

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE VOÇOROCA LOCALIZADA EM UMA ÁREA
RURAL DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP): ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA E
PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO**

Larissa Martini de Paula

Profa. Dra. Melina Fushimi

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Larissa Martini de Paula

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE VOÇOROCA LOCALIZADA EM
UMA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP): ANÁLISE
GEOMORFOLÓGICA E PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto
de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2025

P324d

Paula, Larissa Martini de

Diagnóstico ambiental de voçoroca localizada em uma área rural do município de Rio Claro (SP): análise geomorfológica e proposta de recuperação / Larissa Martini de Paula. -- Rio Claro, 2025

77 f. : il., tabs., fotos, mapas

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

Orientadora: Melina Fushimi

1. Erosão. 2. Erosão do Solo. 3. Voçoroca. 4. Solos Conservação. 5. Recuperação e Remediação Ambiental. I. Título.

LARISSA MARTINI DE PAULA

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE VOÇOROCA
LOCALIZADA EM UMA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE
RIO CLARO (SP): ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA E
PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Melina Fushimi (Orientadora)

Letícia Santos de Alencar

Marcos Vinícius de Souza

Rio Claro, 16 de junho de 2025.

Larissa M. de Paula

Assinatura do(a) Aluno(a)



Documento assinado digitalmente

MELINA FUSHIMI

Data: 23/06/2025 10:18:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) Orientador(a)

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, ao meu pai José Luís, que nunca mediu esforços para me ver realizando os meus sonhos; à minha mãe Ângela Maria, que sempre me apoiou em meus estudos; e à minha irmã Bruna, que nunca duvidou de mim. Agradeço também ao meu namorado Acácio, que sempre fez questão de reconhecer minha capacidade.

Agradeço ainda ao Bolinha, ao Sheldon, à Chiquinha e ao Leonard, que, com sua presença constante, foram meus companheiros durante grande parte dos meus momentos de estudo. Agradeço ainda a toda a minha família, em especial à minha avó Yolanda e à minha afilhada Ana Clara. Além disso, agradeço ao meu primo Juliano, que sempre me incentivou e dividiu comigo os mesmos sonhos.

Agradeço às minhas amigas Ana Beatriz, Ana Paula e Giovanna, que fizeram da graduação um ambiente mais leve e acolhedor, do qual sempre terei muito carinho. Seja apoiando umas às outras durante as aulas ou organizando um café da tarde, serei eternamente grata por todo o acolhimento que recebi.

Por fim, agradeço especialmente à professora Melina, não apenas pela orientação atenciosa ao longo do desenvolvimento do trabalho, mas também por me ajudar a descobrir, em suas aulas, meu interesse pela área de Geomorfologia e Recuperação de Áreas Degradadas. Além disso, agradeço ainda à UNESP, que abriu inúmeras portas para realização da minha graduação e me permitiu realizar um grande sonho.

Resumo

A formação de feições erosivas lineares é um processo de degradação ambiental associado à erosão hídrica linear intensa, que pode culminar na degradação do solo, na redução de solo fértil, no assoreamento e/ou contaminação de cursos hídricos e, em estágios avançados, na exposição do nível freático. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo principal realizar o diagnóstico ambiental de uma voçoroca localizada em uma área rural do Campo do Cocho, no município de Rio Claro (SP), com foco na análise geomorfológica local e na proposição de medidas para sua recuperação. Para alcançar o objetivo proposto foram realizadas as seguintes etapas metodológicas: revisão bibliográfica, mapeamentos e levantamento de informações em trabalho de campo, a fim de caracterizar a feição erosiva, identificar seus fatores condicionantes e propor medidas de recuperação. A análise indicou que a voçoroca do Campo do Cocho apresenta características de um processo erosivo avançado, com canais profundos e expansão ainda ativa. Entre os fatores que contribuem para sua formação e atual avanço estão o uso inadequado da terra associado ao desmatamento para o plantio de milho e cana-de-açúcar e realização de pecuária extensiva, declividades acentuadas, baixa cobertura vegetal e altas taxas de precipitação. Esses fatores contribuem para intensificar o escoamento superficial e, consequentemente, o transporte de sedimentos para o interior da feição erosiva. Como proposta de recuperação, foram sugeridas medidas como isolamento da área, terraceamento, construção de paliçadas, aplicação de geotêxteis e geomantas, hidrossemeadura, plantio de mudas e implementação de um sistema agroflorestal. Além disso, o presente estudo reforça a importância da adaptação das medidas propostas à realidade das unidades produtivas já estabelecidas no local. Dessa forma, conclui-se que a recuperação da feição erosiva requer a adoção de medidas não apenas em seu interior, mas também nas áreas adjacentes, a fim de conter o avanço da erosão e também promover o desenvolvimento socioeconômico da região de entorno.

Palavras-chave: voçoroca; erosão linear; medidas de recuperação.

Abstract

The formation of linear erosion features is an environmental degradation process associated with intense linear water erosion, which can culminate in soil degradation, reduction of fertile soil, silting and contamination of watercourses and, in advanced stages, exposure of the water table. Therefore, the main objective of this study is to perform the environmental diagnosis of a gully located in a rural area of Campo do Cocho, in the municipality of Rio Claro (SP), focusing on the local geomorphological analysis and proposing measures for its recovery. To achieve the proposed objective, the following methodological steps were carried out: bibliographic review, mapping and information gathering in field work, in order to characterize the erosive feature, identify its conditioning factors and propose recovery measures. The analysis indicated that the gully of Campo do Cocho presents characteristics of an advanced erosion process, with deep channels and still active expansion. Factors contributing to its formation and current growth include inadequate land use associated with deforestation for planting corn and sugarcane and extensive livestock farming, steep slopes, low vegetation cover and high precipitation rates. These factors contribute to intensifying surface runoff and consequently the transport of sediments to the interior of the erosion feature. Measures suggested for recovery include isolating the area, terracing, building palisades, applying geotextiles and geotextiles, hydroseeding, planting seedlings, and implementing an agroforestry system. Furthermore, this study reinforces the importance of adapting the proposed measures to the reality of the production units already established in the area. Thus, it is concluded that the recovery of the erosion feature requires the adoption of measures not only within the feature, but also in the adjacent areas, in order to contain the advance of erosion and also promote the socioeconomic development of the surrounding region.

Keywords: gully; linear erosion; recovery measures.

Lista de figuras

Figura 1. Classificação de voçorocas de acordo com sua relação com a rede de drenagem...	18
Figura 2. Exemplo de duto associado ao processo de erosão subsuperficial.	19
Figura 3. Morfologia das vertentes.....	21
Figura 4. Diferença do predomínio dos componentes perpendicular e paralelo.	22
Figura 5. Técnicas de nucleação.....	26
Figura 6. Exemplo de configuração de um sistema agroflorestal.	27
Figura 7. Esquematização de um sistema de terraceamento.	28
Figura 8. Exemplo de paliçada de bambu.	30
Figura 9. Mapa de localização da bacia do Campo do Cocho.....	33
Figura 10. Mapa geológico da bacia do Campo do Cocho.	35
Figura 11. Mapa pedológico da bacia do Campo do Cocho.....	36
Figura 12. Mapa de unidades geomorfológicas da bacia do Campo do Cocho.	37
Figura 13. Média de precipitação mensal em Rio Claro (SP) entre os anos de 1994 e 2024..	39
Figura 14. Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do Campo do Cocho.	40
Figura 15. Mapa altimétrico da bacia do Campo do Cocho.	46
Figura 16. Mapa de declividade da bacia do Campo do Cocho.	47
Figura 17. Mapa de declividade da voçoroca localizada no Campo do Cocho.....	48
Figura 18. Plantações de milho e cana-de-açúcar na área de entorno da voçoroca.....	49
Figura 19. Sulco erosivo.....	50
Figura 20. Declividade da vertente.....	51
Figura 21. Canal de drenagem com vegetação degradada em sua margem.	51
Figura 22. Dimensão visual de diferentes pontos da voçoroca.	52
Figura 23. (A) Caminho preferencial de transporte de material da baixa vertente ao fundo de vale (B) Material transportado ao fundo de vale.	53
Figura 24. Vegetação presente no interior da voçoroca.	54
Figura 25. (A) Pedestais localizados no interior da voçoroca (B) Régua comparativa sobre os pedestais identificados no interior da voçoroca.....	55
Figura 26. (A) Alcova de regressão localizada no interior da voçoroca (B) Processo de solapamento identificado no interior da voçoroca.....	56
Figura 27. Configuração de terraceamento com faixa viva.....	58
Figura 28. Exemplo de configuração de um sistema agroflorestal para a área de estudo.....	63

Lista de quadros

Quadro 1. Classes de declividade estabelecidas.....	43
Quadro 2. Classificação de diferentes tipos de terraços de acordo com a declividade.	58
Quadro 3. Etapas para a aplicação da técnica de nucleação.....	60
Quadro 4. Proposta de cronograma físico a ser implementado.....	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. Erosão	15
3.1.1. Erosão laminar.....	16
3.1.2. Erosão linear	16
3.1.2.1. Erosão linear superficial	16
3.1.2.2. Erosão linear subsuperficial.....	19
3.1.3. Fatores condicionantes e consequências dos processos erosivos lineares.....	20
3.2. Recuperação de áreas degradadas.....	24
3.2.1. Medidas ecológicas	25
3.2.2. Medidas agrícolas	27
3.2.3. Medidas mecânicas.....	28
3.2.4. Medidas de bioengenharia	29
4. ÁREA DE ESTUDO	32
4.1. Localização da área de estudo	32
4.2. Histórico.....	34
4.3. Substrato rochoso.....	34
4.4. Solo	35
4.5. Relevo	36
4.6. Hidrografia.....	38
4.7. Clima.....	38
4.8. Bioma.....	39
4.9. Uso da terra e cobertura vegetal	40
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
5.1. Revisão bibliográfica	42
5.2. Elaboração de mapas e análise gráfica	42
5.3. Trabalho de campo.....	44
5.4. Proposta de recuperação	45

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1. Dinâmica erosiva da voçoroca do Campo do Cocho	49
6.2. Proposição de medidas de recuperação à voçoroca do Campo do Cocho	57
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
8. REFERÊNCIAS	70
ANEXO A - Mapa dos Perímetros Urbanos e Rurais do Município de Rio Claro – SP.....	77

1. INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural caracterizado pelo fluxo de remoção, transporte e consequente deposição de material em locais distintos ao que se encontrava originalmente. Os principais agentes erosivos que desencadeiam tal processo são a água (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica).

A erosão hídrica, por sua vez, pode ocorrer a partir de diferentes formas: erosão pluvial (água da chuva), erosão fluvial (água dos rios), erosão marinha (água do mar), erosão lacustre (água dos lagos) e erosão glacial (gelo).

No Brasil, dentre os tipos de erosão hídrica, a erosão pluvial é a mais predominante. Segundo Guerra (2005), o processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. Além disso, ainda segundo o autor, em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais a erosão.

A erosão pluvial se desenvolve de duas formas principais: em forma difusa e homogênea (erosão laminar) e em forma de caminhos preferenciais no solo (erosão linear). Dessa forma, a erosão linear é responsável pela formação de feições erosivas que evoluem de forma progressiva, passando pelos estágios de sulcos, ravinas e, por fim, voçorocas.

Segundo Guerra (1994), não é possível ignorar-se a presença e a participação das atividades humanas no desenvolvimento de processos erosivos; não apenas porque o ser humano atua como agente acelerador dos processos, mas também por ser transformador de ambientes e, consequentemente, responsável direto por uma série de problemas ambientais na face da Terra.

Dessa forma, observa-se que o uso e a ocupação da terra desempenham um papel significativo na formação e evolução de processos erosivos. Práticas inadequadas, como o desmatamento, a urbanização sem planejamento adequado e o pisoteio excessivo por animais em áreas de pastagem, reduzem a presença de cobertura vegetal, diminuem a infiltração da água e, consequentemente, aumentam a intensidade do escoamento superficial, tornando o solo mais suscetível à ação da erosão. Segundo Ferreira (2015), a erosão é um dos principais fatores causadores da degradação e deterioração da qualidade ambiental, sendo esta acelerada pelo uso e manejo inadequado da terra.

Como consequência, feições erosivas têm sido cada vez mais encontradas nos solos brasileiros, com destaque às voçorocas, que representam o estágio evolutivo mais avançado da

erosão linear e acarretam inúmeras consequências ambientais e socioeconômicas, tais como degradação do solo, redução de solo fértil, perda de biodiversidade, assoreamento e/ou contaminação de cursos hídricos e exposição do nível freático.

Dessa forma, a adoção de medidas de recuperação de áreas degradadas por feições erosivas é fundamental para mitigar os impactos causados pelos processos erosivos. A recuperação dessas áreas contribui para o reestabelecimento da vegetação nativa, promovendo o aumento da infiltração da água no solo, a redução das taxas de escoamento superficial e a recuperação da biodiversidade local. Além disso, a recuperação ajuda a evitar a evolução das feições erosivas, reduzindo também o risco de assoreamento de corpos d'água. Tais ações favorecem ainda o desenvolvimento socioeconômico dos moradores e produtores agrícolas que dependem diretamente dos recursos naturais da região.

Nesse contexto, para o presente estudo, a escolha do tema foi motivada pela significância dos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes dos processos erosivos em estágios avançados, que apresentam efeitos negativos significativos à integridade do solo, dos recursos hídricos, da biodiversidade e das atividades humanas. Dentre esses processos, destaca-se a formação das voçorocas, as quais, devido principalmente à presença de atividade agropecuária recorrente e à expansão urbana sem planejamento adequado, podem ser encontradas no município de Rio Claro, localizado no interior do estado de São Paulo.

Além disso, com o objetivo de garantir uma maior representatividade do território municipal, selecionou-se, como alvo do estudo, uma área rural, considerando a predominância de zonas rurais no contexto do município de Rio Claro. Historicamente, o município passou por diferentes ciclos socioeconômicos, que influenciaram diretamente o uso e ocupação da terra, impulsionando a expansão agrícola. A ausência de planejamento territorial nesses períodos contribuiu para o desmatamento de áreas com vegetação nativa, favorecendo, assim, a formação e a intensificação de feições erosivas, como as voçorocas.

Ressalta-se ainda que faz-se necessário compreender os processos erosivos a partir de uma abordagem integrada, considerando a escala da bacia hidrográfica, que integra questões como tipo de solo, relevo, usos da terra, cobertura vegetal e regime hídrico. A análise isolada da feição erosiva, sem a compreensão da dinâmica hídrica que ocorre em toda a bacia, pode limitar a eficácia de medidas de recuperação. Nesse contexto, a voçoroca atua como um sintoma visível de desequilíbrios ambientais e socioeconômicos, refletindo não apenas as condições locais, mas também os impactos ambientais de práticas inadequadas de uso e manejo da terra em pontos adjacentes à área degradada.

Dessa forma, a relevância do tema se justifica tanto pelo seu impacto socioambiental direto, uma vez que interfere no equilíbrio ambiental da área, na qualidade do Rio Corumbataí, e na produtividade agrícola local, quanto por oferecer uma análise dos fatores condicionantes da erosão e das possíveis medidas para a recuperação de áreas degradadas semelhantes à área de estudo em questão. Ressalta-se ainda que o Rio Corumbataí é uma das principais fontes de abastecimento de água do município. Dessa forma, qualquer alteração em sua qualidade também pode comprometer diretamente o abastecimento público, elevando os custos e a complexidade de tratamento da água.

Ressalta-se ainda que o estudo buscou não apenas compreender os fatores condicionantes que levam à degradação ambiental local, mas também propor medidas de recuperação práticas e de baixo custo, associadas principalmente a técnicas de bioengenharia, adequadas à realidade ambiental e socioeconômica da área, que possam ser aplicadas em contextos similares.

Além disso, a escolha do tema justifica-se também diante das atuais condições ambientais, marcadas por eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes. Esses eventos aceleram os processos erosivos, principalmente em áreas marcadas por usos inadequados da terra e por cobertura vegetal escassa ou ausente. Nesse cenário, as medidas de recuperação exclusivamente mecânicas têm sua eficácia comprometida, uma vez que são mais suscetíveis ao desgaste diante de volumes mais intensos de precipitação e de ventos de maior intensidade, além de exigirem manutenções mais complexas e frequentes.

Por outro lado, as técnicas de bioengenharia oferecem uma alternativa mais resiliente e adaptável às condições climáticas mais extremas, integrando e adaptando-se ao ambiente. Ao permitir, em sua maioria, a introdução de cobertura vegetal, tais técnicas promovem a estabilidade do solo, favorecem a infiltração da água da chuva e reduzem as taxas do processo de escoamento superficial, além de contribuírem para a recuperação ecológica e da biodiversidade da área degradada.

Sendo assim, o objetivo geral da pesquisa foi realizar o diagnóstico ambiental de uma voçoroca localizada em uma área rural do município de Rio Claro. A metodologia adotada envolveu a realização de revisão bibliográfica, mapeamento da área de estudo e levantamento de dados em trabalho de campo, além da elaboração de uma proposta de recuperação, fundamentada na implementação integrada de medidas ecológicas, agrícolas, mecânicas e, principalmente, de bioengenharia.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho foi realizar o diagnóstico ambiental da voçoroca do Campo do Cocho localizada em uma área rural do município de Rio Claro (SP).

2.1. Objetivos específicos

O presente trabalho apresentou como objetivos específicos:

- Analisar a voçoroca quanto às suas principais características geomorfológicas e de usos da terra, com foco na identificação dos fatores que contribuem para a formação e evolução da voçoroca;
- Propor um plano de recuperação para a voçoroca, avaliando a viabilidade socioeconômica e ambiental da estratégia proposta, além da adequação às particularidades e contexto ambiental da área de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Erosão

A erosão é o processo pelo qual há remoção de uma massa de solo de um local e sua deposição em outros locais, como resultado da ação de forças exógenas. A força motriz do processo é a energia cinética dos agentes erosivos. Com a diminuição progressiva da energia cinética do agente erosivo, dá-se a deposição do material erodido (SANTOS, 2007).

Dentre os tipos de erosão tem-se a erosão hídrica, sendo representativa nas paisagens brasileiras, inclusive no município de Rio Claro. A erosão hídrica é um processo natural de desagregação, transporte e deposição de sedimentos causado pela ação da água. Segundo Zachar (1982), o processo da erosão hídrica é ocasionado pela ação da água que mobiliza as partículas do solo e ocasiona o seu transporte. A erosão hídrica está condicionada com as diversas fontes de água existentes, como água da chuva (erosão pluvial); água de rios (erosão fluvial); água de lagos (erosão lacustre); água do mar (erosão marinha), entre outras.

Em países tropicais, os processos do meio físico ocorrem sobre forte influência do clima, especificamente das águas, ocasionando diversas consequências, dentre elas, a erosão hídrica (SALOMÃO *et al.*, 2012). Em regiões de clima tropical, a erosão causada pela água da chuva ocorre devido aos índices pluviométricos elevados, que podem concentrar-se em determinadas épocas do ano, agravando ainda mais o processo (GUERRA, 1998).

A erosão por salpicamento é o estágio inicial do processo erosivo. Segundo Andrade e Araújo (2011), a erosão por salpicamento prepara as partículas que compõem o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial. Essa preparação se dá tanto pela ruptura dos agregados, quebrando-os em tamanhos menores, como pela própria ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas dos solos. Além disso, ainda segundo os autores, os agregados vão preencher os poros da superfície do solo, provocando a selagem e a consequente diminuição da porosidade, aumentando o escoamento das águas. O papel do impacto das gotas da chuva na superfície (efeito *splash*) varia com a energia cinética das gotas de chuva e resistência do solo com o seu impacto.

A ruptura dos agregados pode ser considerada um dos primeiros fatores no processo de erosão dos solos, já que é a partir dessa ruptura que se desencadeiam outros processos na superfície, desestabilizando-o de tal maneira a iniciar o processo erosivo. A desagregação em pequenas partículas possibilita o preenchimento dos poros existentes no solo, que acabam por culminar com o início do processo de formação de crostas na superfície do terreno e, com isso, o aumento do escoamento superficial (ANDRADE; ARAÚJO, 2011).

A formação de crosta e selagem dos solos ocorre com o rompimento dos agregados na superfície do solo, provocando como consequência a selagem. Desse processo decorre a diminuição das taxas de infiltração, aumento das taxas de escoamento superficial e possibilidades em aumentar a perda de solo. Observa-se, portanto, que a única situação em que a superfície selada pelas crostas não representa aumento da produção de “*runoff*” (escoamento superficial) é quando as camadas superficiais do solo se tornam muito secas formando rachaduras na superfície estimulando maior infiltração do que o escoamento (ANDRADE; ARAÚJO, 2011).

3.1.1. Erosão laminar

No fenômeno de erosão hídrica, destacam-se a erosão laminar e a erosão linear.

A erosão laminar está relacionada com o processo de escoamento superficial que ocorre na encosta de forma dispersa, com profundidade uniforme e sem canais definidos. Este tipo de escoamento está condicionado à ocorrência de chuvas prolongadas e tem início quando a capacidade de infiltração do solo é excedida (GUERRA, 1998).

O fluxo de água com solo desloca-se vertente abaixo na forma de lençol, removendo de forma progressiva finas lâminas de materiais terrosos, sobretudo aquelas constituídas de partículas mais finas (MANTOVANI, 2021). Assim, a erosão laminar também é conhecida como erosão oculta, pois não acarreta marcas na paisagem a curto e médio prazo.

3.1.2. Erosão linear

A erosão linear ocorre devido à concentração do fluxo das águas proveniente do escoamento superficial, que ocasionam a formação de feições erosivas como sulcos e ravinas. Este tipo de erosão pode ocorrer também devido ao fluxo de água subsuperficial e acarretar a formação das voçorocas ou boçorocas (SALOMÃO; IWASA, 1995).

