Gleice Santana; GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz-Caccia. Análise da fragilidade ambiental do município de Álvares Machado-SP. *Geografia em Atos (Online)*, v. 1, n. 4, p. 18, 2017.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; QUEIROZ NETO, Jose Pereira de. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do reservatório de capivara, rio Paranapanema**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens **O problema estratigráfico dos depósitos tecnogênicos**. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 2003.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens. **Sobre a classificação, enquadramento estratigráfico e cartografia dos solos e depósitos tecnogênicos**. In: PELOGGIA A. U. G. (org.) *Estudos de Geotécnica e Geologia Urbana (I)*. Prefeitura do Município de São Paulo/ GT-GEOTEC, São Paulo, 1999, p. 35-50.

QUEIROZ, Rudney C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. Editora Blucher, 2018.

RICHTER, Daniel deB et al. **Soil in the Anthropocene**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2015. p. 012010.

STAFF, Soil Survey. **Soil Survey Manual**. USDA Handbook no. 18. US Government Printing Office, Washington, DC, 1993.

SANTOS FILHO, Altair Oliveira et al. **A evolução do código florestal brasileiro**. Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT-SERGIPE, v. 2, n. 3, p. 271-290, 2015.

SANTOS, V. **Álvares Machado: História de sua Fundação**. Valdery Santos/Jornalismo e Pesquisa de História, 2001.

SANTOS, Maurício Moreira dos. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. 2005. Acesso em: 15 de maio de 2024

São Paulo (Estado). **Resolução SAA nº 18**, de 11 de junho de 2019. Estabelece critérios e procedimentos para a adequação ambiental de imóveis rurais no âmbito do Programa de Regularização Ambiental (PRA) do Estado de São Paulo. *Diário Oficial do Estado*, São Paulo, 11 jun. 2019. Acesso em: 10 dez. 2024.

São Paulo (Estado). **Resolução SMA nº 46**, de 08 de junho de 2017. Regulamenta os procedimentos de compensação de Reserva Legal no Estado de São Paulo, conforme previsto na Lei nº 12.651/2012 e no Decreto nº 8.235/2014. *Diário Oficial do Estado*, São Paulo, 08 jun. 2017. Acesso em: 10 dez. 2024.

São Paulo 2014. **Resolução SMA Nº 32**. 03 de abril de 2014. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo-Meio Ambiente. Acesso em: 15 de abr. 2024.

SKORUPA, L. A. et al. **Roteiro para elaboração de um projeto de recomposição de áreas degradadas ou alteradas**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - EMBRAPA. 2021. Acesso em: 21 de maio de 2024.

SILVA, Leonardo Cruz Mendes da. **Identificação de terreno tecnogênico em área rural localizada na Apa do Timburi–Presidente Prudente–SP**. 2024.

SILVA, L. J. P. da. **Estudo sobre depósitos tecnogênicos no entorno da represa da Sabesp em Presidente Prudente-SP**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) – 186 Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/121231>>. Acesso em: 10 dez. 2024.

TAKENAGA, Fábio Reyge; RIBEIRO, Kawana Lopes; FERNANDES, Mariana Alher. **Determinação da condutividade hidráulica saturada do solo por meio do permeâmetro guelph**. 2019.

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2017.

TRICART, Jean. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Soil Science, v. 100, n. 4, p. 300, 1965.

TROMBETA, Letícia Roberta. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego Guaiaçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil**. 2015.

TROMBETA, Letícia Roberta; SOARES, Fernanda Bomfim. **Aspectos da morfologia urbana e as diferenças socioespaciais no espaço urbano do município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil**. Entorno Geográfico, n. 11, 2015.

VARCACEL, R.; SILVA, Z. de S. **A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas**: proposta metodológica. Revista Floresta. Rio de Janeiro, v. 27, n. 12, p. 101-114. 1997.

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Carmem Lucas; CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. 2016.

VERSTAPEN, H.T.; ZUIDAM, R. A. Van. ITC, 1975. **System of geomorphological survey**. Netherlands, Manuel ITC Textbook, Vol. VII, Chapter VII.3 Cunha, C. M. L., Mendes, I. A., & Sanchez, M. C./Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, Nº 1 (2003) 01-099.

VINHA, Tiago Medici. **Elementos para elaboração de SIG no planejamento e gestão para expansão urbana em Álvares Machado-SP**. 2011.

VISOLI, Marcos Cezar et al. **Acesso Aberto na Embrapa: breve histórico, avanços recentes e desafios**. 2017.