3.1.2.1. Erosão linear superficial

As feições erosivas apresentam uma dinâmica evolutiva ao longo do tempo, podendo regredir ou progredir. Quando ocorre a progressão, essas feições evoluem para formas mais intensas e estruturadas, como sulcos, ravinas e voçorocas na superfície, refletindo o agravamento dos processos erosivos.

Os sulcos constituem feições efêmeras e descontínuas que podem desenvolver-se rapidamente durante um evento ou estação chuvosa. Normalmente, o escoamento concentrado aprofunda os sulcos, incrementando a velocidade do fluxo, o qual possa desagregar maior

número de partículas, arrastando-as pela vertente. A erosão torna-se mais efetiva pela ação do fluxo de água carregado de sedimentos, o qual possui maior poder erosivo no fundo e nas paredes do sulco. Com o aumento de tamanho, os pequenos sulcos transformam-se em ravinas de dimensão maiores. Geralmente, os sulcos adquirem profundidade que varia entre 5 e 30 cm (ANDRADE; ARAÚJO, 2011).

A ravina pode originar-se a partir do desenvolvimento progressivo dos sulcos nas vertentes, transformando-se em canais efêmeros maiores, como também formar-se independentemente. Em alguns casos, a erosão subsuperficial pode dar origem a estruturas tubulares (*piping*) no solo, as quais por colapso podem dar início as ravinas. Muitas ravinas iniciam-se pelas atividades humanas não-conservacionistas, sendo consequente do uso inadequado da terra. Outras se iniciam nas cabeceiras de canais íngremes e estendem-se para jusante até atingir as calhas fluviais (ANDRADE; ARAÚJO, 2011).

A ravina caracteriza-se por paredes verticais, que recuam por solapamento da base e por desmoronamento, quando o talvegue se situa no nível superior do embasamento rochoso (ANDRADE; ARAÚJO, 2011). Segundo Almeida Filho (2014), existe uma tendência em que se considera uma profundidade mínima para as ravinas em torno de 30 cm (TRICART, 1977) ou 50 cm (IMENSON; KWAAD, 1980).

Os ravinamentos podem avançar para voçorocas ou boçorocas. A voçoroca constitui um canal de drenagem de paredes abruptas, com fluxos efêmeros ou, eventualmente, pequenos. A erosão geralmente é intensa. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), as voçorocas são os canais esculpidos pelo afloramento do lençol ou aquífero freático no fundo da incisão e pelo escoamento superficial (ALMEIDA FILHO, 2014).

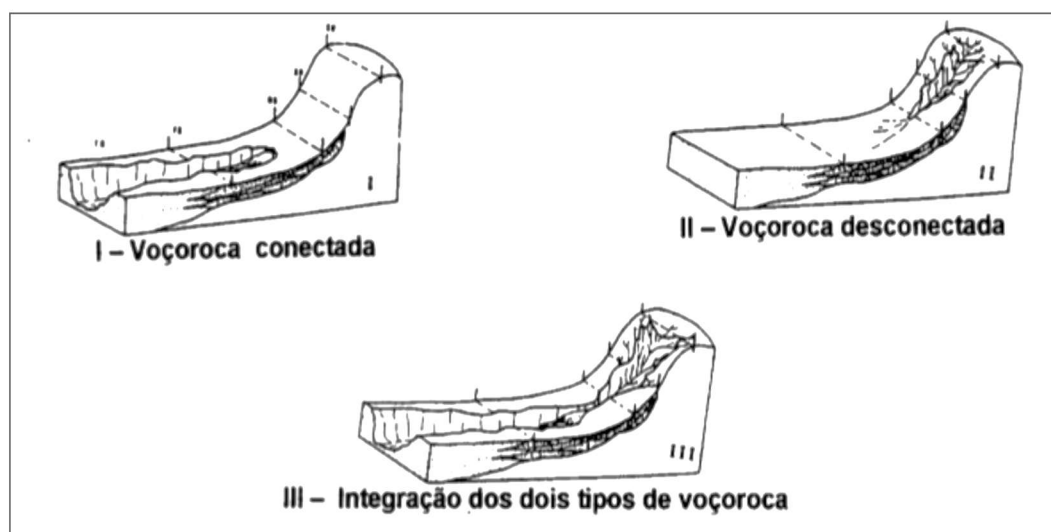
As voçorocas são feições erosivas profundas; possuem paredes íngremes; geralmente, fundo chato; presença de água no seu interior; e dependendo da profundidade podem atingir o lençol freático. A ocorrência das voçorocas está associada com processos de erosão acelerada, que ocasionam instabilidade da paisagem, e com o alargamento e aprofundamento de ravinas. Atividades como desmatamento, uso agrícola da terra, superpastoreio, queimadas associadas com a chuva e propriedades do solo podem ocasionar o surgimento destas feições (GUERRA, 1998).

Segundo Cardoso e Pires (2009), erosões do tipo voçorocas podem chegar a vários metros de comprimento e de profundidade, devido ao fluxo de água que é possibilitado em seu interior, causando uma grande movimentação de partículas. Algumas voçorocas podem chegar até mesmo ao nível do lençol freático do local onde ocorrem. Ressalta-se ainda, segundo

Ferreira (2007), que as voçorocas são consideradas um dos piores problemas ambientais em regiões tropicais de montanha onde são frequentes e podem alcançar grandes dimensões.

Além disso, as voçorocas podem ser classificadas de acordo com sua relação com a rede de drenagem, sendo elas conectadas, desconectadas ou integradas (Figura 1), o que, em alguns casos, pode facilitar o transporte de partículas de solo e, assim, o aporte de sedimentos ao leito do curso hídrico, apresentando uma maior suscetibilidade ao fenômeno de assoreamento. Dessa forma, para a classificação em questão, considera-se se as feições erosivas estão diretamente associadas ou não com os recursos hídricos superficiais.

Figura 1. Classificação de voçorocas de acordo com sua relação com a rede de drenagem.



Fonte: Guerra (2005).

As voçorocas conectadas são aquelas diretamente ligadas à rede de drenagem natural, permitindo o escoamento da água e o transporte de sedimentos para rios, córregos ou outras vias de drenagem.

As voçorocas desconectadas são feições isoladas, sem conexão direta com a rede de drenagem. Nesses casos, os sedimentos erodidos tendem a se depositar no interior da própria voçoroca ou em áreas próximas, sem alcançar corpos d'água.

Existem casos, ainda, em que há a integração dos dois tipos anteriores, nos quais as voçorocas possuem uma conexão temporária ou sazonal com a rede de drenagem, dependendo do volume de precipitação e do fluxo de água. Em períodos de chuvas intensas, podem atuar como voçorocas conectadas, transportando sedimentos para os cursos d'água, enquanto, em períodos secos, comportam-se como voçorocas desconectadas.

Ressalta-se ainda que algumas feições erosivas estão relacionadas à evolução das voçorocas, como, por exemplo, os pedestais e as alcovas de regressão. Segundo Guerra (2005), os pedestais indicam a ocorrência de salpicamento intercalado com remoção das partículas pelo escoamento superficial. Em geral, essas feições são formas residuais esculpidas abaixo de um objeto cuja densidade não permitiu a sua remoção (grânulos e seixos de minerais variados). São comuns no interior de incisões erosivas ou em vertentes desprovidas de vegetação e fornecem um parâmetro para estimar a taxa de ablação pluvial da superfície nas quais são esculpidas.

Já as alcovas de regressão são feições erosivas que podem ser observadas sob diferentes condições litológicas e climáticas, podendo ser esculpidas tanto pelo escoamento superficial na forma de filetes subverticais, quanto pela exfiltração do lençol freático, ou ainda pela combinação desses dois mecanismos (GUERRA, 2005).

3.1.2.2. Erosão linear subsuperficial

A erosão subsuperficial ocorre nas camadas inferiores do solo, abaixo da camada superficial. Ao contrário da erosão superficial, que é facilmente identificável pela formação de sulcos, ravinas e voçorocas ou perda visível de solo, a erosão subsuperficial é mais difícil de detectar, pois ocorre nas camadas mais profundas.

Diversas feições desenvolvem-se na erosão subsuperficial, como: *piping*, erosão interna, erosão em túneis, retroerosão tubular, erosão em dutos (Figura 2), entubamento ou erosão regressiva, que definem o processo de remoção mecânica de partículas finas do solo por efeito das forças de fluxos concentrados na subsuperfície (MORAES, 2023).

Figura 2. Exemplo de duto associado ao processo de erosão subsuperficial.



Fonte: Adaptado de Vieira (2008).

O *piping* se dá pela remoção de partículas do interior do solo, formando canais que aumentam em sentido contrário ao do fluxo d'água e provocando colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a voçoroca ou criam ramos (TOMINAGA *et al.*, 2009). Segundo Jones (2004), os *pipes* podem ser tanto a causa quanto o produto do ravinamento/voçorocamento, pois essas erosões ou canais podem se formar quando o teto dos tubos colapsa.

3.1.3. Fatores condicionantes e consequências dos processos erosivos lineares

A dinâmica erosiva é influenciada por diversos fatores condicionantes, que podem acelerar ou agravar o processo de erosão. Segundo Da Silva (1995), a erosão não é a mesma em todos os solos. As propriedades físicas, principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade, assim como as características químicas e biológicas do solo exercem diferentes influências na erosão.

Além disso, os conceitos de erosividade e erodibilidade exercem influência direta na intensidade e na velocidade com que a erosão ocorre. Segundo Hudson (1961), a erosividade é a habilidade da chuva em causar erosão. Além disso, segundo Thomas (1994), está relacionada com o total de chuva, a sua intensidade, o momento e a energia cinética (SIGRH, 2017).

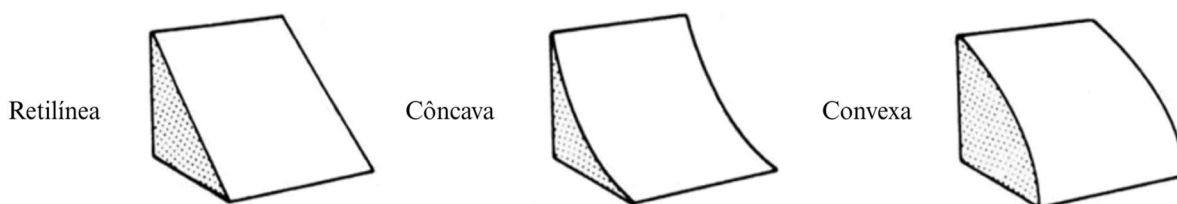
Segundo Bacellar (2006), existem fatores que atuam na intensidade da erosão: a erosividade do agente (potencial de erosão da água), e a erodibilidade do solo (representa a suscetibilidade à erosão do solo).

Por outro lado, segundo Morgan (1986), a erodibilidade dos solos representa a suscetibilidade do solo em resistir aos processos erosivos. Segundo esse autor, os fatores que afetam a erodibilidade são: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH do solo. A erodibilidade não é uma propriedade estática ao longo do tempo. As práticas agrícolas, por exemplo, produzem modificações importantes nas características dos solos, alterando a sua erodibilidade (SIGRH, 2017).

Segundo Da Silva (1995), a declividade do terreno influencia tanto na velocidade como no volume de água da enxurrada. Quanto maior o declive, maior a velocidade e o volume da enxurrada, provocando maior erosão. O comprimento de rampa também tem bastante influência sobre a erosão do solo. À medida que aumenta o comprimento de rampa, aumenta a velocidade adquirida pelas águas que escorrem, aumentando sua capacidade de transporte de partículas do solo e, conseqüentemente, a quantidade de sedimentos transportados pela erosão.

A morfologia das vertentes (côncava, convexa e retilínea) também exerce intensa influência no desenvolvimento da erosão pluvial, uma vez que afeta diretamente a concentração e a velocidade do escoamento superficial (Figura 3).

Figura 3. Morfologia das vertentes.



Fonte: Adaptado de Schmidt e Hewitt (2004).

Em uma vertente côncava, há uma convergência das águas pluviais, as quais tendem a percorrer caminhos preferenciais no solo, ocasionando a erosão linear e, conseqüentemente, feições erosivas lineares.

Em uma vertente retilínea, principalmente associada a grandes extensões da rampa, as águas pluviais atingem maior velocidade de escoamento superficial, ocasionado também a erosão linear e, conseqüentemente, feições erosivas lineares.

Por outro lado, em uma vertente convexa, há uma divergência das águas pluviais, sendo estas distribuídas de forma mais homogênea ao longo da superfície, levando, assim, a ocorrência da erosão laminar, a qual apresenta um padrão erosivo mais uniforme no solo, muitas vezes menos visível que a erosão desenvolvida em feições erosivas lineares, como sulcos, ravinas ou voçorocas.

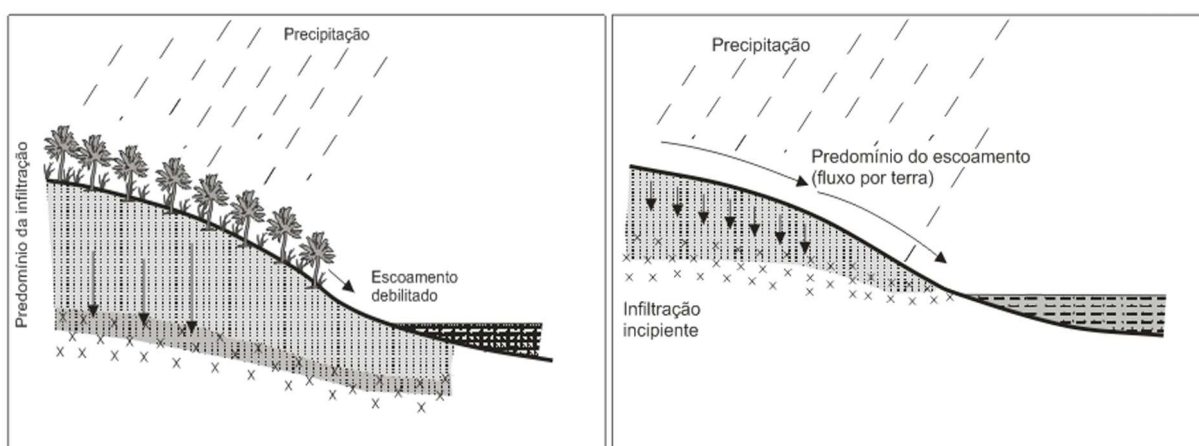
Ressalta-se ainda que a erosão constitui-se como um processo natural no desenvolvimento da paisagem. Com a interferência da sociedade, esse processo natural pode se intensificar ao longo do tempo histórico, sendo denominado de erosão acelerada ou antrópica (ALMEIDA FILHO, 1998). A magnitude da erosão acelerada se relaciona às características do solo, às condições climáticas e ao uso e manejo dos recursos naturais (MANZATTO; PERES, 2002).

Segundo o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2017), a cobertura vegetal é o fator de maior relevância na proteção dos solos, pois afeta a sua erosão de várias maneiras, a saber: através dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos de energia cinética da chuva e do papel da vegetação na estabilidade dos agregados dos

solos (Guerra, 1994). A cobertura vegetal reduz as taxas de erosão do solo através de: proteção ao impacto da chuva, diminuição da água disponível ao escoamento superficial, decréscimo da velocidade de escoamento superficial e aumento da capacidade de infiltração de água no solo (COOKE; DOORNKAMP, 1990).

A Teoria do Balanço de Denudação, por sua vez, estabelece que o balanço morfogenético é definido pela relação entre dois diferentes componentes: perpendicular e paralelo (Figura 4).

Figura 4. Diferença do predomínio dos componentes perpendicular e paralelo.



Fonte: Adaptado de Casseti (1991).

Segundo Casseti (2005), o componente perpendicular demonstra a ação da infiltração, favorecida pela cobertura vegetal, que resulta em alteração de natureza bioquímica e decomposição responsável pela pedogênese (desenvolvimento dos solos). O componente paralelo caracteriza os efeitos da erosão, havendo retirada da cobertura vegetal, favorecendo a tendência da ação direta dos elementos do clima.

Assim, quando há o predomínio do componente perpendicular, isto é, a manutenção da vegetação, há uma maior infiltração da água da chuva no solo, diminuindo a intensidade de processos erosivos lineares na vertente. Já quando há o predomínio do componente paralelo, isto é, a supressão da vegetação, há um maior escoamento superficial da água da chuva, intensificando processos erosivos lineares na vertente.

Além disso, o ser humano atua como um agente condicionante significativo da erosão, especialmente ao alterar as condições naturais do solo, da vegetação e do relevo. Segundo Guerra (1994), não é possível ignorar-se a presença e a participação das atividades humanas nos processos erosivos; não apenas porque o ser humano atua como agente acelerador dos

processos, mas também por ser transformador de ambientes e, conseqüentemente, responsável direto por uma série de problemas ambientais na face da Terra.

Os tipos de uso e ocupação da terra são considerados pela maioria dos autores como responsáveis pelo desencadeamento e/ou a aceleração dos processos erosivos nas encostas. As práticas agrícolas e de manejo de solo inadequados provocam a intensificação dos processos erosivos, pela exposição, remobilização e desagregação dos solos, e a alteração do escoamento superficial (SIGRH, 2017).

A erosão acelerada é um dos principais fatores causadores da degradação e deterioração da qualidade ambiental, sendo esta acelerada pelo uso e manejo inadequado do solo (FERREIRA, 2015).

Além disso, a erosão não gera conseqüências ambientais apenas no local em que ocorre. Segundo Pereira (2014), a erosão é um fenômeno complexo que não causa somente prejuízos no interior das propriedades rurais (*on-site*). Os processos erosivos também causam efeitos externos (*off-site*) quando as águas da chuva não infiltram e escoam.

Assim, no local, a erosão é responsável por provocar a desagregação do solo, resultante do efeito *splash* e do transporte de sedimentos pela água do escoamento superficial, o que leva à perda de solos férteis, com a remoção dos horizontes superficiais ricos em matéria orgânica e nutrientes. Segundo Ferreira (2015), os prejuízos sociais e ambientais advindos da erosão são altos. A erosão do solo reduz a capacidade produtiva das terras, refletindo no aumento dos custos de produção.

Em áreas adjacentes, a erosão contribui para a deposição de sedimentos, causando o assoreamento de corpos d'água e intensificando a poluição e a degradação dos cursos d'água, o que prejudica o equilíbrio ambiental em regiões afastadas à área de origem da erosão. Segundo Valentin *et al.* (2005), as voçorocas geram conseqüências danosas ao ambiente, como o assoreamento dos cursos d'água devido ao desprendimento de sedimentos que são prejudiciais em todo percurso do rio, não se restringindo apenas à bacia hidrográfica.

Sendo assim, a erosão, apesar de ser um processo natural na formação e evolução do relevo e da paisagem, pode ser significativamente agravada pelas ações humanas, resultando no processo de erosão acelerada e intensificando uma degradação ambiental já existente. O impacto desse fenômeno vai além da degradação e perda de solo fértil, influenciando negativamente também na qualidade dos corpos hídricos, na biodiversidade e no desenvolvimento socioeconômico local.

Por outro lado, as conseqüências dessas alterações podem ser mitigadas com a aplicação de medidas e práticas adequadas de uso e manejo da terra. Dessa forma, torna-se essencial

compreender e aplicar medidas voltadas para a recuperação de áreas degradadas, ressaltando sua importância para controlar a evolução dos processos erosivos já existentes e recuperar de forma eficaz a área degradada.

3.2. Recuperação de áreas degradadas

A recuperação de áreas degradadas é um processo essencial para restaurar a funcionalidade ambiental de locais impactados principalmente por atividades humanas. Segundo Jesus (1992), é necessário que os princípios que norteiam os caminhos para a recuperação das áreas degradadas tenham uma estrutura consistente e clara para a elaboração de soluções permanentes e condizentes com as necessidades imediatas e futuras.

A estabilização de voçorocas envolve a aplicação de métodos preventivos e corretivos que visam controlar os processos erosivos e recuperar a área degradada. Para os métodos preventivos, adotam-se medidas que consistem em um planejamento prévio, em qualquer atividade ligada ao uso da terra. Ou seja, visa-se evitar a erosão, por meio de práticas adequadas de manejo do solo. Já para os métodos corretivos, busca-se solucionar e estabilizar problemas de erosão, quando estes já se iniciaram, como, por exemplo, as voçorocas.

Segundo Cardoso e Pires (2009), medidas de prevenção são utilizadas para saber o que se pode fazer para evitar que uma voçoroca comece a se formar em um determinado local; já medidas corretivas são empregadas para mitigar o aparecimento das voçorocas caso elas sejam um problema para o ambiente em que se formam. Segundo Nakajima (2015), é necessária a adoção de medidas preventivas e corretivas nas obras da engenharia que possam reduzir os custos da manutenção e minimizar os impactos erosivos e assim manter a preservação do meio ambiente.

Além disso, o planejamento da recuperação de áreas degradadas é fundamental para garantir a restauração das funções ecológicas e socioeconômicas dessas regiões. Uma organização prévia permite diagnosticar as causas e os impactos da degradação, identificar as características da área e, com base nesses dados, selecionar estratégias adequadas para cada contexto. O planejamento minimiza custos, otimiza recursos e potencializa os resultados das intervenções, promovendo a estabilidade do solo, a melhoria da qualidade dos recursos hídricos, a recomposição da biodiversidade e a mitigação de impactos futuros. Assim, com um planejamento estruturado, é possível integrar estratégias adequadas e ações socioeconômicas que assegurem tanto a resiliência ambiental quanto a viabilidade socioeconômica das áreas recuperadas a longo prazo.

Um planejamento da recuperação de áreas degradadas por voçorocas requer um levantamento dos atributos físicos, químicos e biológicos da área a ser trabalhada, uma vez que a recuperação terá que levar em conta a potencialidade de cada paisagem. Logo, a área poderá ser mapeada através de técnicas de sensoriamento remoto, como GPS (*Global Positioning System*), fotos aéreas ou levantamento planialtimétrico (FERREIRA, 2015).

Além disso, a Geomorfologia pode ser utilizada como importante área do conhecimento para auxiliar na recuperação de áreas degradadas. Segundo Guerra (2018), seu conhecimento é fundamental para que possa ser bem aplicada ao planejamento ambiental, com o objetivo de reduzir ou evitar as catástrofes que têm assolado várias partes do mundo, geralmente com dezenas, ou centenas de mortes, bem como perda de recursos naturais, muitas vezes de forma irreversível.

A Geomorfologia pode contribuir na recuperação de áreas degradadas, em conjunto com a Engenharia, Geologia, Pedologia, Bioengenharia e outras ciências afins, com a implantação de medidas ecológicas, agrícolas, mecânicas e de bioengenharia. Muitas vezes, outras técnicas, como naturais e de custo mais baixo, podem trazer os mesmos benefícios, sem transformar tanto a paisagem anterior. Além disso, sua durabilidade pode ser igual ou até maior do que as obras tradicionais de contenção de encostas feitas pela engenharia (MARQUES, 2021).

3.2.1. Medidas ecológicas

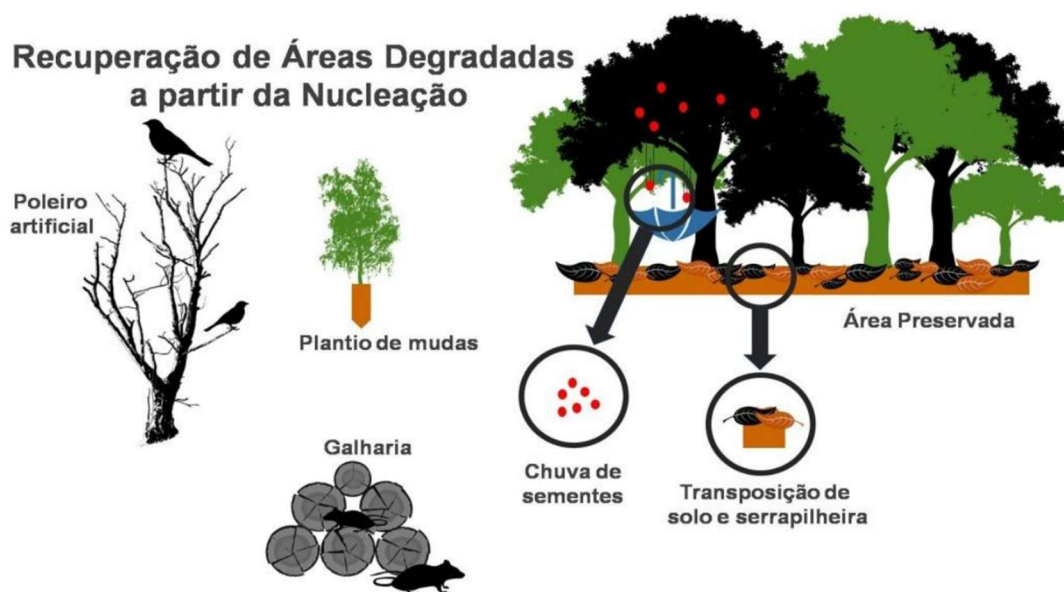
As feições erosivas podem ser estabilizadas pelo restabelecimento da vegetação original ou de outro tipo de cobertura vegetal adaptada à nova condição (GUGLIERI-CAPORAL, 2011). Também é de grande importância a observação dos pontos com maior insolação na parte da manhã e à tarde devido a umidade do solo e as plantas mais adaptadas às condições adversas (FERREIRA, 2015).

Além disso, nesse contexto, o conceito de sucessão ecológica também é muito importante, pois trata-se do processo gradual de mudanças na composição e estrutura das comunidades biológicas em um determinado ecossistema ao longo do tempo.

Segundo Matthes e Martins (1996), entender a sucessão ecológica é importante, pois é assunto central na teoria ecológica e pode ser usado na conservação e exploração autossustentadas de recursos naturais e na recuperação de áreas degradadas. Com o agravamento das condições ambientais nas áreas rurais, em virtude do desmatamento e posterior abandono dos campos, surgiu a necessidade, imperiosa, de recompor a vegetação original em muitas regiões. A recomposição depende, principalmente, do conhecimento advindo dos estudos da sucessão secundária, da florística, da fitossociologia e dos solos.

O sistema de nucleação também é amplamente empregado como uma técnica eficaz para a recuperação de áreas degradadas, uma vez que, ao criar pequenos “núcleos” de revegetação na paisagem, promove a reconexão de fragmentos de vegetação nativa, atuando como pontos iniciais que estimulam a regeneração natural da área degradada. Segundo Mendes *et al.* (2024), a nucleação cria pequenos habitats, conhecidos como núcleos, dentro da área degradada de forma a induzir uma heterogeneidade ambiental, propiciando ambientes distintos no espaço e no tempo. Os núcleos têm o papel de facilitar o processo de recrutamento de novas espécies dos fragmentos vizinhos, do banco de sementes local e influenciam os novos núcleos formados ao longo do tempo. Dessa forma, são criadas condições para a regeneração natural, como a chegada de espécies vegetais, animais e microrganismos e a formação de uma rede de interações entre tais componentes (Figura 5).

Figura 5. Técnicas de nucleação.



Fonte: Mendes (2024).

Outra abordagem amplamente empregada na recuperação de áreas degradadas é o enriquecimento ambiental, o qual visa o aumento da diversidade vegetal em áreas onde já existem indícios de regeneração natural (EMBRAPA, 2013). A técnica consiste na introdução de espécies, principalmente dos estágios finais da sucessão ecológica, em áreas com melhores condições do solo, já com presença de vegetação, porém com baixa diversidade de espécies (EMBRAPA, 2012).

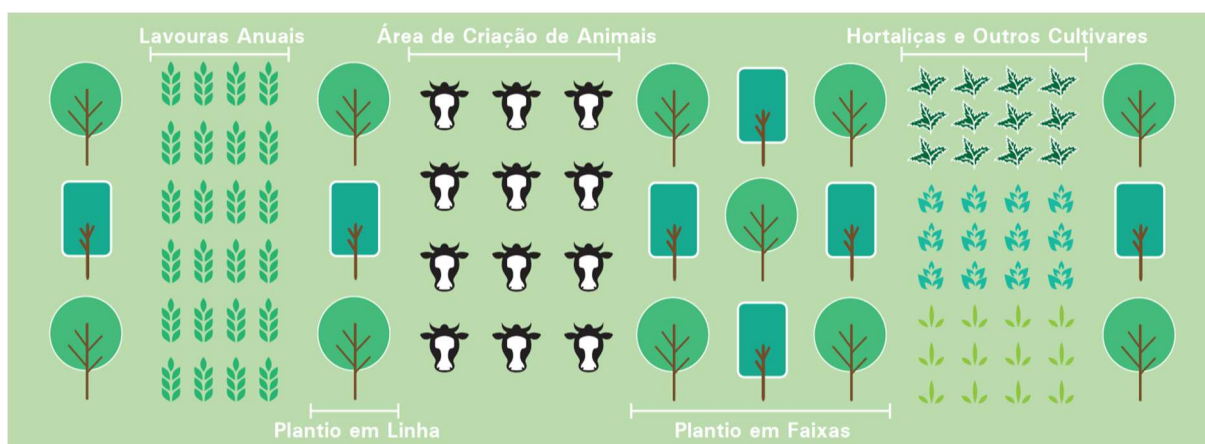
3.2.2. Medidas agrícolas

As feições erosivas também podem ser estabilizadas por meio da adoção e aplicação de medidas agrícolas voltadas ao controle da erosão. Segundo Gilles *et al.* (2009), a perda de nutrientes por erosão hídrica é afetada pelo método de preparo do solo empregado no processo de cultivo.

Segundo Bartz (2007), na lavoura, a ausência de práticas de controle da erosão de caráter mecânico, ou outras práticas conservacionistas de suporte, agrava ainda mais a situação. Podem ser citados, como exemplos, os terraços, o preparo planejado do solo e a semeadura das culturas em faixa de contorno, os quais têm a função básica de reduzir o volume, a velocidade e a intensidade da enxurrada e, desse modo, as perdas de água, solo e nutrientes por processos de erosão hídrica.

Além disso, sistemas agroflorestais também se destacam como uma medida agrícola eficiente no controle da erosão, ao conciliar diferentes usos da terra com práticas adequadas de manejo, favorecendo o maior desenvolvimento socioeconômico de propriedades rurais já estabelecidas. Segundo Embrapa (2014), sistemas agroflorestais são sistemas tradicionais que imitam a natureza, associando em um mesmo espaço o plantio de árvores (frutíferas ou não) com lavouras anuais, hortaliças e até mesmo a criação de animais (Figura 6). Essa prática contribui para aumentar a cobertura vegetal do solo, diminuindo o impacto causado pela ação direta da gota da chuva, fortalecer sua estrutura e consequente estabilidade, ampliar a biodiversidade da área e promover o maior desenvolvimento socioeconômico das unidades produtivas locais.

Figura 6. Exemplo de configuração de um sistema agroflorestal.



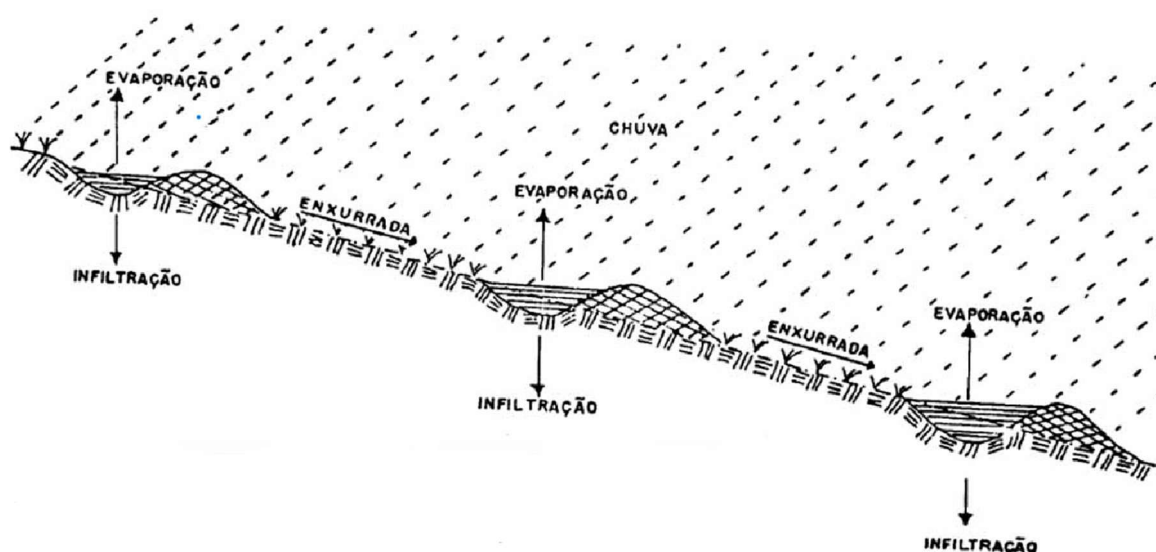
Fonte: Embrapa (2014).

3.2.3. Medidas mecânicas

As práticas mecânicas referem-se às intervenções realizadas com o uso de maquinários a fim de estabilizar feições erosivas.

Segundo Da Silva (1995), o terraceamento é um sistema de prática conservacionista, formado por um conjunto de terraços e, muitas vezes, por canais escoadouros, com a finalidade de seccionar o comprimento de rampa, formando obstáculos físicos ao livre escoamento superficial das águas (Figura 7).

Figura 7. Esquematisação de um sistema de terraceamento.



Fonte: Adaptado de Tavares *et al.* (2008).

Devido ao custo relativamente alto de construção e manutenção de um sistema de terraceamento, deve-se fazer um estudo criterioso das condições locais de clima, solo, sistema de cultivo, culturas a serem implantadas, declividade do terreno e equipamentos disponíveis, para que se tenha segurança e eficiência no controle da erosão (TAVARES *et al.*, 2008).

O terraceamento é indicado para terrenos que apresentam declividade entre 6 e 12%, porém este método pode ser usado, com sucesso, em declives maiores, como também pode ser necessária sua indicação em encostas menos íngremes, dependendo da intensidade das chuvas e da suscetibilidade do solo à erosão (TAVARES *et al.*, 2008).

É importante ressaltar que esta prática deve estar associada a outras práticas conservacionistas, como: plantio em curva de nível, plantio em faixas de retenção, rotação de culturas, cordões vegetados, alternância de capinas e manutenção da cobertura morta (TAVARES *et al.*, 2008).

Para que um sistema de terraceamento funcione com eficiência, é necessário um correto dimensionamento, tanto no que diz respeito ao espaçamento entre terraços, como à sua seção transversal. O espaçamento entre terraços é calculado em função da capacidade de infiltração de água, resistência que o solo oferece à erosão, uso e manejo da terra, enquanto a seção transversal deve ser dimensionada em função do volume de água possível de ser escoada pela superfície do terreno situada imediatamente acima do terraço. Das águas da chuva que caem na superfície do solo, parte se infiltra e o excedente escoar pela superfície, sendo recolhida pelo terraço (TAVARES *et al.*, 2008).

3.2.4. Medidas de bioengenharia

Para a estabilização dos processos erosivos, podem ser utilizadas técnicas de bioengenharia, as quais destacam-se por serem soluções mais simples, acessíveis e de menor custo em comparação com técnicas convencionais.

Segundo Martins (2013), tratam-se de obras caracterizadas pela simplicidade na elaboração e eficientes na estabilização das margens e encostas. Estas técnicas, além de terem grande sucesso em atingir seus objetivos, também auxiliam no aumento do teor de matéria orgânica e na biodiversidade da área. Segundo Santana (2011), 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, propiciam melhores condições para o desenvolvimento de coberturas vegetais, melhorando os regimes hídricos e a estrutura do solo, assim como criando habitats para espécies da fauna e da flora, pois utiliza materiais biodegradáveis (NUNES *et al.*, 2023).

Além disso, as medidas de bioengenharia são mais adaptáveis e resilientes frente às condições climáticas extremas por utilizarem elementos vivos, sendo estes, muitas vezes, vegetação nativa, que se ajustam ao ambiente ao longo do tempo. Tais técnicas favorecem a infiltração da água, a redução do escoamento superficial e a proteção do solo contra a erosão. Em contrapartida, soluções exclusivamente mecânicas tendem a se desgastar com maior facilidade diante de chuvas e ventos intensos.

Ressalta-se ainda que as espécies utilizadas nessas práticas, geralmente adaptadas ao clima local, apresentam maior tolerância ao estresse hídrico e contribuem para a manutenção da umidade e da estrutura do solo. Com isso, as medidas de bioengenharia fortalecem ainda a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas.

As técnicas de bioengenharia na forma de estruturas de paliçadas são alternativas viáveis para a recuperação de erosões lineares, com benefícios no âmbito da implantação, diante da simplicidade na elaboração e instalação (MARTINS, 2013); da ecologia, propiciando melhores condições para o desenvolvimento da cobertura vegetal, melhorando os regimes hídricos do solo, o aumento da matéria orgânica, diretamente associada com importantes indicadores físicos e químicos de qualidade do solo, além de criar habitats para espécies da fauna e da flora; e econômico, por reduzir custos de construção e manutenção de obras de contenção onerosas (NUNES *et al.*, 2023).

O uso de paliçadas vivas para a contenção de erosão pode ser considerado uma técnica viável economicamente, pois exige pouco investimento financeiro para sua instalação e manutenção, tornando-se uma alternativa em pequenas propriedades rurais. O método de paliçadas vivas, conhecido também como caniçadas ou live fascines, consiste na formação de fardos de material vegetativo enraizável instalados em trincheiras, formando uma série de banquetas no solo que diminuem a velocidade do escoamento superficial e ancoram os sedimentos, reduzindo a erosão (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Segundo Tavares *et al.* (2008), as paliçadas de bambu (Figura 8) podem ser usadas tanto para a contenção das paredes verticais da voçoroca como para a redução da velocidade de escoamento superficial, contribuindo para a retenção dos sedimentos transportados.

Figura 8. Exemplo de paliçada de bambu.



Fonte: Tavares *et al.* (2008).

Com o tempo, o acúmulo de sedimentos na base frontal da paliçada pode possibilitar o surgimento de vegetação ou o bambu utilizado na confecção pode brotar funcionando como uma barreira natural (TAVARES *et al.*, 2008).

Quando forem utilizadas no interior dos sulcos e/ou para proteger as paredes verticais da voçoroca que não puderam ser suavizadas, formando taludes inclinados, devem ser escoradas com toras de eucalipto (ou outra madeira). Recomenda-se reforçar a segurança das paliçadas, principalmente quando utilizadas para a proteção de paredes verticais, utilizando-se amarras de arames de aço, sendo uma das extremidades da amarra fixada na ponta da tora de eucalipto e a outra extremidade, na ponta de uma estaca de eucalipto enterrada acima da parede da voçoroca, em terra firme. A amarra de aço deve ficar esticada (TAVARES *et al.*, 2008).

Próximo à beira da parede da voçoroca, protegida com paliçadas, recomenda-se construir uma barreira para evitar que a água atinja a paliçada. Essa barreira pode ser um terraço, acoplado a um canal escoadouro, ambos vegetados, ou uma fileira de sacos de terra, empilhados longitudinalmente à beira da voçoroca. É importante vegetar os sacos de terra, principalmente os sacos de rafia, para não serem degradados rapidamente pelo sol (TAVARES *et al.*, 2008).

Nesse cenário, a área de estudo, marcada pela ocorrência de processos erosivos significativos, reflete uma degradação ambiental associada à combinação de fatores naturais e ações humanas. Sendo assim, a área em questão evidencia a necessidade de uma abordagem que inclua tanto práticas adequadas de manejo do solo, quanto medidas para a recuperação de áreas degradadas por processos erosivos, de modo a viabilizar a recuperação ambiental, mitigar os impactos já existentes e prevenir a progressão da degradação.

Ressalta-se a importância da seleção de medidas associadas a técnicas de bioengenharia, por corresponderem a práticas que aliam a eficácia no controle da erosão a uma menor intervenção no meio. Essa abordagem é adequada ao considerar as condições climáticas locais, como a intensidade e sazonalidade das chuvas, que influenciam diretamente na dinâmica erosiva. Além disso, o uso de elementos vegetativos permite a integração com o ambiente, favorecendo a recuperação da cobertura vegetal do solo com menor impacto e maior adaptação às condições climáticas, promovendo, assim, uma recuperação mais resiliente e adaptativa da área degradada.

Sendo assim, a caracterização da área é uma etapa essencial para garantir o sucesso das medidas propostas, pois possibilita a identificação das características locais e dos fatores que contribuem para a ocorrência do processo erosivo. Essa compreensão permite a escolha de técnicas e estratégias adequadas, alinhadas às particularidades locais.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Localização da área de estudo

O município de Rio Claro está localizado na porção centro-leste do estado de São Paulo. Possui uma área territorial de 498.422 km² e uma população residente de 201.418 pessoas. Além disso, apresenta uma densidade demográfica equivalente a 404,11 hab/km² (IBGE, 2025).

Situado a 175 km da capital paulista, as principais vias de acesso ao município incluem a SP-310 (Rodovia Washington Luís), a SP-127 (Rodovia Fausto Santo Mauro), a SP-316 (Estrada Santa Genebra) e a SP-191 (Estrada Pará Japi). Além disso, conforme o Mapa dos Perímetros Urbanos e Rurais do Município de Rio Claro – SP (RIO CLARO, 2024) (Anexo A), observa-se que o município possui uma área urbana circundada por uma expressiva área rural, a qual constitui a maior parte do território municipal.

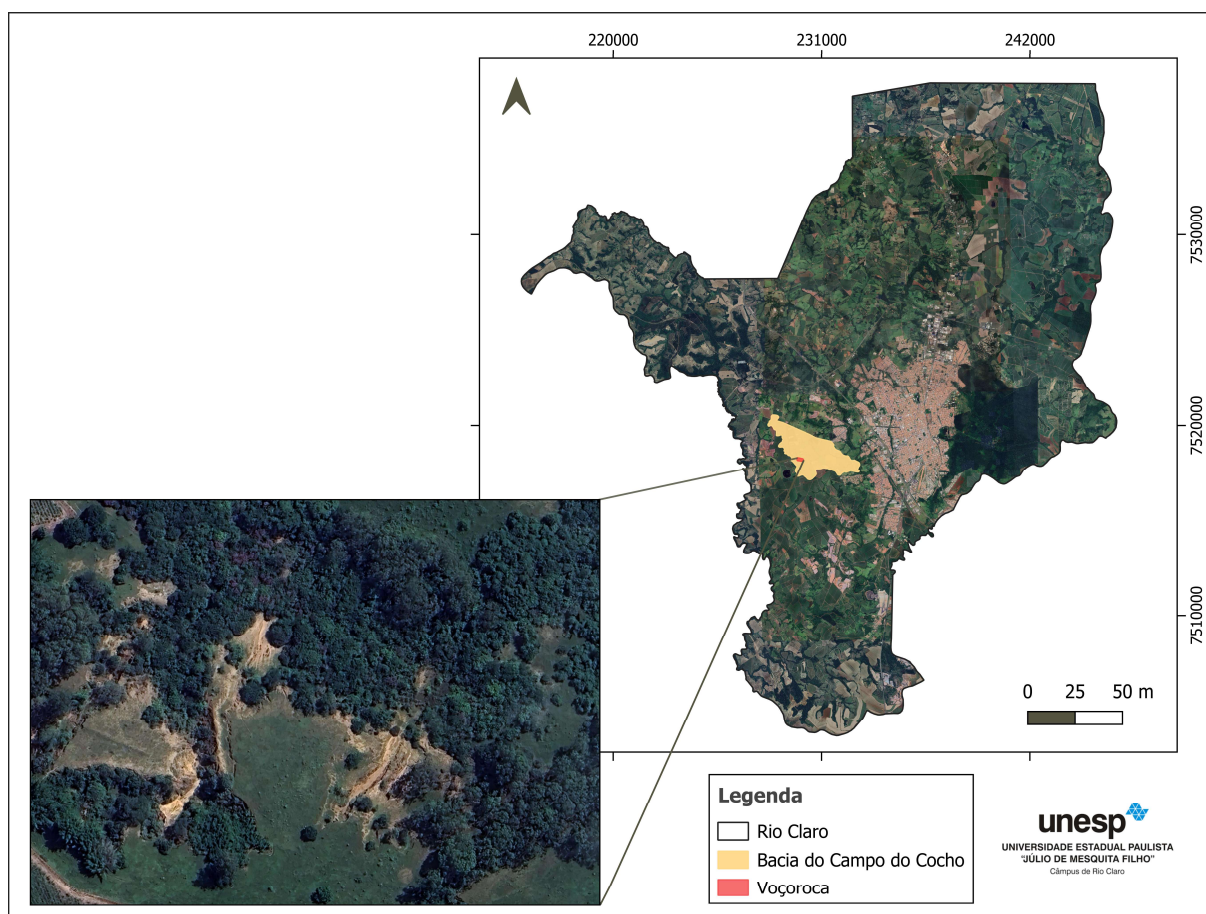
Dessa forma, o município de Rio Claro foi escolhido como área de estudo devido à sua relevância histórica e econômica, marcada por diversos ciclos socioeconômicos que influenciaram diretamente o uso e ocupação da terra. A atividade agrícola recorrente e a expansão urbana sem planejamento adequado contribuíram para a degradação intensa do solo e o surgimento de processos erosivos acelerados significativos na paisagem. Assim, a fim de garantir a representatividade do contexto predominantemente rural do município, foi selecionada, para o presente estudo, uma voçoroca situada na área rural do Campo do Cocho.

A seleção da área também levou em conta a relevância de compreender como os aspectos físicos, como substrato rochoso, solo, relevo e regime de chuvas, interagem com a dinâmica de uso e ocupação da terra em uma região majoritariamente rural, com menor interferência urbana direta. Esse cenário possibilita uma análise da relação entre o ambiente, seus elementos bióticos e abióticos e as atividades humanas no desenvolvimento e evolução de processos erosivos, identificando fatores condicionantes determinantes para ocorrência de fenômenos erosivos em áreas rurais.

Ressalta-se ainda que a bacia do Campo do Cocho foi considerada como área de estudo para a análise da feição erosiva em questão, uma vez que a mesma define a drenagem e o fluxo de água que contribuem para a erosão do local, além de determinar a carga de sedimentos transportada para a voçoroca. Além disso, o uso e a ocupação da terra em toda a bacia podem afetar as taxas de infiltração da água e a incidência de escoamento superficial, podendo intensificar, assim, o processo erosivo. Assim, a análise integrada da bacia hidrográfica permite compreender os fatores condicionantes da dinâmica erosiva da voçoroca.

Sendo assim, observa-se que a bacia do Campo do Cocho localiza-se na porção oeste do município de Rio Claro (Figura 9), sendo caracterizada, predominantemente, pela presença de usos da terra voltados a atividades rurais consolidadas, relacionadas a expressivas práticas agrícolas e de pastagem.

Figura 9. Mapa de localização da bacia do Campo do Cocho.



Fonte: Autora (2025).

A feição erosiva, por sua vez, evidencia um estágio avançado de degradação ambiental, mesmo diante da presença de cobertura vegetal em seu interior e em seu entorno, o que indica que vegetação em questão tem sido insuficiente para conter a remoção e o transporte de sedimentos e, assim, o avanço do processo erosivo. Esse cenário reforça a importância de se considerar toda a bacia do Campo do Cocho como área de estudo, com o objetivo de compreender não apenas a dinâmica do fluxo hídrico e do transporte de sedimentos, mas também os diferentes usos da terra ao longo de toda a bacia, que podem estar contribuindo diretamente para a evolução ainda ativa da voçoroca.

4.2. Histórico

A ocupação agrícola de Rio Claro começou no século XIX, com o cultivo do café, impulsionado pela chegada da ferrovia e pela imigração. No início do século XX, com o declínio do café, a agricultura diversificou-se com culturas como algodão, milho e arroz. A partir da década de 1950, a cana-de-açúcar tornou-se predominante, impulsionada pelo setor sucroalcooleiro nos anos 1970.

Além disso, segundo Antonio Filho (2003), no processo de crescimento/desenvolvimento, Rio Claro apresentou os mesmos problemas da maioria das cidades brasileiras. Não houve um plano diretor norteando a expansão do tecido urbano, ou quando houve (como no caso de Rio Claro), sua implementação sofreu inúmeras interferências. Surgiram loteamentos sem infraestrutura, que às vezes foram irregulares, concorrendo para a ocupação de áreas no entorno da cidade, comprometendo o "cinturão verde" composto de chácaras hortifrutigranjeiras ou espaços destinados à preservação ambiental, tais como fontes ou nascentes, matas ciliares, capões nas médias (áreas baixas ou depressões) ou fundo de vales.

Na área de estudo, os processos de degradação ambiental tornam-se ainda mais evidentes. A ocupação da área ocorreu de forma irregular, evidenciada pela retirada da vegetação original para uso agrícola, o que, consequentemente, reduziu a infiltração da água da chuva e favoreceu o escoamento superficial, acelerando, assim, a erosão.

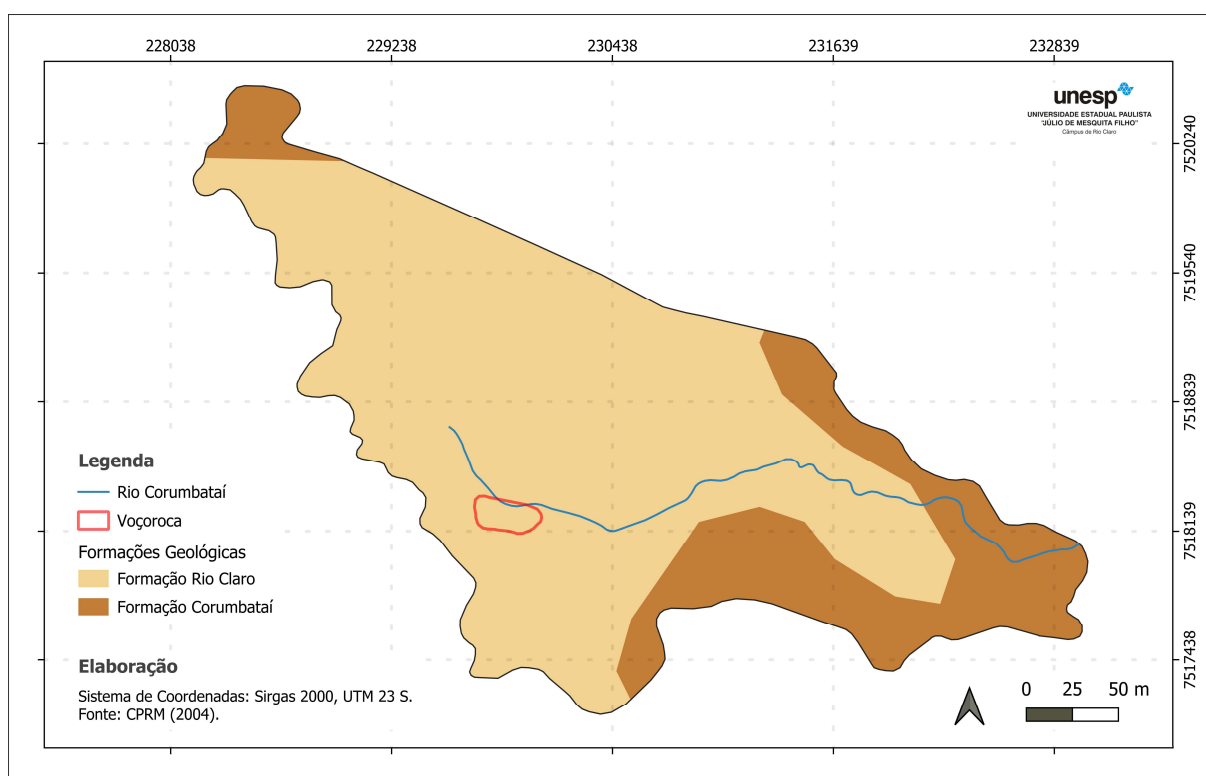
4.3. Substrato rochoso

Na bacia do Campo do Cocho, as formações geológicas que podem ser encontradas em predominância são a Formação Rio Claro e a Formação Corumbataí (Figura 10). A Formação Rio Claro é datada do Cenozoico, em contato com as formações Irati, Corumbataí e Piramboia, com relevos aplainados e suavizados. É composta por arenitos pouco consolidados, com lentes de argila e níveis conglomeráticos na base. Apresenta espessura máxima de 30 m e capeia interflúvios aplainados dos rios Passa Cinco, Cabeça, Corumbataí e Ribeirão Claro (ZAINE, 2000). Seu modelo formacional remete a um ambiente marinho de águas rasas, devido às características dos fósseis encontrados. Sendo assim, o arenito pouco consolidado da Formação Rio Claro possibilita que esta seja extremamente permeável, sendo por vezes utilizada como aquífero não profundo e de baixa vazão, embora com uma maior possibilidade de contaminação (FERREIRA, 2021).

Já a Formação Corumbataí é datada do Paleozóico. É constituída por argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de

arenitos, leitos carbonáticos e coquinas. A espessura da Formação Corumbataí, junto à sua faixa aflorante, em território paulista, é da ordem de 130 m. Na região de Rio Claro é admitida uma espessura máxima de 130 m, adelgçando para norte, não ultrapassando 60 m nas proximidades de Leme/Pirassununga (ZAINÉ, 1994). A formação possui fósseis fragmentados, em seus níveis argiliticos, de vegetais, como angiospermas e carófitas. Sendo assim, os siltitos e argilitos presentes na Formação Corumbataí tornam-na relativamente impermeável, predominando, portanto, o escoamento superficial sobre a formação (FERREIRA, 2021). Esse fenômeno pode desencadear ou intensificar processos erosivos, uma vez que eleva o potencial de remoção e transporte de sedimentos pelas águas pluviais.

Figura 10. Mapa geológico da bacia do Campo do Cocho.



Fonte: Autora (2025).

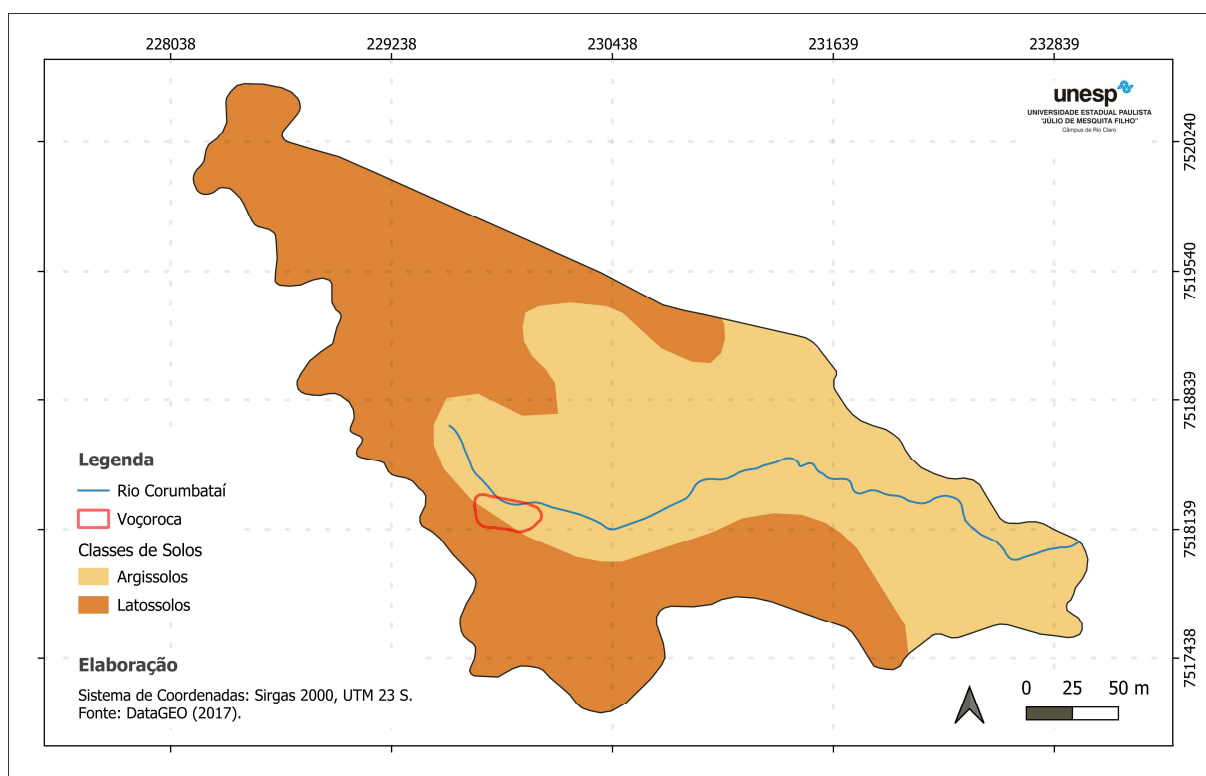
4.4. Solo

A área de estudo possui, predominantemente, solos do tipo Argissolo e Latossolo (Figura 11). Os Argissolos caracterizam-se como vermelho-amarelos de textura média/argilosa, os quais aparecem nos baixos topográficos, ou seja, nos vales do Rio Corumbataí e Ribeirão Claro (ZAINÉ, 2000). Ressalta-se ainda que os solos argilosos também são encontrados nas porções mais acidentadas da região, onde o número de erosões cadastradas é relativamente alto

(IPT, 2012). Essa maior suscetibilidade à erosão pode estar associada à presença de horizontes subsuperficiais argilosos, que dificultam a infiltração da água e favorecem o escoamento superficial.

Já os Latossolos caracterizam-se como vermelho-amarelos de textura média, com profundidades máximas de até 10 a 12 m. Os solos classificados como Latossolos ocorrem no topo dos grandes interflúvios, correspondendo ao solo de alteração da Formação Rio Claro. Trata-se de solos bem drenados e infiltrados, o que leva a uma maior lixiviação (ZAINÉ, 2000). Além disso, são pobres em matéria orgânica, o que pode diminuir a estabilidade dos agregados do solo, conferindo-lhes uma maior suscetibilidade à erosão ao reduzir a capacidade do mesmo de resistir ao impacto da gota de chuva e ao consequente fluxo de remoção e transporte de partículas e sedimentos.

Figura 11. Mapa pedológico da bacia do Campo do Cocho.



Fonte: Autora (2025).

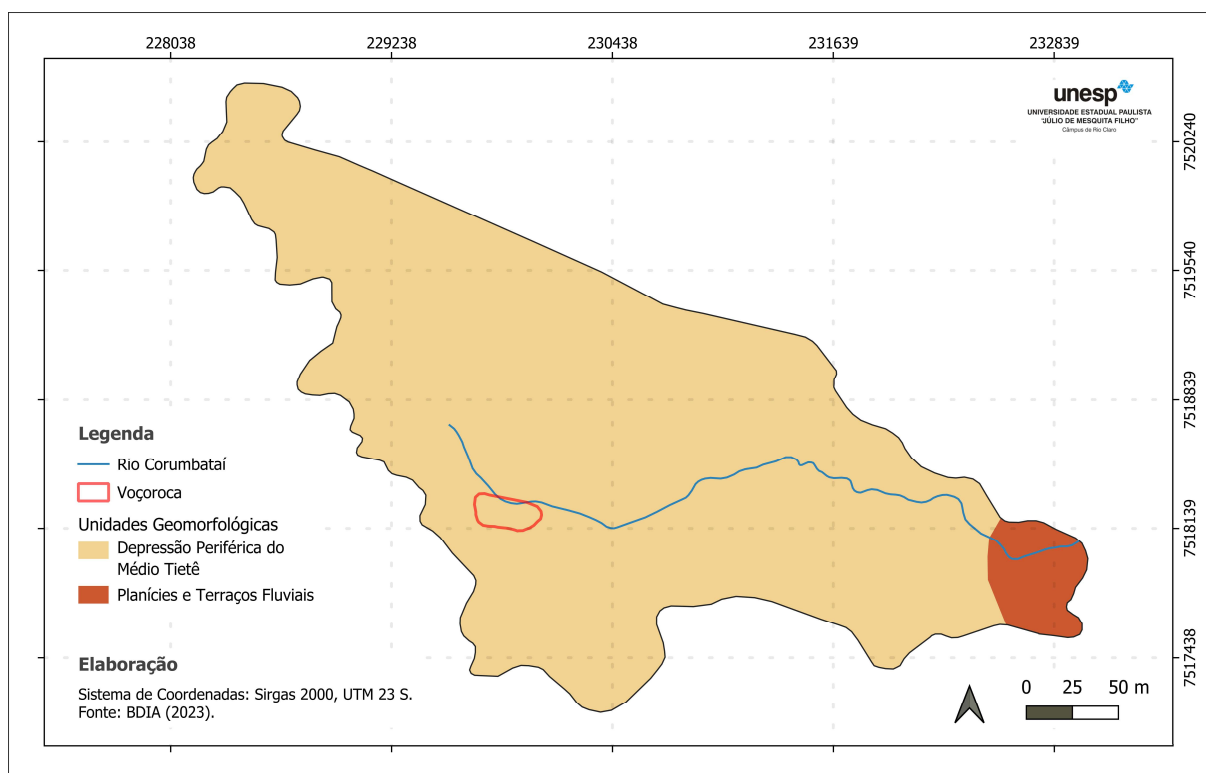
4.5. Relevo

Na bacia do Campo do Cocho, as unidades geomorfológicas que podem ser encontradas em predominância são a Depressão Periférica do Médio Tietê e Planícies e Terraços Fluviais (Figura 12). Segundo Ab'Saber (1969), a origem da Depressão Periférica Paulista é atribuída

tanto a fatores tectoestruturais (falhamentos no embasamento cristalino que favoreceram a ativação da erosão) quanto paleoclimáticos (fases erosivas que truncaram diferentes litologias em uma superfície de aplanamento em vias de dissecação). Além disso, a Depressão Periférica do Médio Tietê é marcada pela presença de material coluvial fino depositado sobre linhas de pedra compostas de fragmentos de arenitos e siltitos. Quando esse material apresenta textura arenosa, há ocorrência mais intensa de processos erosivos, levando a voçorocamentos próximos aos núcleos urbanos e em áreas de pastagem (BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS, 2023).

Já as planícies e terraços apresentam evidências de ajustes à neotectônica e é acelerada por processos de evolução de meandro (BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS, 2023). Além disso, para formação dos níveis de terraços é necessária a ocorrência de duas fases erosionais distintas. A primeira, representada pela fase deposicional, é responsável pela formação da planície de inundação, quando ocorre o fornecimento detrítico que se acumula nessas áreas. Já a segunda, caracterizada pela fase de entalhamento, ocorre quando o canal fluvial escava e aprofunda o leito do rio, estabelecendo um novo nível de base, abandonando o anterior (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Figura 12. Mapa de unidades geomorfológicas da bacia do Campo do Cocho.



Fonte: Autora (2025).

4.6. Hidrografia

Segundo Zaine (2000), o município de Rio Claro está inserido na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, o qual possui extensão aproximada de 120 km. A vazão média anual do rio é de 22 m³/s, enquanto a vazão mínima é de 5 m³/s. Além disso, o Rio Cabeça, principal afluente do Rio Passa Cinco pela margem esquerda, desempenha um papel significativo na bacia do Corumbataí. O Rio Passa Cinco é um importante curso d'água que delimita a divisa do município de Rio Claro.

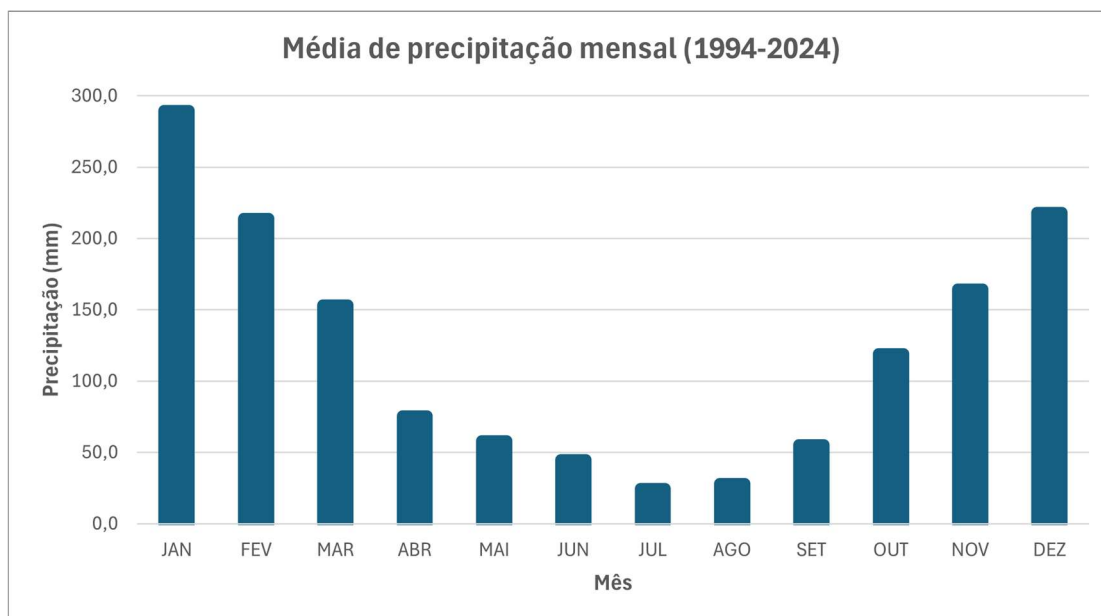
Além disso, ainda segundo Zaine (2000), a área rural do Campo do Cocho corresponde a um divisor de águas das bacias do Rio Corumbataí e do Rio Cabeça. Sendo assim, compreender a relação do Rio Cabeça e do Rio Corumbataí com a área de estudo é fundamental, uma vez que, ao funcionar como um divisor de águas entre as bacias desses dois rios, o local exerce influência direta sobre os processos hidrológicos e geomorfológicos da região, como o escoamento superficial e a drenagem das águas pluviais. Esses fatores, quando associados a condições como declividade acentuada, ausência ou escassez de cobertura vegetal e uso e manejo inadequado da terra, podem contribuir para a formação e a evolução de processos erosivos já existentes.

4.7. Clima

Segundo Monteiro (1973), o clima da região de Rio Claro é classificado como tropical, com a presença de duas estações bem definidas (Cwa, na classificação de Koeppen). Sendo assim, o clima do município é caracterizado por invernos secos (w) e verões em que o mês mais quente apresenta temperaturas acima de 22°C (a). O clima em questão é alternadamente seco e úmido, sendo predominantemente influenciado por massas tropicais e equatoriais durante mais de 50% do ano.

Os meses de janeiro, fevereiro e dezembro destacam-se como os mais chuvosos, apresentando médias expressivas de precipitação entre 200 mm e 300 mm. Além disso, março, outubro e novembro também registram índices elevados, com valores acima de 100 mm. Tais períodos de maior precipitação são relevantes ao abordar os processos erosivos, uma vez que uma maior incidência de chuvas pode desagregar o solo e, conseqüentemente, intensificar a erosão. Ressalta-se ainda que, em áreas com ausência de vegetação, pode haver também o aumento do escoamento superficial, intensificando ainda mais o processo. Em contrapartida, os meses mais secos ocorrem entre abril e setembro, com precipitações médias registradas inferiores a 100 mm (Figura 13).

Figura 13. Média de precipitação mensal em Rio Claro (SP) entre os anos de 1994 e 2024.



Fonte: Adaptado de Centro de Análise e Planejamento Ambiental (2025).

4.8. Bioma

O município de Rio Claro encontra-se em uma zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Segundo o Plano Diretor Participativo do Município de Rio Claro (2008), o município pertence ao bioma Cerrado e Mata Atlântica e possui, aproximadamente, 4.682 ha de Floresta Estacional Semidecidual e 332 ha de formação arbórea/arbustiva em região de várzea, resultando em um total de 5.014 ha de vegetação natural remanescente.

Além disso, ainda conforme o documento em questão, grande parte dos remanescentes florestais encontra-se, atualmente, na forma de fragmentos florestais, resultado das perturbações humanas dos ecossistemas.

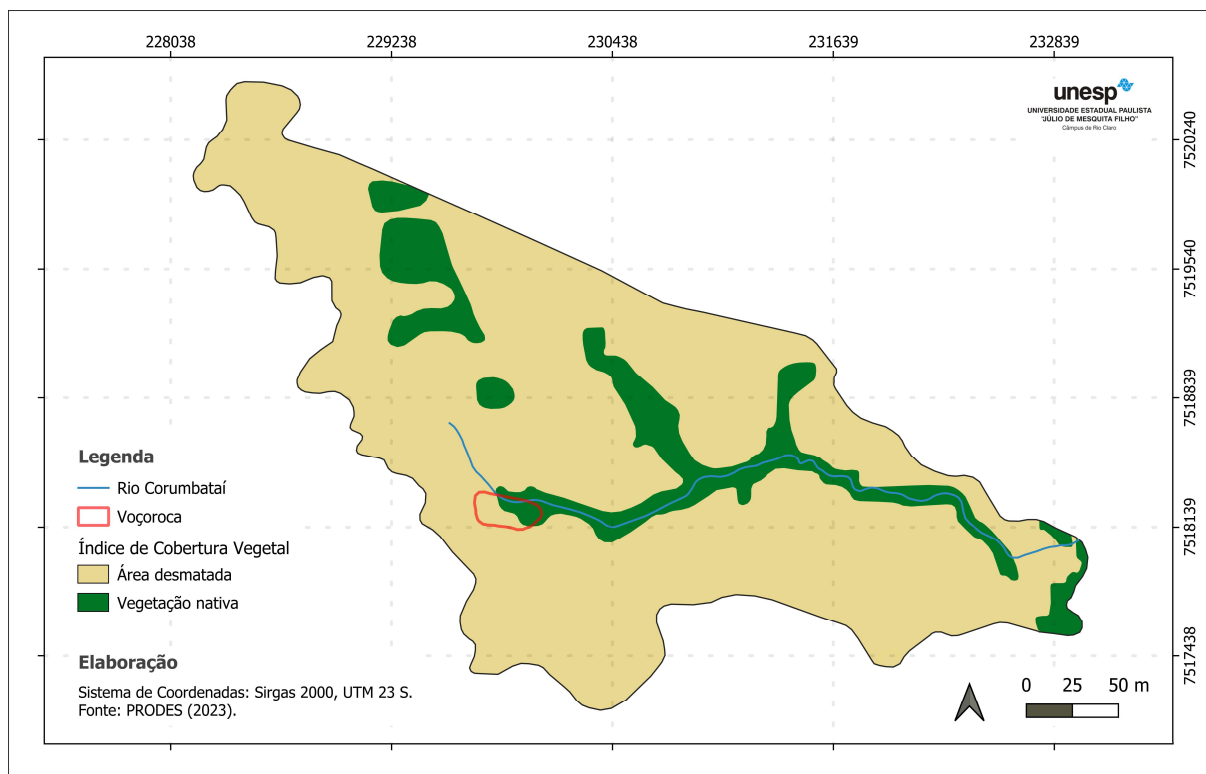
A escassez de áreas com vegetação nativa pode estar diretamente relacionada à intensificação de processos erosivos, uma vez que a retirada da cobertura vegetal reduz a proteção direta do solo contra o impacto da gota da chuva, diminui a infiltração da água, favorece o escoamento superficial e contribui para a instabilidade de encostas.

Ressalta-se, assim, que a pressão sobre os biomas presentes no município não só ameaça a integridade ambiental local, mas também contribui para a formação e a intensificação dos processos erosivos, especialmente em áreas nas quais a cobertura vegetal foi suprimida por usos incompatíveis com a capacidade de suporte do solo.

4.9. Uso da terra e cobertura vegetal

O índice de cobertura vegetal da bacia do Campo do Cocho evidencia um predomínio de áreas desmatadas, uma vez que é possível observar fragmentos escassos de vegetação nativa, concentrados principalmente ao longo do Rio Corumbataí (Figura 14).

Figura 14. Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do Campo do Cocho.



Fonte: Autora (2025).

Além disso, a presença do corpo d'água ressalta a importância da vegetação para a proteção dos recursos hídricos e a contenção da erosão, especialmente considerando que a voçoroca se localiza próxima ao canal de drenagem em questão. No entanto, a fragmentação da vegetação nativa indica uma possível degradação ambiental, aumentando a suscetibilidade do solo à erosão e ao escoamento superficial, acarretando, consequentemente, o assoreamento do curso hídrico.

A grande extensão de áreas desmatadas, por sua vez, relaciona-se principalmente ao uso intenso da terra para atividades agropecuárias, o que pode intensificar o processo erosivo, contribuindo para a expansão da voçoroca, principalmente quando associado ao pisoteio excessivo do gado em decorrência da prática de pecuária extensiva. Ressalta-se ainda que a ausência de corredores ecológicos mais conectados também pode reduzir a resiliência ambiental

da bacia, prejudicando a biodiversidade local e a capacidade de regeneração natural da escassa cobertura vegetal existente.

Essa realidade faz-se ainda mais alarmante ao considerar a proximidade da feição erosiva estudada com a Área de Proteção Ambiental (APA) dos Rios Piracicaba e Juqueri-Mirim, o que confere uma relevância ao estudo, especialmente por se tratar de uma área sem zona de amortecimento definida. A ausência dessa faixa de proteção aumenta a vulnerabilidade da APA aos impactos causados pela dinâmica erosiva local.

Ressalta-se ainda que a ausência de uma zona de amortecimento da APA dos Rios Piracicaba e Juqueri-Mirim em relação ao desmatamento significativo da área, voltado principalmente às atividades agrícolas e de pastagem, dificulta a conectividade entre os remanescentes naturais e dificulta a manutenção dos corredores ecológicos de fauna e flora, os quais são necessários à resiliência dos ecossistemas locais, principalmente frente às pressões oriundas de tais atividades humanas.

Sendo assim, a caracterização ambiental da área de estudo evidenciou que a voçoroca em questão é resultado da interação entre fatores naturais e antrópicos, sendo intensificada pelo uso e manejo inadequado da terra e pela escassez de cobertura vegetal na maior parte da paisagem. A análise do substrato rochoso, solo, relevo, hidrografia, clima, uso da terra e cobertura vegetal revelou a suscetibilidade ambiental da região à erosão, ressaltando a necessidade da aplicação de medidas voltadas à sua recuperação, considerando as particularidades locais e a dinâmica dos processos erosivos já existentes.

Nesse sentido, a proposição de medidas de recuperação torna-se essencial não apenas para estabilizar a voçoroca existente, mas também para prevenir o surgimento de novos focos de degradação. Ressalta-se, ainda, a importância de estender as medidas de recuperação às áreas adjacentes à feição erosiva estudada, considerando-se suas características e particularidades, uma vez que exercem influência direta sobre o aporte de sedimentos transportados para o interior da voçoroca e, conseqüentemente, para o leito do Rio Corumbataí.

Dessa forma, caso a área de entorno não seja considerada na proposta de recuperação da feição erosiva, pode haver o comprometimento da efetividade das medidas sugeridas, uma vez que o sucesso das técnicas a serem empregadas depende também da consideração da dinâmica e da realidade de toda a bacia do Campo do Cocho. Uma vez comprometida a efetividade das medidas propostas, pode haver a reincidência dos processos erosivos, uma vez que os fatores externos à feição erosiva, como práticas inadequadas de manejo da terra e alterações no escoamento superficial, continuam a influenciar diretamente sua evolução.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada com o objetivo de fundamentar teoricamente o presente estudo. Assim, foram consultados livros, artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos que abordam os seguintes temas: processos erosivos, formação e evolução de voçorocas, técnicas de mapeamento, caracterização ambiental e recuperação de áreas degradadas.

Além disso, foram considerados livros, revistas, trabalhos, publicações e autores clássicos da literatura científica sobre Geomorfologia, solos, erosão e recuperação ambiental, tais como Antonio Christofolletti, Antonio Jose Teixeira Guerra, José Bertoni, Francisco Lombardi Neto e Valter Casseti.

A fim de fundamentar o presente trabalho, também foram priorizados estudos que tratam da dinâmica de processos erosivos em áreas com características e condições ambientais semelhantes ao município de Rio Claro.

Para obtenção de tais informações, foram utilizados diversos mecanismos de pesquisas, tais como Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Google Acadêmico, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), além do acervo da biblioteca da UNESP.

Sendo assim, a fundamentação teórica obtida nessa etapa serviu de base para a caracterização da feição erosiva estudada e para a elaboração das medidas de recuperação propostas ao local de estudo.

5.2. Elaboração de mapas e análise gráfica

A caracterização ambiental da área de estudo foi realizada com base na análise de seus aspectos físicos, bióticos e antrópicos. Para tal, foram considerados e analisados dados obtidos em levantamentos bibliográficos, imagens de satélite e bases cartográficas variadas.

Sendo assim, primeiramente, foram elaborados mapas temáticos utilizando o *software* QGIS, versão 3.34.11. Ressalta-se que a obtenção dos dados espaciais se deu por meio de diferentes bases cartográficas.

Para a elaboração do mapa de localização da área de estudo, utilizaram-se imagens aéreas provenientes da base de dados do *Google Satellite*, atualizada em 2025. A delimitação do município de Rio Claro foi realizada considerando uma escala cartográfica de 1:230.000. Já

para a representação detalhada da feição erosiva, empregou-se uma escala de 1:2.200. Além disso, para delimitação da bacia do Campo do Cocho, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) NASADEM, disponibilizado em 2020, pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), com resolução de 30 metros.

Já o mapa geológico da área de estudo foi elaborado por meio da base de dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), vinculada ao Serviço Geológico do Brasil, publicada em 2004. O respectivo mapa apresenta uma escala cartográfica de 1:1.000.000.

Para a elaboração do mapa pedológico, utilizou-se a base de dados do Portal DataGEO, publicada em 2017. O mapa em questão apresenta uma escala cartográfica de 1:500.000.

O mapa de unidades geomorfológicas, por sua vez, foi elaborado por meio da base de dados do Banco de Informações Ambientais (BDIA), desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), publicado em 2023. O respectivo mapa apresenta uma escala cartográfica de 1:1.000.000.

Para a elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal, utilizou-se a base de dados do Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), uma iniciativa da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), publicada em 2023. O mapa em questão apresenta uma escala cartográfica de 1:1.000.000.

Por fim, tanto o mapa altimétrico quanto o mapa de declividade também foram elaborados por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) NASADEM, disponibilizado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), com resolução de 30 metros. Além disso, para elaboração do mapa de declividade, também utilizou-se o critério estabelecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que define as classes de declividade em função das faixas de percentual de declividade (Quadro 1).

Quadro 1. Classes de declividade estabelecidas.

Classes de Declividade	Percentual
Plano	0 a 3%
Suave Ondulado	3 a 8%
Ondulado	8 a 20%
Forte Ondulado	20 a 45%
Montanhoso	45 a 75%
Escarpado	> 75%

Fonte: Embrapa (1979).

Os mapas foram elaborados utilizando diversas ferramentas do software QGIS, tais como: adicionar feição de polígono, georreferenciamento, vetorização de feições, selecionar feições, adicionar camada vetorial, adicionar camada *raster*, calculadora *raster*, suavização de feições, simbologia, rotulagem e compositor de impressão. Ressalta-se ainda que também foram empregadas ferramentas como a extração de contornos (para obtenção das curvas de nível), interpolação de dados altimétricos, criação de Modelo Digital de Elevação (MDE) e reclassificação de valores *raster*.

Além disso, com base nos dados pluviométricos fornecidos pelo Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), elaborou-se um gráfico, através do *software* Excel, com as médias mensais de precipitação, para o município de Rio Claro, entre os anos de 1994 e 2024, a fim de caracterizar o clima da área de estudo.

A fim de complementar o gráfico e os mapas gerados, também foi realizado um novo levantamento bibliográfico, com o objetivo de embasar as informações obtidas por meio da análise gráfica e do mapeamento.

Sendo assim, a integração da espacialização dos dados, da análise gráfica e da revisão bibliográfica possibilitou a caracterização local e forneceu informações sobre as condições ambientais e a dinâmica erosiva na área de estudo, além de auxiliar na proposição de medidas de recuperação adequadas para a voçoroca, orientando a escolha de intervenções compatíveis com as particularidades locais.

5.3. Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado no mês de fevereiro, período em que a área de estudo apresentou elevados índices pluviométricos. A escolha desse período deve-se à maior representatividade da hidrodinâmica local, possibilitando uma observação mais precisa dos processos erosivos e da interação entre o escoamento superficial e a voçoroca.

Durante a atividade de campo, foi utilizado um GPS (*Global Positioning System*) do modelo Garmin, com precisão de aproximadamente 5 metros, para a obtenção das coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) da área de estudo.

Ressalta-se ainda que foi realizado o registro fotográfico da área, documentando as características da voçoroca, a vegetação circundante, o uso e ocupação da terra e evidências da dinâmica erosiva. Além disso, também foram registradas anotações sobre a voçoroca, considerando seus aspectos geomorfológicos, características do solo, cobertura vegetal e informações de demais processos erosivos em atividade, além de conceitos e explicações

relevantes ao estudo. O material obtido nessa etapa serviu de apoio para a análise dos dados mapeados e para a interpretação dos fatores naturais e antrópicos condicionantes do processo erosivo estudado, tanto no interior da feição erosiva quanto em suas áreas adjacentes.

5.4. Proposta de recuperação

A proposta de recuperação da voçoroca estudada foi desenvolvida com base nos dados obtidos por meio do mapeamento ambiental, da caracterização da área de estudo e do trabalho de campo. Sendo assim, o planejamento da recuperação seguiu as seguintes etapas principais: análise da área, seleção de medidas de recuperação e avaliação da viabilidade das medidas.

Inicialmente, foram analisados os fatores que contribuem para a evolução da voçoroca, incluindo a declividade da vertente, a dinâmica do escoamento superficial, o uso e ocupação da terra e as condições climáticas da região, com destaque à precipitação. A partir da análise da área foi possível identificar os processos erosivos ativos e avaliar a viabilidade das medidas de recuperação a serem propostas.

Posteriormente, com base na revisão bibliográfica e nas condições específicas da área de estudo, como tipo de solo, declividade, uso e ocupação da terra e índice de cobertura vegetal, foram elaboradas medidas de recuperação adequadas e adaptadas à realidade do local de estudo, fundamentando-se em diferentes métodos, tais como ecológicos, agrícolas, mecânicos e de bioengenharia.

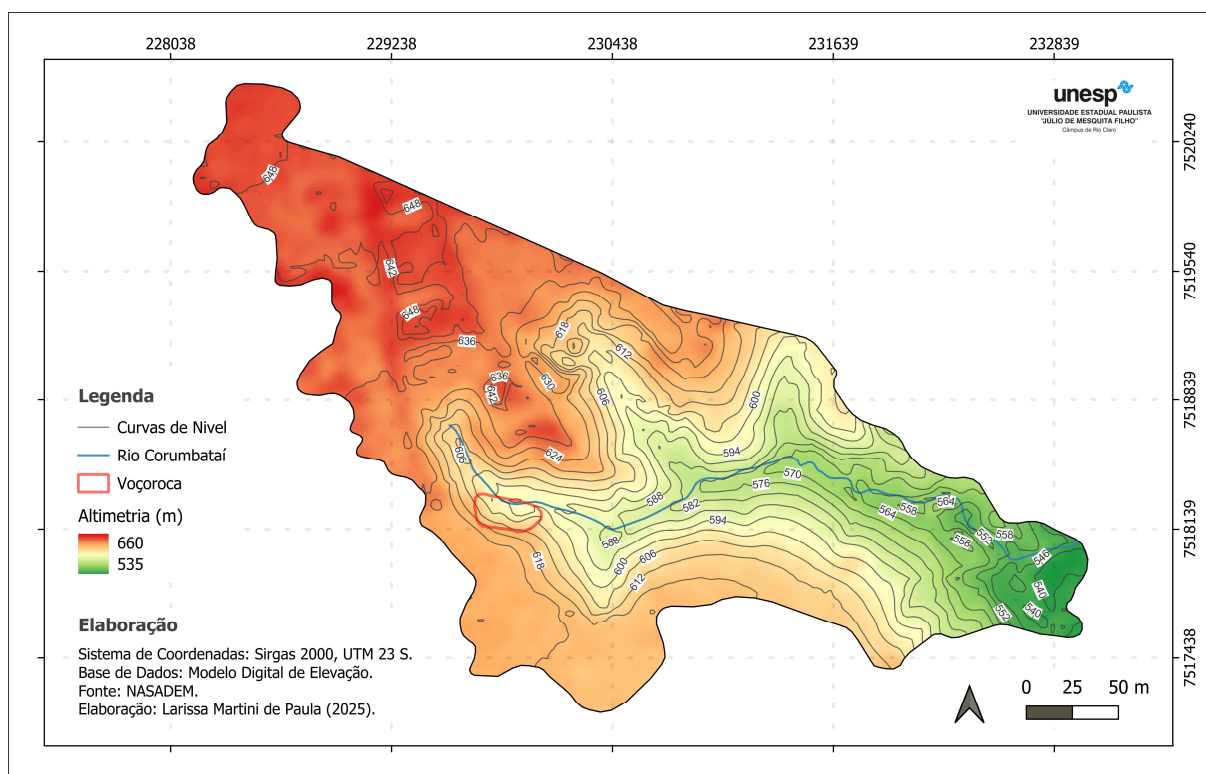
Por fim, após a definição das medidas, foi realizada uma avaliação da viabilidade técnica e econômica da implementação das medidas propostas, considerando os aspectos sociais e econômicos locais, além dos impactos ambientais associados. Além disso, foram sugeridas ações a serem seguidas para a manutenção e o monitoramento da recuperação, garantindo que as medidas propostas sejam eficazes a médio e longo prazo.

Ressalta-se ainda que foi priorizada a seleção de medidas mais simples e adaptadas à realidade socioeconômica da área, a fim de facilitar sua adesão e continuidade a médio e longo prazo. Dessa maneira, pretende-se não apenas recuperar a área degradada, mas também promover uma mudança na forma como o solo é manejado na região e permitir a continuidade da viabilidade econômica da propriedade rural presente próxima à feição erosiva, a qual realiza o plantio de culturas e a pecuária extensiva. Além disso, uma vez compatíveis com as condições socioeconômicas locais, as ações adotadas tendem a alcançar uma maior adesão por parte dos proprietários e moradores locais.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do Campo do Cocho apresenta uma variação de altitude que vai de, aproximadamente, 535 metros a 660 metros (Figura 15).

Figura 15. Mapa altimétrico da bacia do Campo do Cocho.



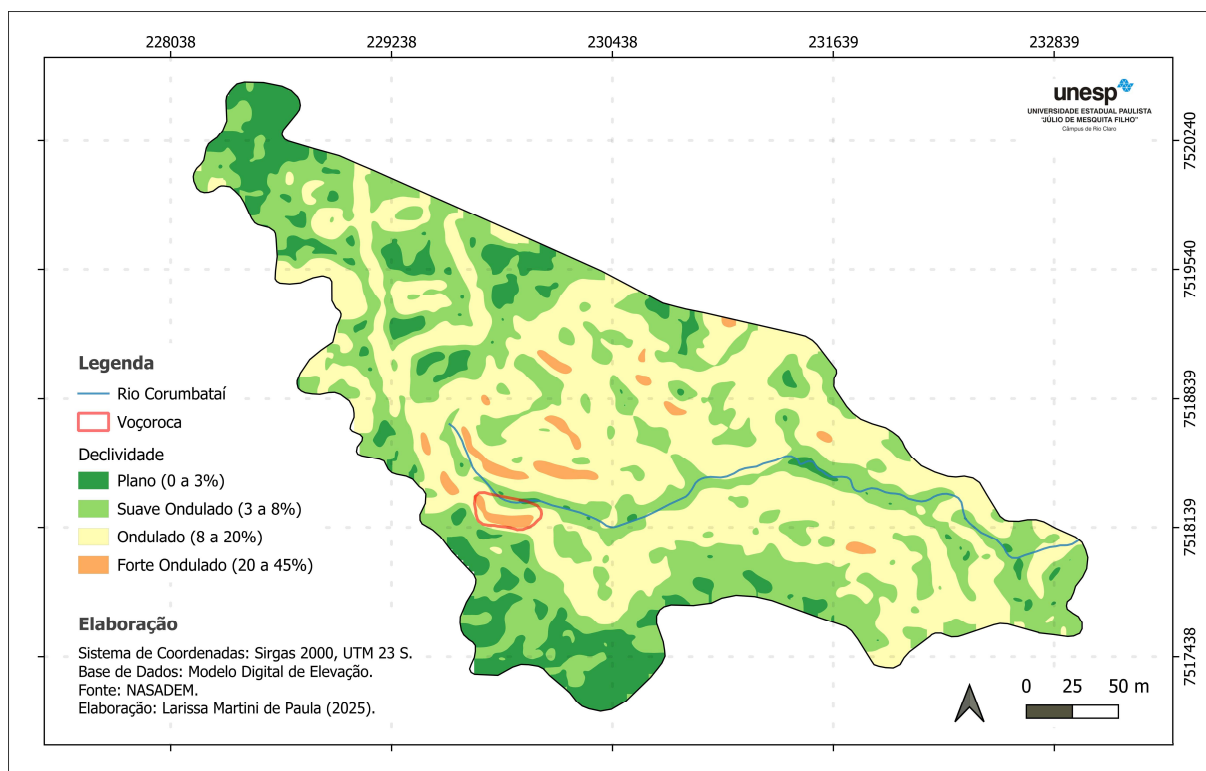
Fonte: Autora (2025).

A voçoroca, por sua vez, localiza-se no trecho em que o relevo passa a apresentar maior declividade em direção às áreas mais rebaixadas. Dessa forma, o desnível natural do terreno intensifica o fluxo de água durante períodos de precipitação, aumentando a intensidade do escoamento superficial. Essa dinâmica favorece a remoção e o consequente transporte de sedimentos, além do aprofundamento dos sulcos já existentes no solo, culminando na evolução da feição erosiva.

Além disso, a localização da voçoroca, associada à ausência de medidas de controle e contenção da erosão, favorece a maior intensidade do escoamento superficial, a convergência das águas pluviais e o transporte de sedimentos para seu interior, intensificando os processos de erosão linear já existentes no local. Ressalta-se ainda que a variação considerável da altimetria presente na área de estudo contribui para o aumento da velocidade do fluxo de água, potencializando, assim, a intensidade da ação erosiva.

Além disso, a bacia do Campo do Cocho apresenta terrenos classificados em planos, suave ondulados, ondulados e forte ondulados, com declividades que variam entre 0 e 34% (Figura 16).

Figura 16. Mapa de declividade da bacia do Campo do Cocho.



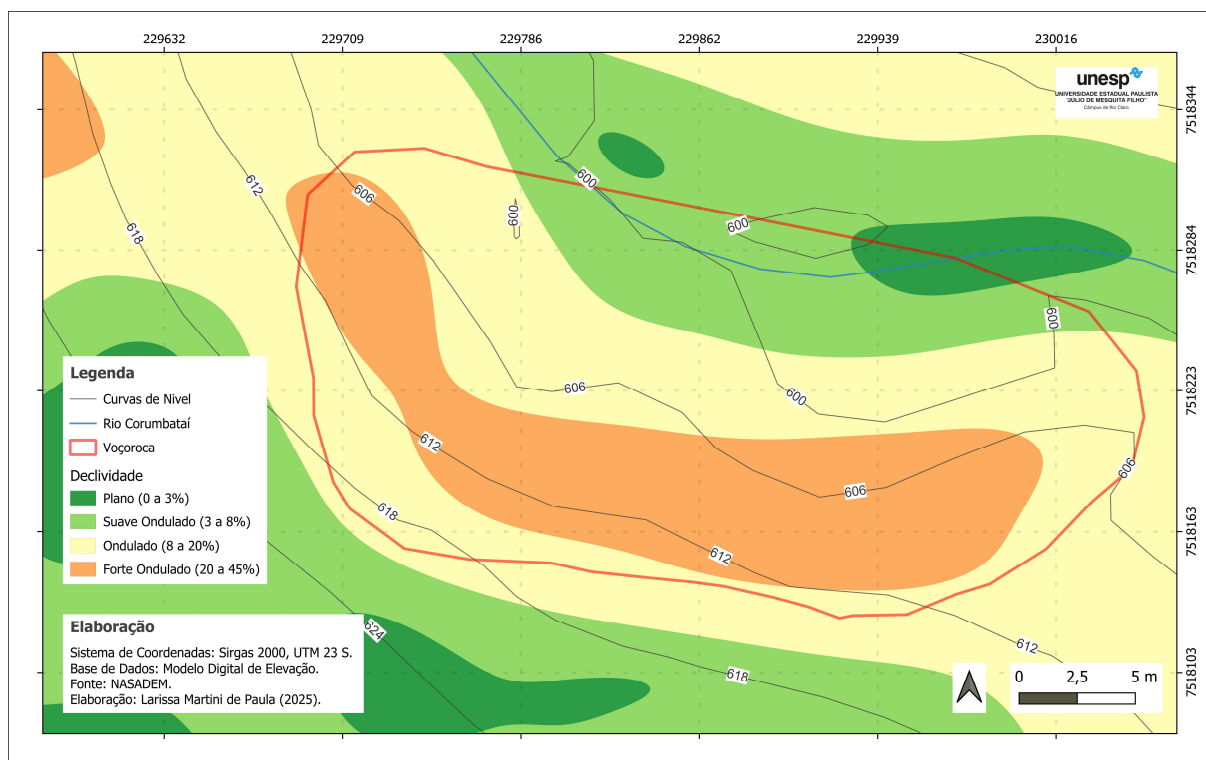
Fonte: Autora (2025).

A declividade do terreno influencia diretamente no escoamento superficial da água da chuva, aumentando a intensidade dos processos erosivos. Em áreas com inclinação acentuada, como, por exemplo, nos terrenos classificados em ondulados e forte ondulados no local de estudo, a água da chuva escoar com maior velocidade e intensidade, reduzindo a infiltração no solo e aumentando sua capacidade de remoção e transporte de sedimentos. Além disso, o aumento da velocidade do escoamento superficial também pode intensificar a concentração de água em pontos específicos, favorecendo ainda mais a ocorrência de processos erosivos.

Ressalta-se ainda que, na área de estudo, esse fenômeno pode ser agravado por fatores como cobertura vegetal ausente ou escassa, compactação do solo decorrente da pecuária extensiva e intensidade das chuvas nos períodos de outubro a março. Além disso, a erosão contribui para o assoreamento do Rio Corumbataí, que está diretamente conectado à voçoroca, gerando, consequentemente, o assoreamento do curso d'água.

A feição erosiva estudada, por sua vez, está localizada em uma área de alta declividade, com declividades notáveis, classificadas, predominantemente, como onduladas e forte onduladas (Figura 17), as quais atingem percentuais de até 34%. Isso indica que a erosão pode estar sendo intensificada pela declividade acentuada do terreno e pelo escoamento superficial da água, o qual, ao adquirir maior intensidade nesses trechos mais íngremes, aumenta seu potencial de remoção e consequente transporte de sedimentos.

Figura 17. Mapa de declividade da voçoroca localizada no Campo do Cocho.



Fonte: Autora (2025).

Além disso, a presença de classes variadas de declividade dentro de uma área relativamente pequena reforça a necessidade de um planejamento de uso da terra baseado nas características topográficas locais, com ações específicas e eficazes de contenção da erosão nas zonas mais íngremes. Ressalta-se ainda que a combinação dessas características topográficas com a escassez ou ausência de cobertura vegetal e práticas inadequadas de manejo da terra, como a compactação do solo em decorrência do pisoteio excessivo do gado em áreas de pastagem, contribui para uma maior susceptibilidade da área à erosão, uma vez que a ação do escoamento superficial é mais intensa, facilitando o avanço da voçoroca.

6.1. Dinâmica erosiva da voçoroca do Campo do Cocho

Na bacia do Campo do Cocho, foi possível observar plantações de milho e cana-de-açúcar (Figura 18). Posteriormente, mais próximo à feição erosiva, além das culturas em questão, também foi observado a presença de pastagem, inclusive no interior da voçoroca, na qual a presença de fezes animais fez-se evidente.

Figura 18. Plantações de milho e cana-de-açúcar na área de entorno da voçoroca.



Fonte: Autora (2025).

Dessa forma, nota-se que a alta vertente é marcada pela presença de plantações de milho e cana-de-açúcar, enquanto a média e a baixa vertente apresentam, além das culturas em questão, áreas de pastagem, práticas que podem influenciar diretamente o processo erosivo do local.

Por um lado, nos estágios iniciais de plantio, o solo exposto pode reduzir a infiltração da água no solo, intensificando o escoamento superficial. Já a presença de pastagem pode agravar a remoção da cobertura vegetal e a compactação do solo, tornando-o mais suscetível à erosão e facilitando o transporte de sedimentos à baixa vertente e ao fundo de vale. Segundo Fushimi e Rodrigues Nunes (2022), a pecuária extensiva, com o pisoteio do gado bovino, acelera a compactação dos horizontes superficiais do solo, com consequente redução da infiltração das águas pluviais e, nos caminhos que percorre para dessedentação, ocorre a remoção da cobertura vegetal e o incremento do escoamento superficial e do fluxo linear.

Na média e baixa vertente e no fundo de vale, foi possível observar, em trabalho de campo, sulcos erosivos no solo (Figura 19), evidenciando o transporte de material das áreas de topo até o fundo do vale. As chuvas intensas dos dias anteriores ao trabalho de campo acentuaram essa dinâmica erosiva, tornando ainda mais visíveis os caminhos preferenciais do escoamento superficial da água da chuva sobre o solo.

Figura 19. Sulco erosivo.



Fonte: Autora (2025).

Além disso, observou-se também uma declividade acentuada da vertente (Figura 20), a qual favorece ainda mais a ocorrência de processos erosivos, uma vez que, além de contribuir com o escoamento superficial das águas pluviais, aumenta sua velocidade, intensidade e, consequentemente, capacidade de remoção e transporte de sedimentos, o que contribui, assim, para a evolução da feição erosiva em questão. Esse fator, associado à redução da cobertura vegetal e ao pisoteio excessivo do gado em áreas de pastagem, intensifica ainda mais o fluxo de remoção e transporte de sedimentos, mantendo a dinâmica erosiva ativa. Ressalta-se ainda que tais condições também resultam em uma maior convergência do fluxo hídrico em pontos específicos da paisagem, agravando ainda mais os processos erosivos da área.

Figura 20. Declividade da vertente.



Fonte: Autora (2025).

No fundo do vale do Rio Corumbataí, embora existam alguns fragmentos de vegetação em suas margens, foram observados trechos desprovidos de cobertura vegetal (Figura 21). Essa ausência de vegetação pode facilitar a deposição de material proveniente da vertente no interior do canal, evidenciando, assim, o efeito *off-site* do processo erosivo, resultando em um processo de assoreamento e de variações no fluxo hídrico.

Figura 21. Canal de drenagem com vegetação degradada em sua margem.



Fonte: Autora (2025).

A voçoroca localiza-se na baixa vertente, onde foram registradas, em trabalho de campo, as seguintes coordenadas UTM: 229895.02698514 S e 7518242.7926981 O, além da elevação local de 607 m.

De acordo com o Centro de Análise e Planejamento Ambiental da UNESP de Rio Claro (2025), no dia anterior ao trabalho de campo, foi registrada uma precipitação total de 10,2 mm, sendo que 9,4 mm precipitaram no período de apenas uma hora. Conforme a classificação proposta por Reichardt (1987), chuvas com intensidade superior a 7,5 mm/h são classificadas como fortes. Dessa forma, conclui-se que, no dia anterior à realização do trabalho de campo, ocorreu uma chuva de forte intensidade.

Sendo assim, apesar de favorecer a observação dos caminhos preferenciais do escoamento superficial das águas pluviais sobre o solo, destaca-se que, em razão do intenso volume de chuvas no dia anterior ao trabalho de campo, não foi possível confirmar a presença de afloramento do nível freático na feição erosiva. Dessa forma, sua caracterização foi realizada com base na definição dimensional do termo voçoroca, considerando, assim, profundidade e largura superiores a 50 cm (Figura 22). Ressalta-se ainda que, segundo Ferreira (2021), a voçoroca estudada apresenta 160 m de comprimento, 200 m de largura e 9 m de profundidade, dimensões que evidenciam o estágio avançado de evolução do processo erosivo.

Figura 22. Dimensão visual de diferentes pontos da voçoroca.



Fonte: Autora (2025).

A voçoroca foi classificada como conectada, ou seja, está diretamente ligada à rede de drenagem, o que favorece o escoamento das águas pluviais através de caminhos preferenciais no solo (Figura 23-A) e o transporte de sedimentos (Figura 23-B) para o curso hídrico em questão, o que aponta para uma maior possibilidade à ocorrência do processo de assoreamento.

Figura 23. (A) Caminho preferencial de transporte de material da baixa vertente ao fundo de vale (B) Material transportado ao fundo de vale.



Fonte: Autora (2025).

Essa conectividade com o curso d'água intensifica o impacto ambiental e evidencia o efeito *off-site* do processo erosivo, uma vez que facilita um maior aporte de sedimentos ao leito do rio, contribuindo para o processo de assoreamento, diminuição da profundidade do canal e alterações no regime de fluxo. Além disso, o transporte de sedimentos finos e nutrientes pode comprometer a qualidade da água, afetando o ecossistema aquático e o uso dos recursos hídricos à jusante.

Destaca-se ainda que o Rio Corumbataí constitui uma das principais fontes de abastecimento de água do município de Rio Claro. Sendo assim, qualquer deterioração em sua qualidade pode impactar diretamente o sistema de abastecimento público, resultando em um aumento dos custos e da complexidade no tratamento da água destinada ao consumo humano.

Além disso, na área de estudo, também foi possível classificar a erosão que ocorre no local como remontante, isto é, o processo erosivo está avançando no sentido jusante-montante, o que indica que a voçoroca está com a cabeceira se expandindo em direção às áreas mais elevadas.

Observou-se também a presença de uma cobertura vegetal degradada em seu interior, caracterizada por uma considerável quantidade de árvores e plantas, dentre as quais uma quantidade significativa apresenta sinais de estresse e crescimento limitado (Figura 24). Além disso, notou-se também a presença de serrapilheira, composta, principalmente, por folhas secas e galhos, que cobriam parcialmente o solo.

Figura 24. Vegetação presente no interior da voçoroca.



Fonte: Autora (2025).

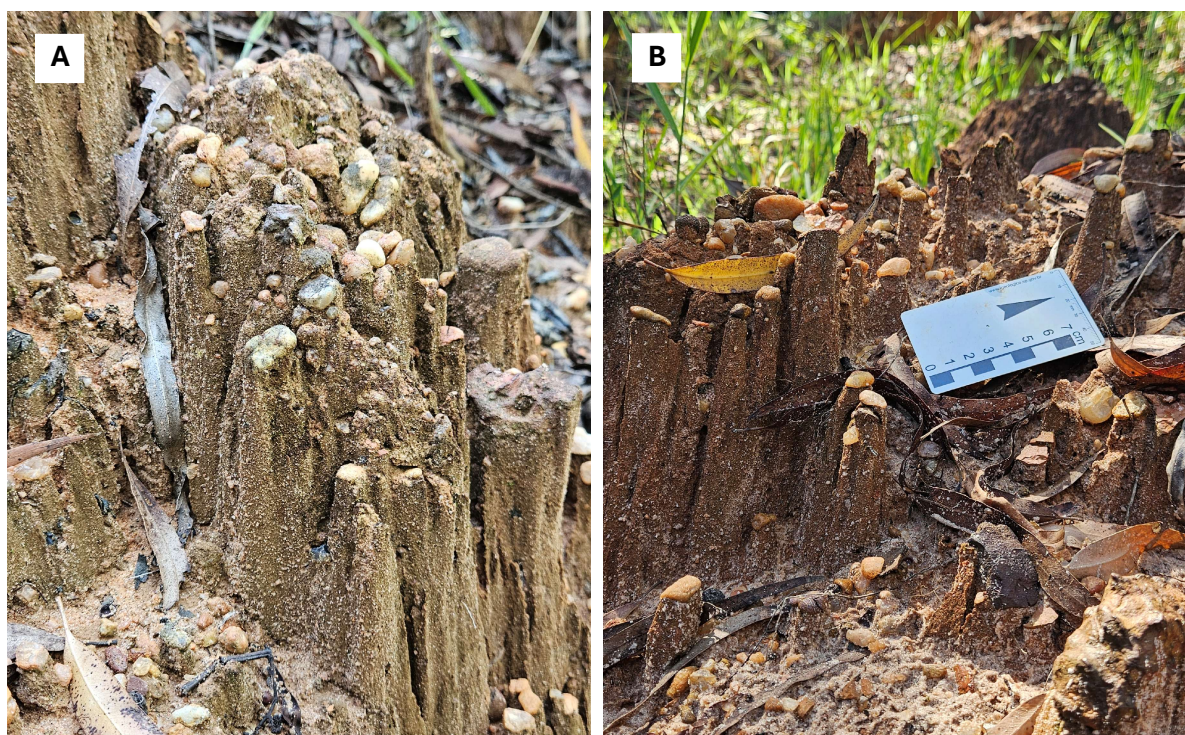
Sendo assim, a cobertura vegetal degradada em questão indica que as condições ambientais no interior da voçoroca não são totalmente favoráveis ao desenvolvimento correto da vegetação, possivelmente devido ao transporte de sedimentos à feição erosiva, à instabilidade do solo e à compactação em algumas áreas. A presença de serrapilheira, por outro lado, desempenha um papel importante na ciclagem de nutrientes e na proteção contra a erosão superficial. Contudo, notou-se que, no interior da feição erosiva, sua distribuição não é homogênea.

Dessa forma, embora a voçoroca apresente um considerável índice de cobertura vegetal e matéria orgânica em seu interior, foi possível observar uma quantidade significativa de sedimentos transportados da vertente. Sendo assim, nota-se que a declividade acentuada favorece o transporte de sedimentos, indicando que a cobertura vegetal existente não é suficiente para conter a erosão.

Além disso, dentro da própria feição erosiva foram identificadas outras formas de erosão. Ressalta-se que a ocorrência de diferentes formas erosivas dentro da voçoroca sugere que processos distintos atuam simultaneamente na remoção e transporte do material, contribuindo ainda mais para a evolução do processo erosivo na área de estudo.

Em trabalho de campo, notou-se a presença de pedestais (Figura 25), os quais são causados pela ação do salpicamento das gotas da chuva e do escoamento superficial, que removem as partículas de solo ao redor de obstáculos, como raízes e fragmentos de rocha. Esse processo ocorre de forma mais intensa em áreas cobertura vegetal escassa, nas quais o impacto da gota da chuva remove partículas do solo, enquanto o escoamento superficial transporta os sedimentos mais soltos. O material protegido sob elementos mais resistentes permanece intacto, formando elevações, as quais são definidas como pedestais e são indicativas de erosão ativa.

Figura 25. (A) Pedestais localizados no interior da voçoroca **(B)** Régua comparativa sobre os pedestais identificados no interior da voçoroca.



Fonte: Autora (2025).

Além disso, também foram observadas alcovas de regressão (Figura 26-A), as quais podem ser esculpidas pelo escoamento superficial e/ou afloramento do aquífero freático. Esse processo está diretamente relacionado ao fenômeno de solapamento (Figura 26-B), caracterizado pela remoção gradual de material da base de uma encosta, resultando no enfraquecimento e consequente desmoronamento das camadas superiores do solo. Esse fenômeno contribui para a evolução da erosão, ampliando a voçoroca e aumentando sua instabilidade estrutural, além de também ser um indicativo de erosão ativa.

Figura 26. (A) Alcova de regressão localizada no interior da voçoroca **(B)** Processo de solapamento identificado no interior da voçoroca.



Fonte: Autora (2025).

De forma geral, o uso e ocupação da terra da bacia do Campo do Cocho revela uma predominância da agropecuária sobre a paisagem, com fragmentos isolados de vegetação. Essa configuração sugere um cenário de degradação ambiental, no qual o desmatamento e o uso e manejo inadequado da terra contribuem para intensificação dos processos erosivos, ocasionando a formação e expansão ainda ativa da voçoroca. A fragmentação da vegetação nativa também pode comprometer a infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial e favorecendo a ação da erosão.

Ressalta-se ainda que o predomínio de pastagens e áreas agrícolas favorece a compactação do solo, também reduzindo a infiltração da água e aumentando o escoamento superficial. Além disso, a ausência de áreas de transição entre os usos agropecuários e as formações florestais pode indicar uma proteção insuficiente contra impactos ambientais.

Dessa forma, observa-se que, apesar de possuir um considerável índice de cobertura vegetal e matéria orgânica em seu interior, a feição erosiva ainda se encontra ativa diante do uso da terra para plantio e pastagem. Logo, a proposição de medidas de recuperação para a feição erosiva em questão fez-se necessária, a fim de minimizar os impactos ambientais causados pela voçoroca e por sua área de entorno.

6.2. Proposição de medidas de recuperação à voçoroca do Campo do Cocho

A recuperação da voçoroca estudada requer a adoção de medidas para controlar a erosão, mitigar os impactos ambientais e promover a estabilidade ambiental tanto da área de estudo quanto do seu entorno. Sendo assim, a execução das medidas propostas foi categorizada em três etapas: implementação, manutenção e monitoramento, uma vez que tal divisão garante que as ações adotadas sejam aplicadas, acompanhadas ao longo do tempo e ajustadas conforme necessário para assegurar sua efetividade.

As medidas de recuperação propostas foram selecionadas com base na realidade da área de estudo, a qual, atualmente, não possui controle da erosão. Assim, priorizaram-se medidas econômicas e tecnicamente viáveis, a fim de minimizar a demanda de tempo em sua implementação, manutenção e monitoramento. Dessa forma, foram sugeridas as seguintes medidas de recuperação à área de estudo:

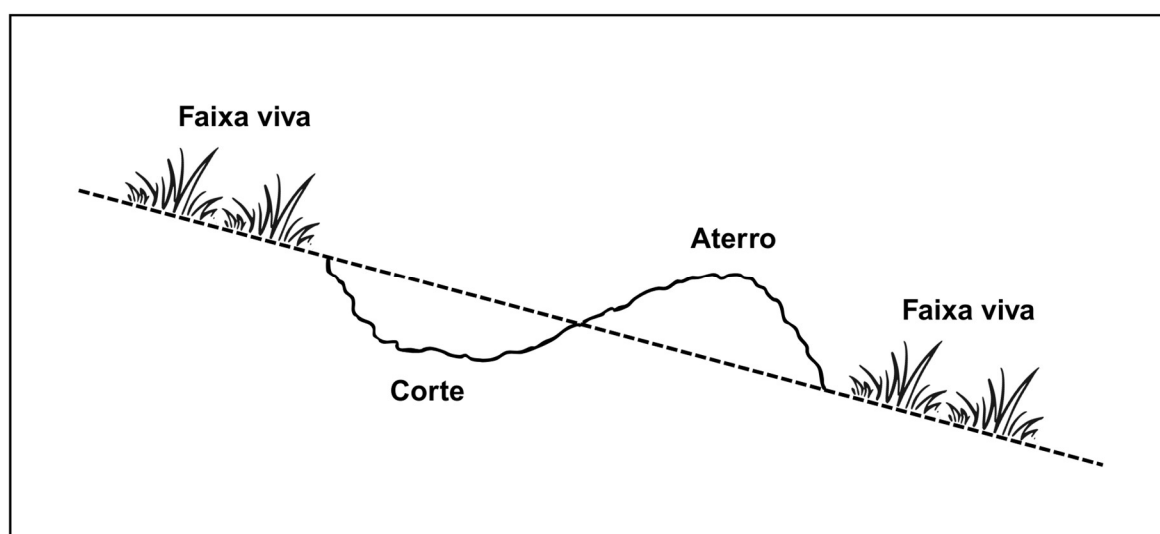
- Isolamento da área: O isolamento da voçoroca é fundamental para reduzir a degradação causada pelo pisoteio do gado, evitando também o acesso de pessoas ao local. Para isso, recomenda-se a instalação de cercas ao redor da feição erosiva, criando barreiras físicas. Sugere-se que as cercas sejam construídas por meio de técnicas de bioengenharia, com a combinação de madeira de reflorestamento e arame galvanizado, o qual assegura maior durabilidade à estrutura, ao apresentar maior resistência contra a corrosão.
- Terraceamento: A construção de terraços agrícolas nas áreas de pastagem ao redor da voçoroca visa reduzir a velocidade do escoamento superficial e aumentar a infiltração da água no solo, minimizando o transporte de sedimentos à feição erosiva. Além disso, o sistema de terraceamento e o tipo de terraço adotado devem ser projetados de acordo com a declividade da área (Quadro 2).

Quadro 2. Classificação de diferentes tipos de terraços de acordo com a declividade.

Declividade	Tipo de Terração	Caracterização
Até 12%	Base larga	Construído com lâmina terraceadora.
Entre 12 e 15%	Base estreita	Construído com arado terraceador de discos ou lâmina terraceadora.
Acima de 15%	Com faixa viva	Uso de vegetação para estabilização do solo.

Fonte: Adaptado de Tavares *et al.* (2008).

Sendo assim, para a área de estudo, recomenda-se a utilização de terraços com faixa viva (Figura 27), uma vez que a declividade do terreno ultrapassa 15% em uma significativa quantidade de regiões adjacentes à voçoroca. Esse tipo de terraceamento, associado à presença de cobertura vegetal, reduz a velocidade e a intensidade do escoamento superficial e promove a infiltração da água no solo, ao permitir que parte da água retida no corte da vertente evapore e parte infiltre no solo.

Figura 27. Configuração de terraceamento com faixa viva.

Fonte: Autora (2025).

O sistema radicular da vegetação aumenta ainda a coesão dos agregados e a resistência do solo, reduzindo a remoção de sedimentos. Além disso, a vegetação presente na faixa viva atua como uma barreira natural, auxiliando na retenção dos sedimentos transportados. Ressalta-se ainda que, ao viabilizar a introdução de cobertura vegetal, o sistema sugerido permite que os terrenos com faixa viva possam ser utilizados para atividades agrícolas, adaptando-se à realidade do proprietário local e tornando mais acessível a adoção da medida proposta.

- Construção de paliçadas: As paliçadas têm a função principal de reduzir a velocidade do escoamento superficial da água e reter sedimentos, contribuindo para o controle da erosão e a estabilização do solo. Segundo Araújo (2009), o uso de paliçadas vivas, para a contenção de erosão, pode ser considerada uma técnica viável economicamente, pois exige pouco investimento financeiro para sua instalação e manutenção, tornando-se uma alternativa em pequenas propriedades rurais.

Além disso, segundo Tavares *et al.* (2008), as paliçadas de bambu podem ser usadas tanto para a contenção das paredes verticais da voçoroca como para a redução da velocidade de escoamento superficial, contribuindo para a retenção dos sedimentos transportados.

Sendo assim, para a área de estudo, recomenda-se a construção de paliçadas vivas, compostas por bambu, priorizando os trechos mais suscetíveis à erosão, com destaque aos caminhos preferenciais percorridos pela água da chuva no interior da voçoroca, em que há o transporte recorrente de sedimentos.

- Aplicação de geotêxteis e geomantas: A aplicação de geotêxteis e geomantas nos taludes da erosão auxilia na estabilização do solo em áreas inclinadas, que são mais suscetíveis ao escoamento superficial. Os materiais em questão atuam como uma barreira física contra o impacto das gotas da chuva, reduzindo a remoção de partículas do solo. Além disso, contribuem para a criação de condições favoráveis à revegetação, uma vez que ajudam a reter umidade e temperatura, facilitando a germinação de sementes e o desenvolvimento de mudas. Ressalta-se ainda que os geotêxteis e as geomantas biodegradáveis também são recomendados por facilitar a sua incorporação ao ambiente ao longo do tempo.

Segundo Barrela (2007), o biogeotêxtil, quando composto por fibra de coco, é eficaz no controle da erosão vertical. Em seu estudo, o autor constatou que a combinação da rede de fibras de coco com a vegetação reduziu significativamente a erosão do solo, resultando em uma perda anual de solo 95% menor em comparação ao solo desprotegido. Além disso, observou-se que a aplicação do biogeotêxtil de coco não apenas minimizou os processos erosivos, mas também contribuiu para o aumento da matéria orgânica, a retenção de água no solo e o crescimento da vegetação.

Dessa forma, para a área de estudo, recomenda-se a utilização do geotêxtil composto por fibra de coco, a fim de minimizar o processo erosivo ocasionado por parte da água da chuva e auxiliar a revegetação no local, ao permitir uma maior retenção de umidade, proteger o solo contra o impacto da gota da chuva, reduzir a velocidade do escoamento superficial e agir como uma barreira física natural, além de ser biodegradável.

- **Revegetação do interior da feição erosiva:** A revegetação da área de estudo deve priorizar espécies nativas ou adaptadas ao clima local, considerando a sazonalidade das chuvas no município de Rio Claro. Para isso, serão adotadas duas técnicas de revegetação. A primeira consiste no plantio de mudas, por meio da utilização do método da nucleação, no qual há a criação de pequenos “núcleos” (ilhas de vegetação) no interior da área degradada, favorecendo a sucessão ecológica natural.

Sendo assim, a implementação da nucleação no interior da feição erosiva envolve diferentes etapas (Quadro 3), as quais buscam acelerar a sucessão natural por meio da criação de pequenos núcleos de vegetação, favorecendo a regeneração natural da cobertura vegetal e a atração de fauna dispersora de sementes.

Quadro 3. Etapas para a aplicação da técnica de nucleação.

Etapas	Descrição
Diagnóstico e seleção dos núcleos	Identificação dos pontos estratégicos dentro da voçoroca para instalação dos núcleos, considerando a declividade e vegetação remanescente.
Definição dos métodos de nucleação	Criação de pequenos núcleos com espécies arbóreas e arbustivas pioneiras para acelerar o processo de sucessão ecológica.
	Introdução de espécies dos estágios finais da sucessão para aumentar a diversidade.
	Instalação de poleiros artificiais para favorecer a dispersão de sementes através da fauna dispersora.
Implementação dos núcleos	Abertura de pequenos núcleos no solo para o plantio das mudas.
	Aplicação de cobertura orgânica (serapilheira) para reduzir a evaporação da água e proteger o solo.
Monitoramento e manutenção	Acompanhamento da taxa de crescimento e regeneração natural.
	Controle de plantas invasoras que possam comprometer o desenvolvimento das mudas.
	Replantio em áreas onde houver baixa taxa de sobrevivência.

Fonte: Autora (2025).

Destaca-se que animais como aves e morcegos transportam e depositam sementes em diferentes pontos da paisagem, muitas vezes em locais de difícil acesso ou onde a revegetação natural seria lenta, contribuindo com a regeneração natural da vegetação. Esse processo favorece ainda o aumento da diversidade de espécies vegetais, uma vez que a fauna dispersora é responsável por transportar sementes de diferentes espécies de áreas variadas da paisagem, ampliando o número de espécies que conseguem chegar até o interior da feição erosiva.

Além disso, outra técnica sugerida à revegetação no interior da feição erosiva é a hidrossemeadura, a qual consiste na aplicação de uma mistura de sementes, água, fertilizantes, adesivos e outros componentes diretamente sobre o solo por meio de equipamentos de aspersão,

isto é, que simulam uma chuva artificial. Essa técnica faz-se necessária ao local, pois é facilmente aplicada em áreas mais íngremes e de difícil acesso, as quais são amplamente encontradas na área de estudo.

Segundo Matos (2018), o solo argiloso é um fator importante para efetividade do uso da biomanta de fibra de coco e da aplicação da hidrossemeadura do mix de sementes selecionado em seu estudo, composto por duas espécies de gramíneas, sendo elas Capim Braquiária (*Brachiaria decumbens*) e Capim Gordura (*Melinis minutiflora*), e uma de leguminosa, correspondente ao Calopogônio (*Calapogonium mucunoides*). Sendo assim, uma vez que o mapeamento da área de estudo sugere que o solo argiloso predomina na maior parte da feição erosiva, recomenda-se o uso do mix de sementes mencionado pelo autor nas áreas mais íngremes e de difícil acesso da feição erosiva.

- Sistema agroflorestal (SAF): A adoção de um sistema agroflorestal nas áreas adjacentes à voçoroca faz-se fundamental não apenas à estabilidade ambiental da área de estudo, mas também à economia dos produtores locais, os quais já realizam plantações de milho e cana-de-açúcar. O sistema, ao combinar árvores, culturas agrícolas e pastagem, minimiza a erosão e melhora a infiltração da água no solo. Sendo assim, as espécies escolhidas deverão ser compatíveis com as plantações de milho e cana-de-açúcar já existentes no entorno, adaptando-se à realidade local.

Segundo Santos Junior *et al.* (2020), os resultados já obtidos demonstram que a renovação do canavial por meio do plantio da cana consorciada com milho é promissora e economicamente viável. Nos estudos já realizados, observou-se que a produtividade do milho não foi afetada pela competição com a cultura da cana-de-açúcar, bem como a brotação e perfilhamento da cana-de-açúcar não foram afetados pela consorciação, após a colheita do milho. Dessa forma, considerando que ambas as culturas já são cultivadas na área de estudo, recomenda-se sua manutenção, porém com uma configuração mais adequada ao manejo do solo.

Além disso, segundo Prellwitz e Coelho (2011), o consórcio entre gramíneas e leguminosas visa atender à demanda por alternativas à adubação nitrogenada e, além disso, outros benefícios, como melhorias dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. De acordo com Azevedo *et al.* (2007), dentre as leguminosas forrageiras, o feijão-guandu (*Cajanus cajan*) destaca-se devido aos seus múltiplos usos; além de servir como fonte de proteína para a alimentação animal, desempenha importante papel na ciclagem e fornecimento de nutrientes ao solo, principalmente nitrogênio.

Segundo Barreto e Fernandes (2010), o guandu apresenta um crescimento inicial lento e o ciclo mais longo do que o milho, fazendo que os períodos de maior exploração dos recursos por estas espécies ocorram em épocas diferentes. Ainda segundo os autores, uma competição reduzida é estabelecida entre o milho e o guandu, o que permite crescimento e desenvolvimento satisfatórios das duas culturas no mesmo espaço e tempo. Por outro lado, segundo Trento Filho (2010), diversos tipos de feijão são utilizados para a consorciação com a cana.

Sendo assim, para a área de estudo, recomenda-se o cultivo de feijão-guandu associado aos plantios de milho e cana-de-açúcar, uma vez que além de fornecer benefícios para ambas as culturas, como o fornecimento de nitrogênio, pode ser utilizado como suplementação para alimentação do gado presente na propriedade. Além disso, sugere-se que os cultivos de milho e cana-de-açúcar sejam realizados em linha e intercalados, com a semeadura simultânea de ambas as culturas, a fim de aumentar a cobertura do solo e, assim, reduzir os espaços disponíveis para o crescimento de ervas daninhas e, consequentemente, evitar a necessidade do uso de herbicidas.

A introdução de espécies arbóreas frutíferas de interesse comercial pode agregar valor à produção. Com isso, o sistema agroflorestal não apenas favorece a recuperação da área degradada, mas também auxilia no desenvolvimento socioeconômico das unidades produtivas no entorno da voçoroca.

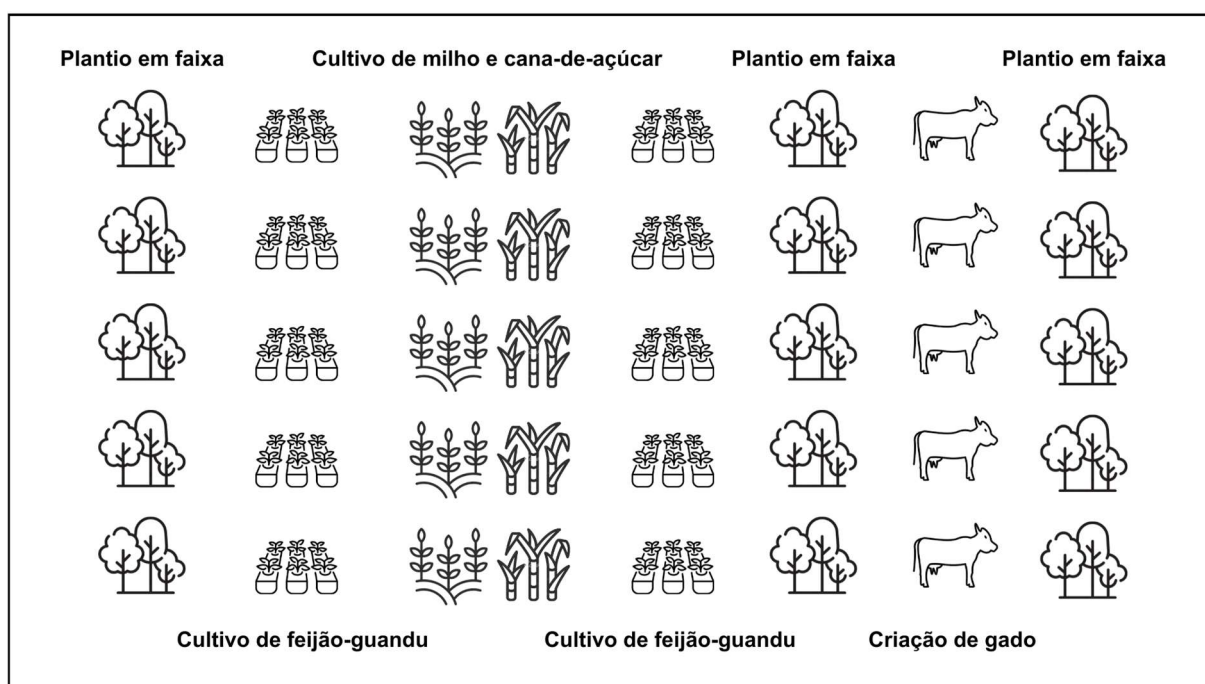
Além disso, sugere-se ainda que as sementes e as mudas das árvores a serem plantadas também sejam coletadas de matrizes florestais em fragmentos da região, o que contribui para a manutenção da biodiversidade local e aumenta a adaptação das espécies às condições da área degradada.

A seleção de espécies nativas também faz-se necessária devido a apresentarem maior adaptação às condições climáticas e ambientais da região, o que aumenta as taxas de sucesso em seu crescimento e, consequentemente, do processo de recuperação da área degradada. Além disso, essas espécies também têm maior capacidade de interagir com a fauna local, o que acelera o processo de sucessão ecológica.

Segundo Macedo (2013), na escolha das espécies que irão compor os sistemas agroflorestais devem-se priorizar as espécies nativas adaptadas ao ambiente local, as espécies que garantirão a subsistência e a segurança alimentar da família e as espécies comerciais de melhor saída no mercado local. Além disso, é importante considerar também a compatibilidade entre os cultivos, o ciclo de vida das espécies e os serviços ecossistêmicos que cada planta pode oferecer, como, por exemplo, proteção mecânica do solo e fixação de nutrientes.

Ressalta-se ainda que é importante que o sistema adotado siga uma configuração adequada (Figura 28). Segundo Embrapa (2014), para declividades maiores recomenda-se o plantio em faixas, e para declividades menores, o plantio em linhas. Dessa forma, para a área de estudo, recomenda-se o plantio em faixa de árvores, uma vez que o terreno apresenta declividades consideravelmente acentuadas, de até 34%.

Figura 28. Exemplo de configuração de um sistema agroflorestal para a área de estudo.



Fonte: Autora (2025).

Sendo assim, observa-se que, para o sistema agroflorestal proposto, têm-se o plantio de árvores em faixa nos limites dos cultivos de milho, cana-de-açúcar e feijão-guandu, a fim de reduzir o escoamento superficial da água da chuva e aumentar a sua infiltração no solo, favorecendo o desenvolvimento das culturas,

A plantação na configuração sugerida também é fundamental para reduzir os efeitos da erosão eólica nos cultivos agrícolas em questão, atuando como uma barreira natural contra a ação dos ventos. Além disso, para a criação de gado, a cobertura vegetal desenvolvida em faixas faz-se necessária para promover sombreamento, reduzindo o estresse térmico dos animais, principalmente em períodos de maior calor.

Ressalta-se ainda que a configuração proposta também contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, o que favorece a ciclagem de nutrientes e confere uma maior coesão dos agregados do solo, reduzindo a remoção de suas partículas pela ação erosiva.

Uma vez implementadas, as medidas de recuperação devem ser mantidas, a fim de garantir a continuidade do projeto a médio e longo prazo. Assim, para as medidas propostas, têm-se as respectivas práticas de manutenção:

- Isolamento da área: Realização de reparos nas cercas a fim de evitar a entrada de gado e pessoas na feição erosiva isolada.
- Terraceamento: Reforço do terraceamento em locais nos quais houver acúmulo de sedimentos transportados e estruturas rompidas pelo gado.
- Construção de paliçadas: Reposição do bambu utilizado para construção das paliçadas, o qual pode se degradar com o tempo, a fim de manter a funcionalidade da estrutura.
- Aplicação de geotêxteis e geomantas: Reaplicação de geotêxteis e geomantas em trechos nos quais houver desgaste devido às condições climáticas, como, por exemplo, a ocorrência de longos e/ou intensos períodos de chuvas.
- Revegetação do interior da feição erosiva: Replante de mudas e reforço da hidrossemeadura, especialmente nas áreas em que houver falhas na revegetação.
- Sistema agroflorestal (SAF): Realização de podas e manejo do sistema, garantindo o crescimento equilibrado das espécies implantadas com os cultivos já existentes.

Além disso, é importante ressaltar que, para a manutenção das medidas implementadas, optou-se pela seleção de práticas mais simples e acessíveis, adequadas ao cotidiano do proprietário da área. Dessa forma, as ações propostas foram selecionadas a fim de garantir a viabilidade da recuperação da área de estudo, através de uma maior adesão por parte do morador local, e facilitar sua total execução e manutenção a longo prazo.

Ressalta-se ainda que o monitoramento também faz-se fundamental para avaliar a eficiência das medidas de recuperação implementadas e promover ajustes sempre que necessário. Assim, para as medidas propostas, têm-se as seguintes ações de monitoramento:

- Avaliação da estabilidade do solo: Verificação da estabilidade da voçoroca, registrando possíveis novos focos de erosão e a eficácia das medidas implementadas. Para facilitar o monitoramento, o proprietário pode realizar inspeções visuais, especialmente após chuvas intensas, observando sinais de novas fissuras no solo ou transporte de sedimentos.
- Monitoramento da vegetação: Acompanhamento da taxa de crescimento e sobrevivência das espécies plantadas, com observação visual periódica para avaliar o estabelecimento da vegetação. Dessa forma, pode-se realizar a comparação da cobertura vegetal ao longo do tempo por meio de fotografias, permitindo um acompanhamento acessível ao proprietário, identificando quais plantas estão apresentando sucesso no crescimento.

- **Análise do escoamento superficial:** Monitoramento da eficácia do terraceamento no aumento da infiltração da água no solo e das paliçadas na retenção de sedimentos transportados, por meio da observação de sinais de enxurrada e acumulação de sedimentos em diferentes períodos do ano, com destaque aos períodos de elevada intensidade e frequência de chuvas, visando analisar tendências.
- **Monitoramento da fauna:** Observação da presença e do comportamento da fauna silvestre na área recuperada, a fim de avaliar a recuperação da biodiversidade local. O monitoramento pode ser realizado por meio de observação direta e pela presença de pegadas, permitindo um acompanhamento acessível ao proprietário.
- **Monitoramento do canal de drenagem:** Acompanhamento da qualidade do corpo hídrico localizado na área de estudo, com o objetivo de verificar se a erosão continua impactando a sua qualidade. Sendo assim, o monitoramento pode ser realizado por meio da instalação de uma régua de nível caseira, a fim de acompanhar variações no fluxo hídrico, uma vez que mudanças bruscas no nível da água podem indicar maior aporte de sedimentos provenientes da área degradada. Além disso, um teste acessível de transparência também é recomendado, permitindo a utilização de um recipiente pequeno e transparente para verificar a presença de sedimentos em suspensão na água, o que pode indicar, assim, a ocorrência de processos erosivos ativos no canal de drenagem.
- **Registro fotográfico:** Realização de registros fotográficos periódicos da área, documentando a evolução da recuperação e os resultados das diferentes intervenções. As fotografias podem ser utilizadas para comparar o estado inicial da área com o estado atual, avaliar a eficácia das medidas implementadas e identificar possíveis problemas a serem reparados.

Novamente, destaca-se que, para o monitoramento das medidas implementadas, optou-se pela sugestão de práticas mais práticas e de fácil execução e acompanhamento, adaptadas ao cotidiano do proprietário da área. Sendo assim, as ações propostas foram selecionadas a fim de permitir o acompanhamento acessível das medidas implementadas ao proprietário.

Essa abordagem busca garantir que o processo de recuperação ambiental não dependa exclusivamente de técnicas de monitoramento externas, mas que possa ser incorporado à rotina do manejo da propriedade. Sendo assim as técnicas de monitoramento sugeridas fornecem uma maior autonomia ao proprietário. Além disso, ao priorizar práticas mais simples, aumenta-se a adesão do morador às medidas propostas e a probabilidade de continuidade das ações ao longo do tempo, sendo este um dos objetivos do presente estudo.

Por fim, após a seleção das medidas consideradas mais eficientes e adequadas para contenção da feição erosiva, realizou-se o planejamento para suas respectivas implementações, a partir de um cronograma físico (Quadro 4), considerando-se a sequência mais adequada das atividades sugeridas e o tempo demandado para implantação de cada uma delas.

Quadro 4. Proposta de cronograma físico a ser implementado.

Ano	Atividade	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
1º	Isolamento da área	x	x										
	Terraceamento		x	x									
	Construção de paliçadas		x	x									
	Aplicação de geotêxteis e geomantas				x	x							
	Hidrossemeadura					x	x						
	Plantio de mudas						x	x	x				
	Implementação do sistema agroflorestal						x	x	x				
	Manutenção e monitoramento									x	x	x	x
Próximos anos	Manutenção e monitoramento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Autora (2025).

Além disso, a justificativa para a realização das atividades presentes no cronograma também está relacionada à variação da precipitação ao longo do ano. Ao alinhar as atividades ao regime de chuvas, buscou-se tanto evitar que processos erosivos se intensifiquem em períodos chuvosos quanto proporcionar melhores condições para o desenvolvimento da vegetação. Sendo assim, para cada atividade proposta, têm-se:

- Isolamento da área: Ocorre no auge do período seco (julho e agosto), no qual o solo encontra-se, assim, mais seco, facilitando a demarcação dos limites da feição erosiva e a realização do cercamento.
- Terraceamento: Realizado em meses secos (agosto e setembro) a fim de facilitar a movimentação de solo e estruturação dos terraços sem risco de erosão causada pela água da chuva em períodos de elevadas precipitações.
- Construção de paliçadas: Realizada em meses secos (agosto e setembro) a fim de garantir que as paliçadas estejam devidamente estruturadas para reter os sedimentos transportados com a água da chuva quando a precipitação aumentar no período chuvoso.

- Aplicação de geotêxteis e geomantas: Ocorre nos meses que antecedem o pico de chuvas (outubro e novembro) a fim de estabilizar os taludes antes da ocorrência das chuvas mais intensas nos meses seguintes.
- Hidrossemeadura: Realizada no início do período úmido (novembro e dezembro) a fim de garantir umidade suficiente à germinação das sementes e ao desenvolvimento da vegetação.
- Plantio de mudas: Acompanhando os meses de maior precipitação (dezembro a fevereiro), favorece a adaptação e crescimento das mudas, minimizando a necessidade de irrigação e aumentando as taxas de sobrevivência.
- Implementação do sistema agroflorestal: Realizada também no auge das chuvas (dezembro a fevereiro), a fim de garantir condições ideais de umidade e favorecer o estabelecimento das espécies agroflorestais, minimizando também a necessidade de irrigação.
- Manutenção e monitoramento: Distribuído ao longo dos meses e anos subsequentes para o acompanhamento do desenvolvimento das mudas e para realização de ajustes necessários nas técnicas aplicadas.

Dessa forma, em geral, a distribuição das atividades busca aproveitar os períodos secos para preparação do solo e os períodos chuvosos para favorecer o estabelecimento da vegetação.

Sendo assim, os resultados obtidos evidenciam que a degradação da área de estudo não é resultado apenas de fatores naturais, como relevo acentuado e altas taxas de precipitação, mas está fortemente relacionada às atividades humanas recorrentes, como o uso intensivo da terra para fins agrícolas e de pastagem sem o devido planejamento ambiental. A ausência de barreiras naturais, a compactação do solo e a cobertura vegetal fragmentada favorecem o aumento do escoamento superficial e o consequente transporte de sedimentos, contribuindo para a intensificação da feição erosiva analisada. Tais fatores, quando integrados, evidenciam um cenário de impacto ambiental significativo, cuja evolução tende a se agravar caso não sejam adotadas intervenções eficazes.

Nesse contexto, ressalta-se, novamente, a importância da implementação de medidas de recuperação que não se limitem ao tratamento pontual da voçoroca, contemplando também a área de entorno e a bacia hidrográfica como um todo. A associação às medidas de bioengenharia, que considerem tanto a mitigação dos processos erosivos quanto o reestabelecimento da vegetação e a manutenção das atividades produtivas locais, mostra-se essencial para garantir a sustentabilidade ambiental e socioeconômica da região.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da caracterização da área de estudo, associada ao mapeamento, e do levantamento em trabalho de campo, foi possível identificar os principais fatores que contribuíram para a formação e evolução da voçoroca localizada no Campo do Cocho. Verificou-se que a ausência ou escassez de cobertura vegetal, tanto na área de entorno quanto no interior da feição erosiva, o manejo inadequado da terra para prática de pecuária extensiva e a acentuada declividade do terreno são fatores significativos para a permanência e avanço da erosão. Ressalta-se ainda que as elevadas taxas de precipitação nos meses de outubro a março, associadas a tais fatores, também intensificaram os processos de escoamento superficial e transporte de sedimentos, favorecendo a formação da voçoroca.

Constatou-se que os usos da terra no entorno da voçoroca, destinados, principalmente, ao cultivo de milho e cana-de-açúcar e pastagens, reduziram significativamente a cobertura vegetal e, consequentemente, a capacidade de infiltração da água no solo. Essa condição resultou no aumento do escoamento superficial e do transporte de sedimentos ao interior da feição erosiva. Sendo assim, o desmatamento associado ao manejo inadequado da terra foi identificado como um dos principais fatores responsáveis pela continuidade do processo de evolução da feição erosiva.

Além disso, a declividade acentuada em grande parcela da área de estudo, inclusive no interior da feição erosiva, também representa um fator determinante na evolução da feição erosiva. Declividades classificadas como onduladas e forte onduladas, as quais atingem percentuais de até 34%, foram identificadas em grande parte da área de estudo, principalmente no interior da voçoroca. Essa condição do terreno favorece o aumento da velocidade do escoamento superficial durante períodos intensos de chuva e, consequentemente, do volume de sedimentos transportados à feição erosiva. Dessa forma, as declividades acentuadas, associadas aos demais fatores, também foram apontadas como um dos fatores responsáveis pela evolução ainda ativa da voçoroca.

Ressalta-se ainda que, apesar da presença de cobertura vegetal no interior da feição erosiva, a mesma mostra-se insuficiente para o controle efetivo da erosão, uma vez que uma quantidade significativa de sedimentos continua sendo transportada da alta e média vertente. Além disso, a presença de outras feições erosivas no interior da voçoroca, como pedestais e alcovas de regressão, indica que a mesma permanece ativa e em evolução, reforçando a limitação da vegetação existente em conter a erosão.

Verificou-se, ainda, a necessidade de estudos complementares voltados à análise do processo de assoreamento do Rio Corumbataí, o qual encontra-se diretamente conectado à voçoroca e evidencia os efeitos *off-site* do processo erosivo, uma vez que o assoreamento pode comprometer, além do equilíbrio do ecossistema aquático e a qualidade ambiental da bacia, o abastecimento público de água no município de Rio Claro, um dos principais papéis desempenhados por esse curso hídrico.

Sendo assim, conclui-se que, diante das condições observadas na feição erosiva, torna-se necessária a adoção de medidas de recuperação não apenas no interior da voçoroca, mas também em sua área de entorno, a qual exerce influência direta e significativa na evolução ainda ativa da feição erosiva. As ações propostas — como o isolamento da área, terraceamento, construção de paliçadas, aplicação de geotêxteis e geomantas, hidrossemeadura, plantio de mudas e implementação de um sistema agroflorestal — são fundamentais tanto para a recuperação ambiental quanto para um maior desenvolvimento socioeconômico da região. Ressalta-se, ainda, a necessidade de adaptação das medidas propostas à realidade das unidades produtivas já estabelecidas no local, a fim de se obter uma maior adesão do proprietário local à implementação, manutenção e monitoramento das técnicas sugeridas.

8. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. A Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica na Bacia do Paraná. *Geomorfologia*, São Paulo, 15: 1-26. 1969.
- ALMEIDA FILHO, G. S. Prevenção de erosões em áreas urbanas. *Anais do VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, Presidente Prudente, CD-ROM, 1998.
- ALMEIDA FILHO, G. S. Uso das terminologias de processos erosivos lineares dos tipos ravina e voçoroca. *Revista Geonorte*, [S. l.], v. 5, n. 23, p. 693–699, 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1790>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- ANDRADE, A. C. S.; ARAÚJO, H. M. *Geomorfologia Estrutural*. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe - CESAD, 2011. Disponível em: <https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- ANTONIO FILHO, F. D. Crescimento Urbano e Recursos Hídricos: o caso de Rio Claro (SP). *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2003.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. *Gestão Ambiental de Áreas Degradadas*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 320p.
- AZEVEDO, R. L.; RIBEIRO, G. T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão guandu: uma planta multiuso. *Revista da FAPese*, v.3, n.2, p.81-86, 2007.
- BACELLAR, L. A. P. *Processos de Formação de Voçorocas e Medidas Preventivas e Corretivas*. Viçosa, 2006.
- BARRELA, C. *Aplicação de Geossintéticos no Controlo da Erosão Superficial e Costeira*. Relatório 206/2007 – NGE, LNEC, Departamento de Geotecnia. Núcleo de Geologia de Engenharia, Lisboa, Portugal, 51p. maio. 2007.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de milho consorciado com guandu em sistema de plantio direto em solos dos tabuleiros costeiros. *Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica*, v. 61, 2010.
- BARTZ, H. R. *Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto*. Unidad de Educacion Permanente, Universidad de la Republica, 2007. Disponível em: <http://www.rau.edu.uy/agro/uepp/siembra6.htm>. Acesso em: 29 nov. 2024

CARDOSO, R. S. B.; PIRES, C. V. Voçorocas: Processos de formação, prevenção e medidas corretivas. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais, Viçosa, 2009.

CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. São Paulo: Contexto, 1991.

CASSETI, V. Geomorfologia. [S.l.]: [2005].

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgar Blucher, 1981. 313p.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. Geomorphology in environmental management. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1990.

DA SILVA, M. S. L. *et al.* Estudos da erosão. Petrolina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido (CPATSA), 1995. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/133340>. Acesso em: 15 nov. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Estratégia de recuperação: regeneração natural com manejo. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/enriquecimento>. Acesso em: 20 jan. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual técnico para restauração de áreas degradadas no estado do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/944591/1/manualtecnicorestauracao.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA - SNLCS. Micelânea, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistemas agroflorestais. 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/997488/1/sistemasagroflorestais.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2025.

FERREIRA, J. C. P. Evolução espaço-temporal de erosões lineares no município de Rio Claro/SP. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/214322>. Acesso em: 2 fev. 2025.

FERREIRA, R. R. M. Recuperação de voçorocas de grande porte. Encontro brasileiro sobre ravinas, voçorocas, erosão hídrica do solo e movimentos de massa. Porto Alegre: Ufrgs, 2015. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1025952>. Acesso em: 13 nov. 2024.

FERREIRA, R. R. M.; FERREIRA, V. M.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R. Origem e evolução de voçorocas em Cambissolos na bacia do alto Rio Grande, Minas Gerais. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. Anais, 2007.

FUSHIMI, M.; RODRIGUES NUNES, J. Vulnerabilidade aos sulcos e ravinas em setores de gramínea de Presidente Prudente - SP como subsídio ao planejamento ambiental. GEOFRONTER, [S. l.], v. 8, 2022. DOI: 10.61389/geofronter.v8.7053. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7053>. Acesso em: 27 abr. 2025.

GILLES, L. *et al.* Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

GUERRA, A. J. T. A erosão dos solos no contexto social. Anuário do Instituto de Geociências, v. 17, p. 14-23, 1994.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e planejamento ambiental – conceitos e aplicações. Revista de Geografia (Recife), v. 35, n. 4, p. 269-287, 2018.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA; A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 149 - 199.

GUERRA, A. J. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Bertrand Brasil, 2005.

GUGLIERI-CAPORAL, A. *et al.* Revegetação espontânea de voçoroca na região de Cerrado, Mato Grosso do Sul, Brasil. Hoehnea, v. 38, p. 289-306, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2236-89062011000200009>. Acesso em: 3 dez. 2024.

HUDSON, N. W. N. Introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall. Proceedings and Transactions – Rhodesia Scientific Association, v. 49. p. 15-25, 1961.

IMESSON, A. C.; KWAAD, F. J. P. M. Gully types and gully prediction. K.N.A.G. Geografisc Tijdschrift, v. 14, n. 5, p. 433-441, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Banco de Dados e Informações Ambientais – Geomorfologia. 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#!/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 10 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Rio Claro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/rio-claro.html>. Acesso em: 3 fev. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 2012. Relatório Técnico, 131.57 – 205.

JESUS, R. M. Recuperação de áreas degradadas. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 407-412, 1992. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/802>. Acesso em: 3 dez. 2024.

JONES, J. A. A. Encyclopedia of Geomorphology. In: GOUDIE, A. S. (Ed.). London: Taylor & Francis Group, Routledge, 2004.

MACEDO, J. L. V. Sistemas agroflorestais: princípios básicos. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2013. 33 p. (Série Técnica de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 25). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/669177>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MANTOVANI, J. C. Perícia ambiental na avaliação de danos resultantes de intervenções antrópicas no meio físico em ações judiciais ambientais, 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-07032022-184959/en.php>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MANZATTO, C. V. FREITAS JUNIOR, E. de PERES, J. R. R. (ed.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 5, p. 47-60.

MARQUES, R. J. Considerações sobre a contribuição da geomorfologia ambiental na análise de áreas degradadas na cidade de Timon/MA. Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2021.

MARTINS, S. V. Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013.

MATOS, R. S. Efetividade do uso da biomanta de fibra de coco nos taludes da BA 535 (Via Parafuso), Camaçari, Bahia. 2018.

MATTHES, L. A. F.; MARTINS, F. R. Conceitos em sucessão ecológica. Rev. Bras. Hortic. Ornam, v. 2, n. 2, p. 19-32, 1996.

MENDES, W. J.; FONSECA, A. L. S.; MINELLO, M. Técnicas nucleadoras como ferramentas para restauração ambiental e letramento ecológico. Revista Ciências & Ideias, ISSN 2176-1477, p. e24152588-e24152588, 2024.

MONTEIRO. C. A. F. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Instituto de Geografia - USP, São Paulo. 130 P, 1973.

MORAES, C. C. M. Estudo de erosões do tipo piping na cabeceira do córrego Santa Maria, Brotas/SP, 2023. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24711>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MORGAN, R. P. C. Soil Erosion and Conservation. Longman Scientific and Technical, New York, 1986.

NAKAJIMA, K. K. Proposta de técnicas de controle da erosão às margens da PR-317 entre Floresta e Peabirú. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6355>. Acesso em: 3 dez. 2024.

NUNES, J. O. R.; PERUSI, M. C.; FUSHIMI, M.; MORENO, M. dos S.; THOMAZINI, L. da S. 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, [S. l.], v. 24, n. 00, 2023. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2325>. Acesso em: 22 jan. 2025.

PEREIRA, C. S. S.; SOBRINHO, T. A. Programas de controle da erosão hídrica no âmbito rural: um breve panorama brasileiro Programs of water erosion control in rural context: a brief overview Brazilian. Ambiência, v. 10, n. 3, p. 851-867, 2014. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3053>. Acesso em: 3 dez. 2024.

PREFEITURA DE RIO CLARO. Anexo II – Mapa dos Perímetros Urbanos e Rural Município de Rio Claro – SP. In: Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Rio Claro. Disponível em: <https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

PRELLWITZ, W. P. V.; COELHO, F. C. Produtividade de colmos, índice de área foliar e acúmulo de N na soca de cana-de-açúcar em cultivo intercalar com *Crotalaria juncea* L. *Ceres*, v.58, n.6, 2011.

REICHARDT, K. Água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987.

RIO CLARO. Plano Diretor Participativo do Município de Rio Claro – Volume III: Diagnóstico Temático – Solo. Rio Claro: Prefeitura Municipal de Rio Claro, 2008. Disponível em: <https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumeIIISolo.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2025.

SALOMÃO, F. X. T.; CANIL, K.; RODRIGUES, S. P. Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, n. 2, p. 39 - 56, 2012.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O.Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: 4º Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo, ABGE/IPT, 1995. p. 31-57.

SANTANA, C. J. Técnicas de bioengenharia aplicadas às áreas de preservação permanente urbanas – Presidente Prudente, São Paulo. 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/120952>. Acesso em: 29 nov. 2024.

SANTOS JUNIOR, J. *et al.* Consórcio de cana-de-açúcar com milho: recomendações de manejo para a região do Cerrado. Embrapa, 2020 (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 45). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127456/1/CT-45-web.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2025.

SANTOS, R. F. Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. Pp. 13-21.

SCHMIDT, J.; HEWITT, A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, v. 121, n. 3-4, p. 243-256, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706103003720>. Acesso em: 3 dez. 2024.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SIGRH).

Processos erosivos nas encostas. São Paulo, 2017. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6997/Processos_Erosivos_nas_Encostas.htm. Acesso em: 26 nov. 2024.

TAVARES, S. R. L. *et al.* Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/340067>. Acesso em: 22 jan. 2025.

THOMAS, M. 1994: *Geomorphology in the Tropics*. Wiley, London.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. Instituto Geológico. São Paulo, 2009.

TRENTO FILHO, E. Row intercropping with Sunnhemp and Pigeon Pea in the ratoon sugarcane. 2010. 29 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2010.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: SUPREN –IBGE. 109 p, 1977.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; LI, Y. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, v. 63, n. 2-3, p. 132-153, 2005.

VIEIRA, A. F. G. Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. Florianópolis, 2008.

ZACHAR, D. *Soil Erosion*. New York: Elsevier, 1982. 548 p.

ZAINE, J. E. Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP). Rio Claro, SP. 1994. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – 63 - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/92931>. Acesso em: 2 fev. 2025.

ZAINE, J. E. Mapeamento geológico geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP). 2000. 149 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/102900>. Acesso em: 2 fev. 2025.

ANEXO A - Mapa dos Perímetros Urbanos e Rurais do Município de Rio Claro – SP.

